



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
SISTEMÁTICA

**Estructura de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a
Pittocaulon (~*Senecio*) *praecox* (Asteraceae) en la Reserva Ecológica
del Pedregal de San Ángel, D. F., México.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(SISTEMÁTICA)**

PRESENTA:

BIÓL. MARÍA RAZO GONZÁLEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES
(Facultad de Ciencias, UNAM)

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO ZALDÍVAR RIVERÓN
(Instituto de Biología, UNAM)
DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
(CIByC, UAEM)

MÉXICO, D.F.

FEBRERO, 2013



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 CIENCIAS
SISTEMÁTICA

**Estructura de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a
Pittocaulon (~*Senecio*) *praecox* (Asteraceae) en la Reserva Ecológica
del Pedregal de San Ángel, D. F., México.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(SISTEMÁTICA)**

PRESENTA:

BIÓL. MARÍA RAZO GONZÁLEZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES
(Facultad de Ciencias, UNAM)

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO ZALDÍVAR RIVERÓN
(Instituto de Biología, UNAM)
DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
(CIByC, UAEM)

MÉXICO, D.F.

FEBRERO, 2013



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/582/12

ASUNTO: Oficio de Jurado

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 **14 de mayo de 2012** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (SISTEMÁTICA)** del (la) alumno (a) **RAZO GONZÁLEZ MARÍA** con número de cuenta **98062896** con la tesis titulada "**Estructura de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *Pittocaulon (~Senecio) praecox (Asteraceae)* en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F., México**", realizada bajo la dirección del (la) **DRA. ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES**:

Presidente: DR. SANTIAGO ZARAGOZA CABALLERO
Vocal: DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS
Secretario: DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
Suplente: DRA. ALICIA CALLEJAS CHAVERO
Suplente: M. EN C. MARÍA DEL SOCORRO GALICIA PALACIOS

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 30 de noviembre de 2012

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa



DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas por permitir mi desarrollo profesional y por proporcionarme las facilidades para concluir mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me otorgó durante dos años.

A mi casa, la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA) por el apoyo otorgado a través del proyecto PAPIIT-IN208508.

A la Facultad de Ciencias por el apoyo logístico para la presentación de los resultados de este trabajo en el XLVII Congreso Nacional de Entomología que se llevó a cabo en la ciudad de Puebla, Puebla y en el XVI International Colloquium on Soil Zoology realizado en la ciudad de Coimbra, Portugal.

Deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a la Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses directora de esta tesis, por el invaluable apoyo que me ha otorgado a lo largo de mi formación profesional y sobre todo en los momentos más difíciles; por su constante impulso, su infatigable paciencia y por la confianza que me ha manifestado desde que tuve la suerte de ser su alumna. Gracias por su calidad humana y por su amistad.

A los miembros del jurado: Dra. Alicia Callejas Chavero, M. en C. María del Socorro Galicia Palacios, Dr. José Guadalupe Palacios Vargas, Dr. Efraín Tovar Sánchez y Dr. Santiago Zaragoza Caballero por sus acertados comentarios y sugerencias durante la revisión de esta tesis.

Agradezco particularmente al Dr. Alejandro Zaldívar Riverón por haber formado parte de mi comité tutorial y por haber actuado siempre en beneficio de mi desarrollo académico.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

No quisiera dejar pasar la oportunidad de mencionar a las personas que han participado en el desarrollo de este proyecto. Agradezco a la Dra. Gabriela Castaño, Dra. Alicia Callejas, Dr. Leopoldo Q. Cutz, Miguel Blanco, M. en C. Arturo García y Sandra Gómez por el trabajo de campo; al Dr. Santiago Zaragoza, Dr. Alejandro Zaldívar, Dra. Beatriz Rodríguez, M. en C. Iván Castellanos, M. en C. Marilyn Mendoza y Biól. Elihú Catalán por la identificación del material colectado; a Daniela Pérez, Carmen Duarte y Luis Fernando Villagómez por el procesamiento del material biológico.

Agradezco a todos los miembros del laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos por las facilidades que me dieron para poder realizar esta tesis y por permitirme formar parte de este excelente equipo de trabajo.

Al personal del Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera”, particularmente a la M. en C. María del Socorro Galicia Palacios por su valioso apoyo en la elaboración de los análisis edafológicos que se realizaron como parte de este trabajo así como a la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero por su apoyo en la determinación de las bases intercambiables. También agradezco a la Dra. Norma E. García Calderón por su ayuda en la revisión de los resultados.

Al Dr. Víctor López Gómez, a los M. en C. Arturo García Gómez, Ángela Arango Galván y Carmen Maldonado Vargas por su amable disposición para resolver mis múltiples dudas.

Al Dr. José Benito Crescencio Sánchez Huerta responsable del observatorio meteorológico del Colegio de Geografía (UNAM), por proporcionarnos los datos de temperatura y precipitación de la Reserva.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Microartrópodos: Angela, Dany, Blanquita, Arturo, Carmen, Elihú, Hugo y Fernando por todo el apoyo que me han dado y por su amistad.

A mis compañeros y amigos del Instituto de Biología: Mariza, Griselda, Alejandro, Martín, Cisteil, David, Marilyn, Paulina y Helga por seguir estando en mi vida.

Finalmente quiero agradecer a todos aquellos que de alguna manera me apoyaron a lo largo de mis estudios de maestría, ya que gracias a ustedes he logrado consumir esta etapa de mi vida.

A ti, donde quiera que estés que Dios te bendiga...

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado en esta etapa de mi vida la doble oportunidad de crecer profesionalmente y sobre todo como persona; por haberme mostrado que siempre ha estado conmigo y que cada segundo de mi vida, es un regalo de su infinito amor.

A mis papas, Aurora y Miguel, que siempre me han apoyado incondicionalmente y por el ejemplo que me han dado de esfuerzo y perseverancia para lograr lo que deseo.

A mis hermanos, Socorro y José Alberto, que al seguir otros caminos en la vida me han permitido vivir experiencias que de otro modo no podrían ser. Muchas gracias!

A Arturo por su constante cariño y apoyo durante los años que tenemos de conocernos.

ÍNDICE

Resumen

Abstract

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Suelo.....	1
1.2	Papel de la fauna de artrópodos en el suelo.....	1
1.3	Factores que modifican las comunidades de artrópodos en el suelo...	2
1.4	Antecedentes de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.....	5
2.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	9
3.	ZONA DE ESTUDIO.....	11
3.1	Ubicación.....	11
3.2	Topografía y variación espacial.....	12
3.3	Suelo.....	12
3.4	Clima.....	13
3.5	Vegetación.....	13
4.	SISTEMA DE ESTUDIO.....	14
5.	MÉTODOS.....	15
5.1	Caracterización de los sitios.....	15
5.2	Recolección y procesamiento de muestras de suelo y material biológico.....	16
5.3	Análisis edafológicos.....	16
5.4	Curvas de acumulación de especies.....	18
5.5	Estructura de las comunidades.....	18
5.6	Biomasa, gremios y redes tróficas.....	20
6.	RESULTADOS.....	22
6.1	Caracterización de los sitios.....	22
6.2	Variación espacial y temporal de los parámetros físicos y químicos del suelo.....	22
6.3	Curvas de acumulación de especies.....	39
6.4	Estructura de las comunidades.....	41

6.5	Variación espacial y temporal de la comunidad de artrópodos edáficos.....	52
6.6	Biomasa, gremios y redes tróficas.....	62
7.	DISCUSIÓN.....	73
7.1	Suelo.....	73
7.2	Estructura de las comunidades.....	73
7.3	Interacción de la comunidad de artrópodos edáficos con el suelo.....	75
7.4	Biomasa, gremios y redes tróficas.....	77
8.	CONCLUSIONES.....	81
	LITERATURA CITADA.....	82
	Apéndice 1.....	96
	Apéndice 2.....	102
	Apéndice 3.....	106

RESUMEN

El suelo es una entidad única y muy compleja fundamental para la conformación de los ecosistemas. Es una entidad viva y dinámica constituida por componentes orgánicos e inorgánicos que interactúan entre sí.

Los microartrópodos y otros artrópodos que viven en el suelo son esenciales para las comunidades edáficas, ya que juegan un papel importante como reguladores en los procesos funcionales, la pedogénesis y promueven la actividad de los microorganismos; también influyen sobre las comunidades que conforman los niveles tróficos superiores.

Se estudió la variación temporal de la comunidad de artrópodos edáficos asociados a *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* en dos sitios con distinto grado de cobertura vegetal y el efecto de algunos parámetros físicos y químicos del suelo sobre ellas, dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). La artropodofauna se extrajo, se separó, y se cuantificó y las muestras de suelo se procesaron para determinar su humedad absoluta y relativa, temperatura, pH, contenido de materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio y dióxido de carbono. Se determinó la riqueza, el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice de equitatividad de Pielou. Los artrópodos se clasificaron en gremios tróficos y se propusieron las probables relaciones tróficas que ocurren en el suelo.

La abundancia total de artrópodos para el sitio Abierto fue de 60,369 ejemplares clasificados en 27 órdenes y 181 morfoespecies. En el sitio Cerrado la abundancia total fue de 41,114 individuos pertenecientes a 26 órdenes y 179 morfoespecies. Los órdenes dominantes en ambos sitios fueron Cryptostigmata, Prostigmata, Mesostigmata, Poduromorpha, Entomobryomorpha y Hemiptera.

La diversidad y la equitatividad fueron altas en ambos sitios, aunque mayores en el sitio cerrado ($H=3.673$, $J=0.708$). Las mayores abundancia y riqueza se registraron en el mes de julio, mientras que la diversidad y la equitatividad presentaron los índices más altos en octubre. Los análisis NMDS y ANOSIM mostraron que la composición de la comunidad de artrópodos edáficos difiere entre las temporadas de secas y de lluvias.

Tanto el sitio como el mes de recolecta tuvieron efecto sobre la abundancia de artrópodos edáficos y los meses se segregaron de acuerdo con la estacionalidad

reportada para la REPSA. El CCA mostró que la temperatura, el pH, el contenido de sodio y de fósforo fueron los parámetros edáficos de mayor influencia en el ensamble de la comunidad de artrópodos.

En ambos sitios, los órdenes Isopoda, Cryptostigmata, Polydesida y Julida aportaron alrededor del 70% de la biomasa. Se registraron siete gremios tróficos de los cuales depredadores, fungívoros, detritívoros y herbívoros representaron más del 99% de la abundancia. Dichos gremios se relacionan potencialmente formando una red con cuatro niveles tróficos.

Tanto la riqueza como la abundancia de artrópodos edáficos están estrechamente relacionadas con la estacionalidad de la REPSA, en lluvias hay mayor disponibilidad de recursos y los parámetros físicos y químicos del suelo son favorables para el desarrollo de los organismos, mientras que en secas, la disponibilidad de recursos es menor, hay disminución de humedad y mayor temperatura, lo cual afecta el desarrollo de los artrópodos.

En conclusión la estructura de la comunidad de artrópodos edáficos difiere significativamente entre las temporadas de secas y de lluvias; la estructura de la comunidad es particular para cada uno de los sitios y puede explicarse por los parámetros físicos y químicos del suelo.

ABSTRACT

Soil is a very complex and unique entity key to shaping ecosystems. It is a living, dynamic entity composed of organic and inorganic components interact.

Microarthropods and other arthropods that live in soil are essential to soil communities, due their role as regulators in the functional processes, pedogenesis and promote microbial activity, also influence the communities that make up the trophic levels above.

We studied the temporal variation of soil arthropod community associated *Pittocaulon* (~ *Senecio*) *praecox* in two sites with different degrees of vegetal cover and the effect of some physical and chemical parameters of soil on them, within “El Pedregal San Angel” Ecological Reserve (REPSA). The arthropods were extracted, separated, and quantified, and soil samples were processed to determine its absolute and relative humidity, temperature, pH, organic matter, Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sodium, Potassium, Calcium, Magnesium and Carbon dioxide contents. We determined species richness, Shannon diversity and Pielou evenness indexes. Arthropods were classified into trophic guilds and proposed probable trophic relationships that occur in the soil.

The total abundance of arthropods for the open site was of 60.369 specimens belonging 27 orders and 181 morphospecies. The close site was total abundance of 41.114 individuals belonging to 26 orders and 179 morphospecies. The dominant orders at both sites were Cryptostigmata, Prostigmata, Mesostigmata, Poduromorpha, Entomobryomorpha and Hemiptera.

The diversity and evenness were high at both sites, although higher in the close site ($H' = 3673$, $J' = 0.708$). The highest abundance and richness were recorded in July, while the diversity and evenness showed the highest rates in October. NMDS and ANOSIM analyzes showed that the composition or the arthropod community differs between seasons.

Both the site and the collect month had significant effect on soil arthropod abundance and months were separated according to seasonality reported for REPSA. The CCA analysis showed that the temperature, pH, sodium and phosphorus contents affect the arthropods community assemblages.

In both sites, the orders Isopoda, Cryptostigmata, Polydesmida and Julida contributed about 70% of the biomass. Trophic guilds were seven of which predators, fungivorous, detritivorous and herbivores accounted for more than 99% of the abundance. These guilds are related potentially forming a food web with four trophic levels.

Both richness and abundance of soil arthropods are closely related to the seasonality of the REPSA, in rainy season is greater availability of resources and the physical and chemical parameters of the soil are favorable for the development of organisms, while in dry season, availability resource is less, there is a decrease in humidity and higher temperature, which affects the development of arthropods.

In conclusion the community structure of soil arthropod differ significantly between the dry and rainy seasons, the community structure is particular to each of the sites can be explained by the physical and chemical parameters of the soil.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Suelo

El suelo es una entidad única y muy compleja fundamental para la conformación de los ecosistemas. Tiene su origen en interacciones físicas, químicas y biológicas entre el material parental y la atmósfera. Es una entidad viva y dinámica constituida por componentes orgánicos e inorgánicos que interactúan entre sí (Coleman *et al.*, 2004).

El suelo es un recurso natural no renovable, tridimensional y dinámico en el espacio y en el tiempo (Siebe-Grabach *et al.*, 1997), en él se presentan diversos organismos tanto microscópicos como macroscópicos formando comunidades con una función y estructura específicas (Dindal, 1990), que al mismo tiempo interactúan con las propiedades físicas y químicas del suelo (Lavélie, 1996).

En varios ecosistemas terrestres, el suelo es uno de los componentes más ricos en términos de diversidad animal constituyendo un reservorio enorme de biodiversidad (André *et al.*, 1994); aún cuando algunos estudios argumentan que solo se conoce un bajo porcentaje de la artropodofauna que habita los suelos (Adams y Wall, 2000; André *et al.*, 2002).

1.2 Papel de la artropodofauna en el suelo

Los invertebrados del suelo son elementos importantes en la generación y mantenimiento de los caracteres físicos, químicos y biológicos del suelo, éstos regulan los procesos microbianos a través de la conminución, translocación, defecación e inoculación de propágulos microbianos (Lindroth, 2010). Los invertebrados del suelo constituyen una fuente importante de energía, nitrógeno y otros nutrientes. Por su actividad excavadora ellos forman canales de baja resistencia a través de los cuales pasan el aire y el agua, dentro del perfil del suelo (Dindal, 1990).

Las actividades de la fauna edáfica son determinantes en la pedogénesis al participar en la descomposición y la dinámica de la materia orgánica, en la formación y mantenimiento de la estructura del suelo y la provisión de agua y nutrientes a las plantas (Lavélie, 1996, 1997).

En la fauna del suelo el grupo que presenta mayor diversidad es el de los artrópodos (André *et al.*, 2002), mismos que son esenciales para las comunidades

edáficas, ya que juegan un papel importante como reguladores de procesos funcionales tales como la descomposición de la materia orgánica, en la integración y reciclaje de nutrientes del suelo, en la formación del suelo y estimulan la actividad de hongos y bacterias influyendo así en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Santos y Whitford, 1981; Lavélie, 1997). Numerosos experimentos han demostrado que los animales del suelo, incluyendo colémbolos, ácaros, nemátodos, enquitreidos, isópodos y lombrices, junto con las interacciones que mantienen entre ellos y con el suelo, típicamente estimulan la descomposición de la materia orgánica, medida como la tasa de pérdida de biomasa de la hojarasca (Anderson *et al.*, 1983; Setälä *et al.*, 1996; Wall *et al.*, 2008; Powers *et al.*, 2009; Yang y Chen, 2009).

Además son un componente esencial en las redes tróficas e influyen indirectamente en la estructura, composición y dinámica de las comunidades que conforman los niveles tróficos superiores (Bezemer *et al.*, 2005).

1.3 Factores que modifican las comunidades de artrópodos en el suelo

Existen varios estudios sobre la fauna del suelo en los que se han comprobado las diferentes relaciones que existen entre las propiedades del suelo y la fauna de artrópodos que lo habita. Tales relaciones dependen del tipo de suelo, temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, cantidad de materia orgánica, contenido de cationes intercambiables, nitrógeno y fósforo, entre otros, que determinan cambios en la estructura de las faunas edáficas (Minor y Norton, 2004; Cole *et al.*, 2005; Cutz-Pool *et al.*, 2007; Kardol *et al.*, 2011). Otros factores, incluyendo el calentamiento global (Sjursen *et al.*, 2005), concentraciones elevadas de CO₂ (Swift *et al.*, 1998), la fragmentación del hábitat (Hanski *et al.*, 2007) y el régimen de humedad (Lindberg *et al.*, 2002), también han sido asociados con cambios en la composición de las comunidades de artrópodos.

Factores físicos. Varios trabajos en los que se aborda el efecto de los factores físicos sobre las comunidades de organismos edáficos, han reportado una serie de respuestas que en condiciones naturales son el resultado de la interacción múltiple de diversos factores.

Se sabe que el calentamiento global y los cambios en la cantidad de precipitación pluvial pueden alterar directamente la temperatura y la humedad del suelo, factores que tienen una fuerte influencia sobre las tasas de reproducción y desarrollo de los microartrópodos (Van Straalen, 1994; Uvarov, 2003). De hecho, los microartrópodos edáficos son extremadamente sensibles a los cambios en la humedad del suelo, un patrón que se ha observado en diversos ecosistemas (Frampton *et al.*, 2000; Pflug y Wolters, 2001; Lindberg *et al.*, 2002; Tsiafouli *et al.*, 2005; Morón-Ríos *et al.*, 2010). Además en algunos estudios se observa que el contenido de humedad del suelo está inversamente relacionado con la temperatura (Tsiafouli *et al.* 2005; Kardol *et al.* 2011).

La temperatura y la humedad afectan la distribución, abundancia y las dinámicas poblacionales de la mesofauna del suelo, de manera directa a través de la desecación e indirectamente a través de cambios en la disponibilidad de recursos alimenticios y de modificaciones al microhábitat (Lindberg *et al.*, 2002; Tsiafouli *et al.*, 2005). En términos generales el aumento de la temperatura y la humedad favorecen un aumento en la abundancia y la riqueza de las comunidades de microartrópodos (Vikram, 1984; Kardol *et al.*, 2011), sin embargo también se ha reportado una respuesta diferencial a las mismas condiciones ambientales, entre los grupos de artrópodos que forman una comunidad (Uvarov, 2003; Tsiafouli *et al.*, 2005; Kardol *et al.*, 2011).

Por ejemplo, Harte *et al.* (1996) encontraron que el aumento de la temperatura favorece el incremento de la abundancia y la biomasa de microartrópodos bajo condiciones húmedas, pero no bajo condiciones de sequía. Además los cambios en la temperatura y la humedad influyen sobre las tasas de crecimiento, natalidad y mortalidad de los microartrópodos edáficos (Harte *et al.*, 1996). Del mismo modo los cambios en el contenido de humedad pueden afectar directa e indirectamente la abundancia, la diversidad y la biomasa, entre otros parámetros de la comunidad (Harte *et al.*, 1996; Uvarov, 2003).

Para el caso particular de los ácaros y los colémbolos se ha encontrado que el incremento de la temperatura puede favorecer la tasa de crecimiento de los estadios juveniles pero a su vez puede tener un efecto negativo sobre el tamaño de los huevos (Lieferting y Ellers, 2008). También puede incrementar la riqueza y abundancia de colémbolos (Kardol *et al.*, 2011) y ácaros oribátidos (Lindberg *et al.*, 2002).

Huhta y Hänninen (2001) en microcosmos, encontraron que las fluctuaciones de temperatura y humedad favorecen más a algunas especies que a otras y que las variaciones de estos dos parámetros favorecen la coexistencia de un mayor número de especies que un ambiente con condiciones homogéneas.

Del mismo modo, Kardol *et al.* (2011) observaron en experimentos de campo, que la combinación de una temperatura elevada, un alto porcentaje de humedad y una alta concentración de CO₂ pueden modificar la estructura de las comunidades de microartrópodos edáficos y favorecer una mayor riqueza.

Algunos autores han reportado los efectos negativos de una concentración de CO₂ elevada sobre las comunidades de microartrópodos, sin embargo, dependiendo del grupo del que se trate puede no presentarse un efecto. Por ejemplo, Coûteaux y Bolger (2000) no registraron un efecto de la concentración alta de CO₂ sobre la fauna del suelo mientras que Haimi *et al.* (2005) encontraron que una alta concentración de CO₂ provoca la disminución de la abundancia de ácaros oribátidos, pero no parece tener efecto sobre otros grupos de microartrópodos. De la misma manera Loranger *et al.* (2004) registraron la disminución de la abundancia de microartrópodos en un bosque decíduo. Por otra parte a nivel de la rizósfera, la abundancia de microartrópodos se puede favorecer por una concentración elevada de CO₂ (Lussenhop *et al.*, 1998).

Factores químicos. Respecto a las propiedades químicas del suelo se ha encontrado que factores como el pH y el contenido de cationes afectan la composición y la abundancia de las comunidades de artrópodos edáficos. Cutz-pool *et al.* (2007) encontraron que el pH (cerca de neutro) y el contenido alto de sodio y magnesio tienen un efecto negativo sobre la abundancia de colémbolos. En microcosmos se ha visto que el crecimiento poblacional de algunas especies de colémbolos depende de varios factores entre ellos el pH e incluso puede darles ventajas competitivas dentro de la comunidad (Hågvar, 1990). Loranger *et al.* (2001) encontraron que el pH se correlaciona negativamente con la riqueza de colémbolos, mientras que Chagnon *et al.* (2000) trabajaron en bosques de maples y observaron que la composición de la comunidad puede cambiar de acuerdo al pH del suelo.

En términos del contenido de nitrógeno, se ha visto que un aumento en la concentración de este catión puede afectar positivamente la abundancia, la diversidad y

la biomasa, así como propiciar cambios en la composición de las comunidades de microartrópodos (Cole *et al.*, 2005). Sjurssen *et al.* (2005) encontraron que en suelos enriquecidos con nitrógeno se incrementaron las densidades de Collembola, Oribatida y Actinedida. También se han reportado efectos diferenciales dependientes de la fuente de nitrógeno, así algunos grupos se benefician mientras que otros no, por ejemplo Minor y Norton (2004) encontraron un efecto positivo sobre la abundancia y la riqueza de los Mesostigmata mientras que las poblaciones de Oribatida se reducen.

En términos de la materia orgánica, se ha visto que diferentes grupos de artrópodos edáficos pueden responder diferencialmente a la cantidad y a la calidad de materia orgánica que se deposita en el suelo. Por ejemplo, Vreeken-Buijs *et al.* (1998) encontraron que la biomasa de los cuatro grupos funcionales dominantes de artrópodos edáficos no se correlacionó con el contenido de materia orgánica total, sin embargo si se presentaron relaciones significativas entre los grupos funcionales de artrópodos y las diferentes fracciones de la materia orgánica. Por otra parte, en bosques templados, se ha encontrado que las abundancias de grupos como Collembola y Oribatida no muestran una clara correlación con el contenido de materia orgánica, mientras que para el caso de los Mesostigmata si hay una correlación positiva, sin embargo el total de materia orgánica acumulada, si afecta la composición de los colémbolos y oribátidos (Hasegawa, 2001).

1.4 Antecedentes de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel

Al sur de la Ciudad de México, se ubica la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), la cual alberga una gran cantidad de especies vegetales y animales que se han establecido sobre restos de lava, resultado de la erupción del volcán Xitle, ocurrida hace 1670 años aproximadamente (Siebe, 2009). En el último trabajo realizado sobre la riqueza florística de la REPSA, se registró un total de 377 especies vegetales (Castillo-Argüero, 2009), entre las cuales se reconocen al menos dos especies endémicas (*Mammillaria sanangelensis* y *Bletia urbana*). Por otra parte se han registrado más de 150 especies de vertebrados (Rojo y Rodríguez, 2002) que incluyen siete especies endémicas de México (Hortelano-Mocada *et al.*, 2009).

La comunidad vegetal más extendida y característica de la REPSA es la que Rzedowski (1994) denominó *Senecionetum praecosis*, constituida por un matorral abierto donde están representados los estratos rasante, herbáceo, arbustivo y arbóreo, siendo éste último poco representativo (Rzedowski, 1994; Cano-Santana, 1994a). En esta comunidad una de las especies dominantes es el arbusto *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* (Cav.) H. Rob. y Brettell (Cano-Santana, 1994a). Originalmente esta comunidad ocupaba cerca de 40 km² del área; sin embargo, en la actualidad, como resultado del avance en los procesos urbanos se ha reducido a sólo 2.9 km², lo que representa una pérdida del 90% del área original (Álvarez *et al.*, 1998). La reducción de las dimensiones de la REPSA también ha provocado un cambio importante en la biodiversidad al favorecer la disminución del número de especies nativas y el aumento de especies introducidas. En términos de la diversidad florística, Rzedowski (1954) registró alrededor de 350 especies de plantas vasculares que treinta años más tarde se habían reducido a 226 especies, más 77 especies no reportadas anteriormente (Valiente-Banuet y Luna, 1990). En 2004 Castillo-Argüero *et al.* reportaron 337 especies de las cuales solo 184 habían sido registradas por Rzedowski y en el trabajo más reciente (Castillo-Argüero *et al.*, 2009) se reportaron 377 especies. Algunas especies introducidas son: el pirú (*Schinus molle*), el eucalipto (*Eucalyptus resinifera*), el fresno (*Fraxinus uhdei*), la casuarina (*Casuarina equisetifolia*), el aligustre (*Ligustrum japonicum*), y varias plantas catalogadas como malezas, que incluso podrían desplazar a las especies dominantes del área (Valiente-Banuet y Luna, 1990; Rzedowski, 1994).

La heterogeneidad espacial y temporal presente en la REPSA favorece la presencia de una gran variedad ambiental, y se considera que esta heterogeneidad es la principal explicación de la alta riqueza de especies que se observa en todos los grupos biológicos en el área (Castillo-Argüero *et al.*, 2007). Por otra parte la heterogeneidad topográfica ha favorecido la presencia de ambientes cuya cobertura vegetal es cerrada debido a las altas densidades de arbustos que crean un ambiente sombreado y de manera contraria, en otras zonas se presentan bajas densidades de arbustos, por lo cual su aspecto es más abierto (Ríos-Casanova, 1993; Cano-Santana, 1994a).

Dentro de la REPSA, se han realizado varios estudios de comunidades que han permitido caracterizarla como un ecosistema único, que alberga especies endémicas que participan en interacciones complejas para mantener el equilibrio en este ecosistema (Arango-Galván *et al.*, 2009; López-Gómez *et al.*, 2009; Moyers-Arévalo y Cano-Santana, 2009). Algunos de estos trabajos se han enfocado en el estudio de las comunidades de insectos como coleópteros (Zaragoza-Caballero, 2009), mariposas (Moyers-Arévalo y Cano-Santana, 2009) y abejas (Domínguez-Álvarez *et al.*, 2009); en otros casos se analiza la diversidad de invertebrados asociados a plantas (Ruvalcaba *et al.*, 2009; Castaño-Meneses *et al.*, 2010), a animales (Montiel-Parra *et al.*, 2009; López-Gómez *et al.*, 2009) o al mantillo (Arango-Galván *et al.*, 2009).

En un trabajo reciente, Rueda-Salazar y Cano-Santana (2009) realizaron la recopilación bibliográfica del conocimiento que se tiene desde el año 1936, referente a la fauna de artrópodos que habita la REPSA; registraron un total de 29 órdenes y 817 morfoespecies que de acuerdo con sus estimaciones, corresponden al 57.6% de la artropodofauna de la zona, lo que implicaría unas 600 especies más por descubrir. Palacios-Vargas *et al.* (2009) reportan 55 especies de colémbolos y 7 especies de ácaros distribuidas en diversos ambientes, y al igual que Rueda-Salazar y Cano-Santana (2009), recalcan la importancia y la necesidad de continuar con estudios de análisis de la artropodofauna de la REPSA.

Pérez-Velázquez *et al.* (2010) realizaron un estudio de artropodofauna edáfica dentro de la REPSA, sin embargo en este trabajo sólo se comparó estacionalmente la diversidad, abundancia y composición de artrópodos edáficos entre dos sitios con distinto grado de cobertura vegetal. Reportaron 17 órdenes y 140 morfoespecies para la temporada de secas y 19 órdenes con 148 morfoespecies de artrópodos edáficos para la temporada de lluvias.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se propuso evaluar el posible efecto tanto espacial como temporal, de algunos parámetros físicos y químicos del suelo sobre la estructura de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *Pittocaulon* (~S.) *praecox*, así como ampliar el conocimiento taxonómico de los artrópodos que habitan esta región e inferir las probables relaciones tróficas que se establecen; lo que

constituye información novedosa y de gran importancia para conocer parte de la dinámica que ocurre a nivel del suelo en la REPSA.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo fue caracterizar la estructura de las comunidades de artrópodos edáficos (en términos de diversidad, biomasa, gremios e interacciones tróficas), asociados a *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Los objetivos particulares fueron:

- Determinar algunos parámetros físicos y químicos del suelo como son: humedad absoluta, humedad relativa, temperatura, pH, contenido de materia orgánica (MO), carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), bases intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}) y dióxido de carbono (CO_2).
- Evaluar la eficiencia del diseño de muestreo mediante curvas de acumulación de especies.
- Conocer la estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en términos de la diversidad, biomasa, gremios y redes tróficas.
- Determinar el efecto espacial (sitio) y temporal (mes de recolecta) sobre la estructura de la comunidad de artrópodos edáficos asociada a *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox*.
- Determinar el efecto espacial (sitio) y temporal (mes de recolecta) de los parámetros físicos y químicos del suelo sobre la abundancia de artrópodos edáficos asociada a *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox*.
- Caracterizar espacial y temporalmente la composición de gremios tróficos en cada sitio.
- Inferir las redes tróficas que se establecen en la comunidad de artrópodos edáficos en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Las hipótesis propuestas son:

1. La cobertura vegetal es una variable ambiental que afecta la estructura de las comunidades de artrópodos (Wardle *et al.*, 2003; Cai *et al.*, 2007), por lo que al evaluar dos sitios con diferencias en el grado de cobertura vegetal dentro de la REPSA, se espera que las comunidades de artrópodos edáficos presentes en cada sitio difieran en

sus patrones de abundancia, diversidad, riqueza, composición y biomasa, debido a las variaciones en los parámetros físicos y químicos del suelo en cada uno de los sitios.

2. Dada la importancia de las propiedades físicas y química del suelo sobre las comunidades de artrópodos edáficos (Minor y Norton, 2004), se espera que el sitio con mayor temperatura, humedad y contenido de nitrógeno presente mayor abundancia, riqueza, biomasa y densidad (Vikram, 1984; Harte *et al.*, 1996; Cole *et al.*, 2005; Sjursen *et al.*, 2005; Kardol *et al.*, 2011).

3. ZONA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel se ubica al suroeste de la Ciudad de México ($19^{\circ}14' - 19^{\circ}25' \text{ N}$, $99^{\circ}08' - 99^{\circ}15' \text{ W}$) dentro del *Campus* central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y cubre aproximadamente 1.72 km^2 (Sarukhán, 1997; Fig. 1).

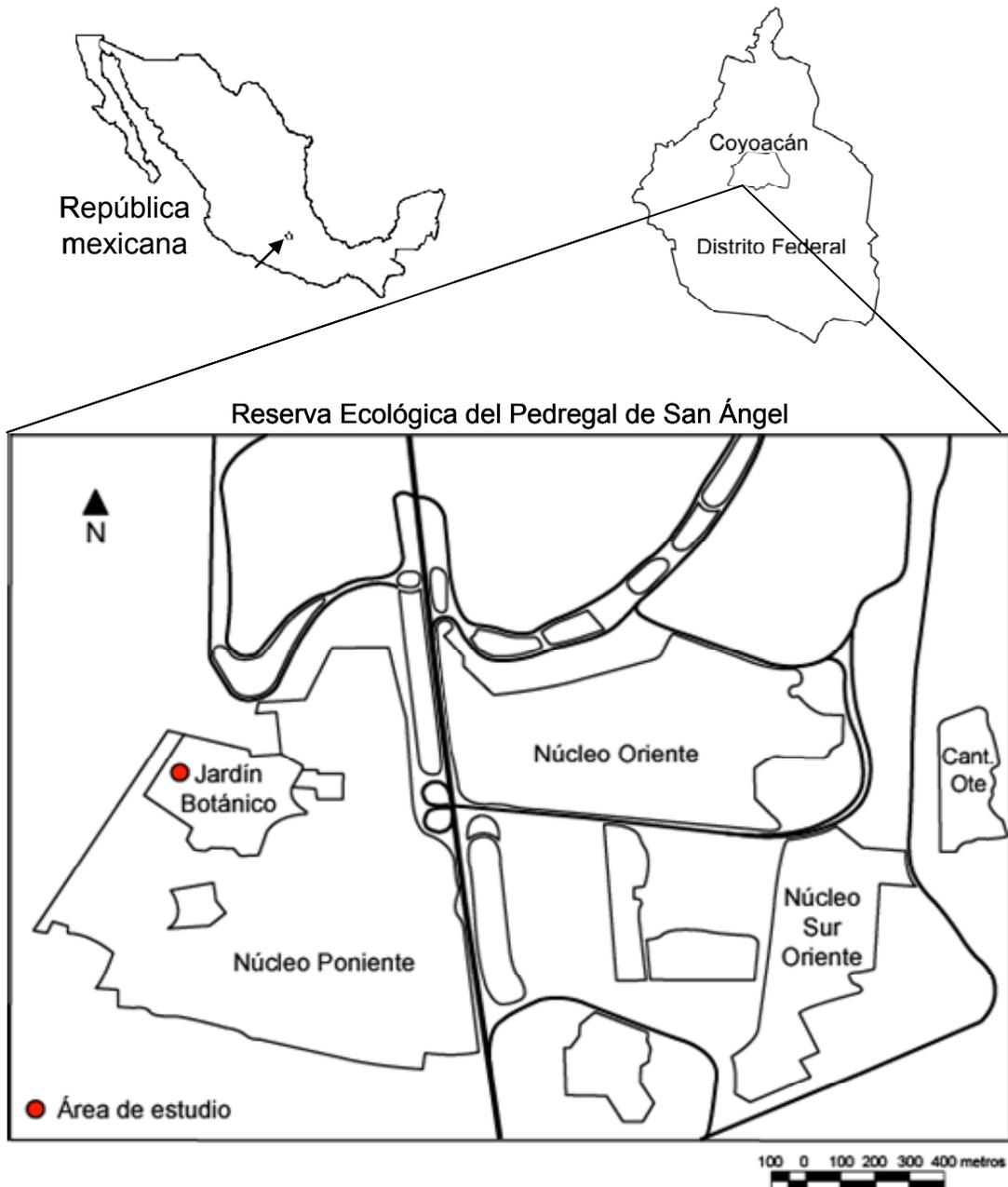


Figura 1. Localización geográfica de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México (modificado de UNAM, 2005).

3.2 Topografía y variación espacial

La topografía de la REPSA se caracteriza por ser accidentada. La variación topográfica determina la existencia de dos tipos de sitios contrastantes: sitios abiertos ubicados en zonas planas o con promontorios y hondonadas de una magnitud menor a 1.5 metros, y sitios cerrados que presentan una topografía más accidentada. Dichas diferencias topográficas se asocian a un desarrollo diferencial de la cubierta vegetal en que los sitios planos tienen una apariencia abierta y los sitios abruptos una apariencia de la cobertura vegetal cerrada (Cano-Santana, 1994a).

3.3 Suelo

El suelo es escaso y a veces inexistente, de modo que la roca volcánica del derrame está expuesta en muchos lugares (Cano-Santana, 1994b; Rzedowski, 1994). Su acumulación es principalmente de origen eólico, debido al acarreo de partículas por el viento, y orgánico, por la caída y descomposición de la hojarasca. La acumulación ocurre en grietas, fisuras y depresiones del terreno y su espesor es de pocos centímetros por lo que es difícil distinguir horizontes edáficos típicos (Rzedowski, 1994). La profundidad varía de 0 a 30 cm con un promedio de 4.5 cm (Santibáñez-Andrade, 2005). Los suelos sobre la lava son arenosos-limosos, poseen gran cantidad de materia orgánica, de potasio y de calcio, y son pobres en nitrógeno y fósforo aprovechables. La relativa riqueza en potasio y calcio se debe al origen volcánico de los minerales. La abundancia relativa de limos está cuantitativamente relacionada con la materia orgánica e indica la gran importancia de los restos vegetales en la constitución mecánica del suelo. De la misma manera el fósforo y nitrógeno forman parte de la abundante materia orgánica. El pH es ligeramente ácido, en el rango de 5.4 a 6.3 (Rzedowski, 1994; Martínez-Mateos, 2001).

Los suelos de la REPSA se clasifican como leptosoles húmicos debido al alto contenido de carbono que supera el 2%; son suelos someros depositados sobre roca, se presentan en zonas de altitud media o alta con topografía fuertemente disectada. El drenaje excesivo y la poca profundidad de muchos leptosoles puede causar sequía aún en ambientes húmedos (IUSS grupo de trabajo WRB, 2007).

3.4 Clima

El clima de la región es templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano [Cb (w1)(w)] (García, 1988). La temperatura media anual de la región es de 15.5°C con variaciones en el rango de 6 a 34.6°C. La precipitación pluvial es de 870 mm anuales (Valiente-Banuet y Luna, 1990) y se distinguen dos épocas bien definidas, una de lluvias (de junio a octubre) y otra de secas (de noviembre a mayo) (Rzedowski, 1994).

3.5 Vegetación

La vegetación que caracteriza a la Reserva es un matorral xerófilo de alta elevación localizado en la zona ecológica templada subhúmeda. En este matorral dominan las formas de crecimiento arbustiva y herbácea con algunos elementos arbóreos. Muchas de las plantas que crecen en esta zona presentan claras adaptaciones fisiológicas y características morfológicas más afines a las plantas de los ecosistemas de zonas áridas. La variabilidad topográfica y los cambios altitudinales presentes en este sistema han propiciado la existencia de una gran variedad de hábitats y a su vez favorece la existencia de una alta riqueza (Rzedowski, 1994; Álvarez *et al.*, 1998; Cano-Santana, 1994a; Castillo-Argüero *et al.*, 2004). La riqueza florística está representada por cerca de 377 especies vegetales (Castillo-Argüero *et al.*, 2009), mientras que para la fauna se han registrado 156 especies de vertebrados (Rojo y Rodríguez, 2002).

4. SISTEMA DE ESTUDIO

Pittocaulon (~*Senecio*) *praecox* es un arbusto endémico de áreas tropicales secas del centro-sur de México que se conoce con los nombres comunes de candelero, palo bobo, palo loco ó texcapatli (Rojo y Rodríguez, 2002; Rosell y Olson, 2007; Fig. 2). Es un arbusto fanerofito, hermafrodita y caducifolio, que llega medir de dos a tres metros de altura. Sus tallos son carnosos, pálidos, frágiles, lisos y están adaptados para almacenar grandes cantidades de agua. Sus hojas forman cúmulos en los extremos superiores de las ramas al igual que sus flores se disponen en cabezuelas amarillas durante la época de floración. La producción de hojas es de mayo a septiembre, la floración de febrero a junio y fructifica de junio a enero (Rojo y Rodríguez, 2002; Olson, 2005).



Figura 2. Arbusto de *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* en la REPSA.

5. MÉTODOS

5.1 Caracterización de los sitios

En el área del Jardín Botánico Exterior se seleccionaron dos sitios con distinto grado de cobertura vegetal. Uno de los sitios se denominó como cerrado (C) caracterizado por una cobertura vegetal mayor y un acceso limitado. El sitio denominado abierto (A) presenta una menor cobertura vegetal con respecto al primer sitio y es más accesible a los visitantes.

Para determinar la cobertura vegetal de *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox*, en cada sitio se trazaron siete transectos de 50 m. Cada transecto se dividió en secciones de 10m y en cada punto se utilizó el método de cuadrantes centrados en un punto y se registraron los siguientes datos: distancia al punto central, altura del arbusto y cobertura (Fig. 3). Para calcular la cobertura vegetal (Cob) se utilizó la fórmula de la elipse:

$$\text{Cob} = \pi * \delta * \delta'$$

dónde $\pi = 3.1416$, δ es el diámetro mayor y δ' es el diámetro menor.

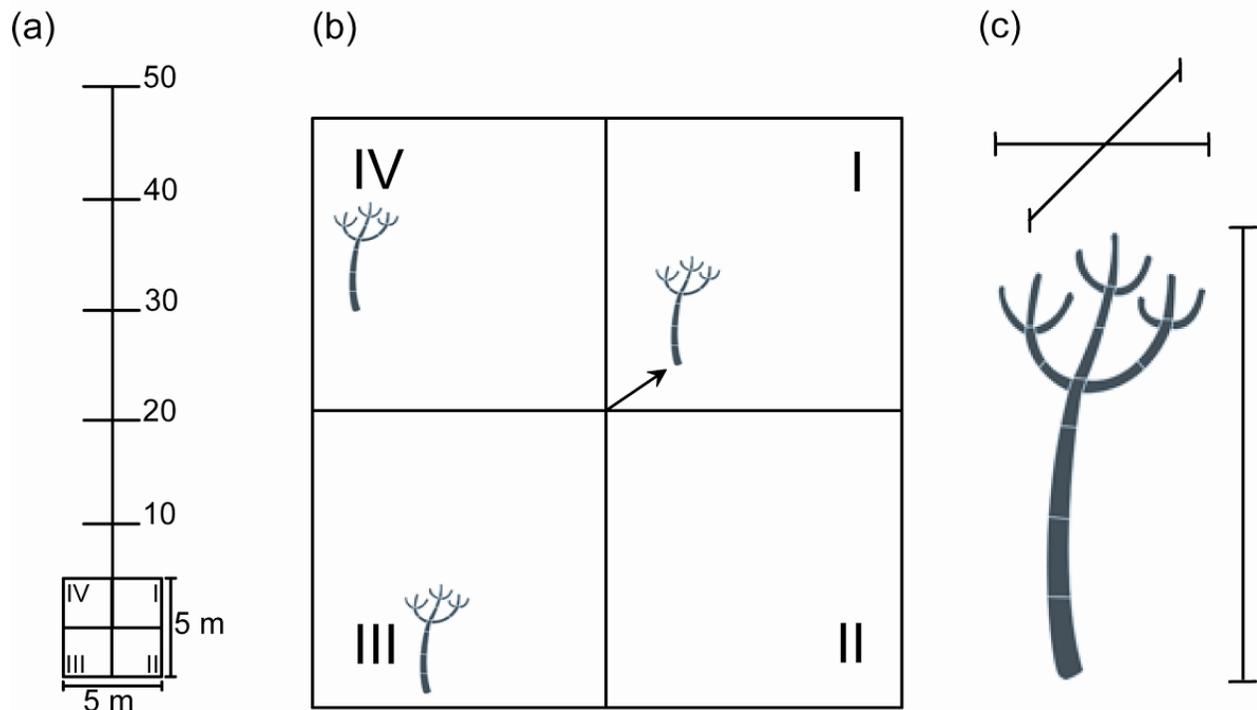


Figura 3. Diseño de muestreo para la determinación de la cobertura vegetal en los sitios abierto y cerrado dentro de la REPSA. (a) transecto y cuadrantes (b) elección de arbustos y (c) registro de longitudes.

De manera adicional se registró la profundidad del suelo circundante a cada arbusto medido y a otros arbustos para obtener un promedio.

5.2 Recolección y procesamiento de muestras de suelo y material biológico

Para la obtención de las muestras de suelo y material biológico, en cada sitio con distinto grado de cobertura vegetal (abierto y cerrado) se seleccionaron al azar tres arbustos de *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* con una altura superior a los 1.50 m y con una cobertura media (3 m²). Alrededor de cada arbusto se tomaron cuatro muestras de suelo de 121 cm² a una distancia de 10 cm del tallo. Las muestras se colocaron en recipientes de plástico de 11 x 11 cm y se llevaron al Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias (LESM-FCiencias), UNAM. Las recolecciones se realizaron mensualmente desde marzo de 2008 a marzo de 2009 bajo los mismos arbustos.

La fauna contenida en las muestras de suelo fue extraída mediante embudos de Berlesse-Tullgren durante seis días, tres días a temperatura ambiente y tres días con un foco de 25 watts. Los artrópodos recolectados se conservaron en alcohol al 70%, se cuantificaron y se separaron a nivel de Orden y morfoespecies con ayuda de un microscopio estereoscópico. En algunos casos se elaboraron preparaciones para identificar a los organismos en el microscopio de contraste de fases. El material recolectado se depositó en la Colección de Microartrópodos del LESM-FCiencias, UNAM.

5.3 Análisis edafológicos

Las muestras de suelo de donde se extrajo la fauna, fueron procesadas en el laboratorio para determinar algunos parámetros tanto físicos como químicos del suelo. Los parámetros físicos fueron: humedades absoluta y relativa del suelo y temperatura; dentro de los químicos se evaluaron: el pH y el contenido de materia orgánica (MO), carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), bases intercambiables (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) y dióxido de carbono (CO₂).

La humedad relativa, la temperatura y la concentración de CO₂ a nivel del suelo se registraron en el campo con un termo-hidrómetro (IAQ-CALC 8760Y8762). La

temperatura y la concentración de CO₂ sólo se registraron de octubre de 2008 a marzo de 2009 y la humedad relativa sólo para el periodo de noviembre de 2008 a marzo de 2009.

El análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se realizó en el Laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” de la Facultad de Ciencias, UNAM.

El porcentaje de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico.

El pH se midió con un potenciómetro Corning Modelo 7 calibrado con una solución buffer de pH 7, en una mezcla de suelo y agua destilada en relación 1:5 (Jackson, 1976).

El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método de combustión húmeda con dicromato de potasio de Walkley y Black modificado por Walkley (1947) y el porcentaje de carbono, multiplicando la materia orgánica por 0.58 (Jackson, 1976).

El nitrógeno se midió por el método de digestión de Kjeldahl, el fósforo se determinó por el método de Bray I y las bases intercambiables mediante el método de acetato de amonio (Van Reeuwijk, 2002).

Los análisis de los parámetros antes mencionados se realizaron por duplicado y en cada caso se obtuvo un promedio.

Se realizaron pruebas de *t* modificada (Magurran, 1988; Zar, 1999) en el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001) para determinar si existían diferencias significativas para los parámetros edáficos entre los sitios abierto y cerrado.

Para determinar los efectos del sitio y mes de recolecta sobre las variaciones observadas en los parámetros físicos y químicos del suelo se realizaron ANOVAs de dos vías y se realizaron análisis *post hoc* mediante la prueba de Tukey. También se realizaron ANOVAs de una vía para determinar las diferencias mensuales entre los sitios abierto y cerrado para cada uno de los parámetros edáficos.

Para evaluar la composición de los parámetros físicos y químicos entre los dos sitios y a través del tiempo, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), empleando el índice de Bray-Curtis. Se realizó un análisis de similitudes (ANOSIM) empleando el mismo índice y se elaboró un dendograma usando el método de agrupamiento por enlace promedio simple para los parámetros físicos y químicos. Se elaboró una matriz de los parámetros edáficos con datos normalizados

mediante una corrección de tipo $\sqrt{x} + 0.5$ para los datos enteros y una corrección de tipo $\arcsen\sqrt{(x/100)}$ para el caso de los porcentajes (Zar, 1999). La similitud entre los grupos fue probada usando 1000 permutaciones en el programa BioDiversity Pro ver. 2 (McAleece *et al.*, 1997).

5.4 Curvas de acumulación de especies

Para averiguar si el esfuerzo de muestro fue el adecuado se construyó una curva de acumulación de especies y se utilizó la Ecuación de Clench. Esta ecuación es el modelo de curvas de acumulación más utilizado y ha demostrado un buen ajuste en la mayoría de las situaciones reales y para con la mayoría de los taxa (Soberón y Llorente, 1993; León-Cortés *et al.*, 1998; Ricketts *et al.*, 2002; Jiménez-Valverde y Lobo, 2004; Hortal *et al.*, 2004). Este análisis se realizó en el programa EstimateS ver 8.2 (Colwell, 2009).

5.5 Estructura de las comunidades

Con el propósito de conocer la estructura de las comunidades de artrópodos edáficos se evaluaron los siguientes parámetros: riqueza (número de morfoespecies), diversidad, equitatividad, densidad y composición.

Para valorar la diversidad total de artrópodos del suelo se calculó el índice de Shannon-Wiener (H').

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

dónde p_i es la proporción de individuos hallados en la especie i .

Para comparar los índices de diversidad total y mensual entre los sitios abierto y cerrado, se utilizó una prueba de t modificada (Magurran, 1988; Zar, 1999) que se realizó en el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001) y de manera adicional se calculó el índice delta (δ ; Solow, 1993) en el programa Species Diversity and Richness ver. 3.0.3. (Henderson y Seaby, 2002).

La equitatividad se determinó mediante el índice de Pielou (J').

$$J' = H' / H'_{\max}$$

dónde H'_{\max} es el logaritmo natural del número de especies (Magurran, 1988; Moreno, 2001).

La comparación de la diversidad total y mensual entre los dos sitios se realizó mediante el cálculo del coeficiente de similitud de Sørensen (CS).

$$CS=(2C/A+B)X100$$

dónde A es el número de especies presentes en el sitio A, B es el número de especies presentes en el sitio B y C es el número de especies que comparten ambos sitios (Magurran, 1988).

Para hacer comparables los resultados, se calculó la densidad promedio total y mensual de artrópodos edáficos, así como para cada orden.

Para valorar las diferencias en la composición de especies entre los dos sitios se utilizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS por sus siglas en inglés). Se empleó el índice de Bray-Curtis que compara datos cuantitativos. Dicho análisis se realizó en el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Posteriormente para evaluar las diferencias en la composición de especies entre los dos sitios y a través del tiempo se utilizó un análisis de similitudes (ANOSM) empleando el índice de Bray-Curtis y se elaboró un dendograma usando el método de agrupamiento por enlace promedio simple. La similitud entre los grupos se probó estadísticamente usando 1000 permutaciones (Clarke y Green, 1988). Estos análisis se realizaron con el programa BioDiversity Pro ver. 2 (McAleece *et al.*, 1997).

Se realizaron análisis de varianza de dos vías (ANOVA) para determinar el efecto del sitio y mes de recolecta sobre la abundancia total y sobre la abundancia de los principales órdenes de artrópodos edáficos registrados. En los casos en los que se encontraron diferencias significativas se realizaron comparaciones *post hoc* mediante prueba de Tukey. También se realizaron ANOVAs de una vía para determinar las diferencias mensuales entre los sitios abierto y cerrado para la abundancia total de artrópodos edáficos y para los órdenes más abundantes. Estos análisis estadísticos se realizaron en el programa STATISTICA ver. 6 (StatSoft, 1995).

- Análisis Canónico de Correspondencias

Para identificar los principales parámetros físicos y químicos que tienen influencia sobre la distribución de las comunidades de artrópodos edáficos se realizó un análisis

canónico de correspondencias (CCA) utilizando todos los parámetros registrados y el método de selección automática *a priori* (Ter Braak y Smilauer, 2002).

Dicho análisis se elaboró en el programa CANOCO versión 4.5 (Ter Braak y Smilauer, 2002). Las matrices de datos de la abundancia de artrópodos y de los parámetros físicos y químicos del suelo, se conformaron con los datos de las muestras correspondientes a los meses de noviembre de 2008 a marzo de 2009, ya que sólo estos meses tenían registros para todos los parámetros edáficos. La significancia estadística de la relación entre las comunidades de artrópodos y los parámetros del suelo se evaluó mediante la prueba de permutación de Monte-Carlo.

Para determinar el sentido del efecto de los parámetros edáficos fue positivo o negativo se realizó un análisis de correlación múltiple.

5.6 Biomasa, gremios y redes tróficas

Para estimar el aporte de biomasa de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en los sitios abierto y cerrado, se seleccionaron 30 muestras tanto individuales como grupales, de organismos de distintos tamaños y se procedió a registrar su longitud corporal, mediante el uso de un microscopio estereoscópico con reglilla milimétrica. Posteriormente se secaron en una estufa a 40°C durante 24 horas y se pesaron en una balanza analítica (Mettler \pm 0.0001 g) para determinar el peso seco. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión potencial para obtener la ecuación que predijera la biomasa en función de la longitud corporal.

Para calcular la biomasa que aporta cada orden de artrópodos, se obtuvo la longitud corporal promedio (por lo menos 10 ejemplares) para cada una de las morfoespecies. El promedio de la longitud se extrapoló con la ecuación obtenida de la regresión potencial y subsecuentemente el peso seco representativo de cada morfoespecie se multiplicó por la abundancia total registrada en cada uno de los sitios (Crossley *et al.*, 1975; López-Gómez, 2003; López-Gómez y Cano-Santana, 2010).

Para determinar el efecto del sitio y el mes de recolecta sobre la biomasa total se realizó un ANOVA de dos vías y comparaciones *post hoc*.

Los artrópodos del suelo se clasificaron en distintos gremios tróficos con base en la consulta bibliográfica (Peck y Anderson, 1985; De la Fuente, 1994; Shelley, 1999; Brown *et al.*, 2001; Iraola, 2001; Rojas, 2001; Smith *et al.*, 2001; McGavin, 2002; Timokhov y Gokhman, 2003; Schneider *et al.*, 2004; Chahartaghi *et al.*, 2005; Doblás, 2007; Norton y Behan-Pelletier, 2009; Lindquist *et al.*, 2009; Walter *et al.*, 2009; Alatorre-Bracamontes y Vásquez-Bolaños, 2010; Blanco-Becerril *et al.*, 2010; Oelbermann y Scheu, 2010; Palacios-Vargas *et al.*, 2011; Sabais *et al.*, 2011). La asignación de los gremios se basó principalmente en los niveles de orden, suborden, familia y en algunos casos género.

De acuerdo con la bibliografía disponible sobre la biología de los grupos registrados y mediante el análisis de los gremios y su ubicación espacio-temporal, se dedujeron las probables interacciones tróficas existentes entre los artrópodos edáficos asociados a los arbustos de *P. (~S.) praecox* dentro de la REPSA.

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización de los sitios

La prueba de t modificada no mostró diferencias para la cobertura vegetal y la profundidad del suelo, entre los sitios abierto y cerrado (Tabla 1).

Tabla 1. Valores promedio \pm error estándar (\pm e.e.) de la cobertura vegetal de *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* y la profundidad del suelo, en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). * diferencias significativas $p < 0.05$.

	Sitio abierto	Sitio cerrado	t_{gl}	p
Cobertura vegetal (m ²)	13.99 \pm 2.41	18.65 \pm 3.41	-1.050 ₈₀	0.297
Prof. del suelo (cm)	9.22 \pm 1.00	8.59 \pm 0.77	0.506 ₉₀	0.614

6.2 Variación espacial y temporal de los parámetros físicos y químicos del suelo.

Los promedios anuales de los parámetros físicos (humedad absoluta, humedad relativa y temperatura) y químicos (pH, contenido de materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio y dióxido de carbono) registrados en la REPSA se muestran en la tabla 5. Se observa que la humedad absoluta y relativa, los porcentajes de materia orgánica, carbono, nitrógeno y la concentración de dióxido de carbono son mayores en el sitio cerrado, y de manera contraria la temperatura, el pH, el fósforo y los cationes intercambiables son mayores en el sitio abierto (Tabla 2).

La humedad absoluta registró valores entre 5.5 y 11.9%; la humedad relativa entre 15.8 y 50.1% y la temperatura fluctuó entre 13.6 y 37.8°C. El pH fue de ácido a moderadamente ácido en los dos sitios oscilando entre 4.5 y 6.3. Se presentó una gran cantidad de materia orgánica (17.09 – 55.2%) y carbono (9.91 – 32.02%). El nitrógeno registró valores entre 0.97 a 2.57%. El fósforo se registró en el rango de 53.05 a 765.54 mg/kg, sin embargo fue necesario eliminar un par de datos debido a que en algunas muestras de noviembre de 2008 y enero de 2009 se reconoció contaminación del suelo *in situ* elevando notablemente los valores del contenido de fósforo. La mayor concentración de cationes intercambiables se registró en el sitio abierto y la concentración de dióxido de carbono se ubicó en el intervalo de 123 a 238 ppm (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio \pm e.e. (intervalo) de los parámetros físicos y químicos del suelo dentro de la REPSA. HA=humedad absoluta, HR=humedad relativa, T°C=temperatura, MO=materia orgánica, C=carbono, N=nitrógeno, P=fósforo, Na=sodio, K=potasio, Ca=calcio, Mg=magnesio, CO₂= dióxido de carbono. Prueba de *t* modificada, * diferencias significativas $p < 0.05$.

	Unidad	Sitio abierto	Sitio cerrado	t_{gl}	p
HA	%	8.2 \pm 0.3 (5.6-11.8)	8.6 \pm 0.2 (6.2-11.9)	-0.97 ₇₆	0.334
HR	%	28.9 \pm 2.3 (18.3-49.2)	36.5 \pm 1.9 (26.3-48.6)	-5.03 ₁₁₄ *	<0.001
T°C	°C	25.2 \pm 1.3 (15.3-37.3)	19.0 \pm 0.7 (14.8-26.2)	8.38 ₁₄₂ *	<0.001
pH		5.3 \pm 0.1 (4.7-6.3)	5.1 \pm 0.1 (4.5-5.9)	2.30 ₇₆ *	0.024
MO	%	32.9 \pm 1.8 (14.8-55.2)	37.2 \pm 1.3 (24.2-53.8)	-2.19 ₇₆ *	0.032
C	%	19.1 \pm 1.0 (8.6-32.0)	21.6 \pm 0.8 (14.0-31.2)	-2.19 ₇₆ *	0.032
N	%	1.8 \pm 0.1 (1.2-2.6)	1.9 \pm 0.1 (1.5-2.6)	-1.44 ₇₆	0.154
P	mg/kg	186.1 \pm 19.6 (63.6-765.5)	89.7 \pm 4.2 (53.0-148.1)	4.81 ₇₆ *	<0.001
Na	cmol/kg	0.5 \pm 0.1 (0.2-2.5)	0.3 \pm 0.1 (0.2-0.8)	2.00 ₇₆ *	0.048
K	cmol/kg	2.2 \pm 0.3 (0.8-9.7)	1.3 \pm 0.1 (0.7-2.2)	2.60 ₇₆ *	0.011
Ca	cmol/kg	30.4 \pm 2.0 (13.5-57.3)	25.4 \pm 1.5 (12.3-48.7)	2.02 ₇₆ *	0.047
Mg	cmol/kg	5.4 \pm 0.3 (2.5-10.8)	4.7 \pm 0.3 (2.7-8.0)	1.61 ₇₆	0.111
CO ₂	ppm	155.7 \pm 5.5 (125.0-204.8)	165.7 \pm 4.2 (136.5-201.3)	-2.90 ₁₄₂ *	0.004

Conforme con la prueba de *t* modificada, la mayoría de los parámetros presentaron diferencias significativas; los contenidos de materia orgánica y carbono presentaron diferencias significativas marginales; la humedad absoluta y los contenidos de nitrógeno y magnesio no presentaron diferencias (Tabla 2).

De acuerdo con el ANOVA de dos vías, el sitio, el mes de recolecta y su interacción tuvieron un efecto significativo sobre todos los parámetros físicos y químicos del suelo (Tabla 3).

Tabla 3. Valores del ANOVA de dos vías para determinar el efecto del sitio y el mes de recolecta sobre los parámetros físicos y químicos del suelo en la REPSA. Diferencias significativas a * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$.

Humedad absoluta (%)			
Factor	g.l.	F	p
Sitio	1	7.28	***
Mes	12	8.79	***
Sitio * Mes	12	4.47	***
Error	286		
Humedad relativa (%)			
Sitio	1	99.26	***
Mes	4	28.66	***
Sitio * Mes	4	45.40	***
Error	106		
Temperatura (°C)			
Sitio	1	232.71	***
Mes	5	36.75	***
Sitio * Mes	5	30.89	***
Error	132		
pH			
Sitio	1	27.19	***
Mes	12	4.91	***
Sitio * Mes	12	3.75	***
Error	286		
Materia orgánica (%)			
Sitio	1	24.05	***
Mes	12	6.16	***
Sitio * Mes	12	1.86	*
Error	286		
Carbono (%)			
Sitio	1	24.05	***
Mes	12	6.16	***
Sitio * Mes	12	1.86	*
Error	286		
Nitrógeno (%)			
Sitio	1	10.45	**
Mes	12	4.64	***
Sitio * Mes	12	3.37	***
Error	286		
Fósforo			
Sitio	1	108.84	***
Mes	12	2.64	**
Sitio * Mes	12	2.70	**
Error	286		

Tabla 3. Continuación...

Sodio			
Factor	g.l.	F	p
Sitio	1	20.93	***
Mes	12	5.28	***
Sitio * Mes	12	3.83	***
Error	286		
Potasio			
Sitio	1	40.67	***
Mes	12	8.68	***
Sitio * Mes	12	5.58	***
Error	286		
Calcio			
Sitio	1	19.88	***
Mes	12	3.64	***
Sitio * Mes	12	3.32	***
Error	286		
Magnesio			
Sitio	1	12.83	***
Mes	12	4.74	***
Sitio * Mes	12	2.62	**
Error	286		
Dióxido de carbono			
Sitio	1	29.70	***
Mes	5	50.30	***
Sitio * Mes	5	23.40	***
Error	132		

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 3, se realizaron ANOVAs de una vía por sitio, para cada parámetro edáfico y se realizaron comparaciones *post hoc* mediante la prueba de Tukey para la determinación de grupos homogéneos. Los resultados se muestran en el Apéndice 1, tabla A1.1.

- Factores físicos

En el caso de la humedad absoluta del suelo, se observó una tendencia de aumento a lo largo del año (Fig. 4). En el sitio abierto, las diferencias se presentaron entre abril de 2008 y marzo de 2009, mientras que en el sitio cerrado las diferencias se presentaron entre abril y noviembre que registró el mayor porcentaje de humedad (Fig. 4). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1, tabla A1.2).

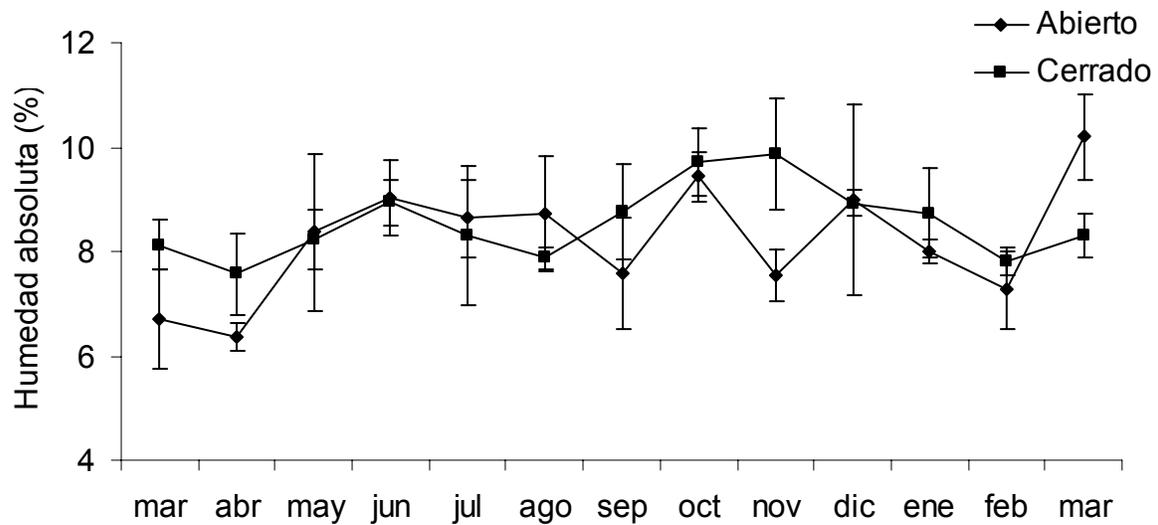


Figura 4. Variación promedio de la humedad absoluta (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

La humedad relativa presentó porcentajes más altos en el sitio cerrado, excepto en el mes de diciembre. En el sitio abierto hubo diferencias entre noviembre y enero respecto a diciembre y a febrero y marzo, que fueron semejantes (Fig. 5).

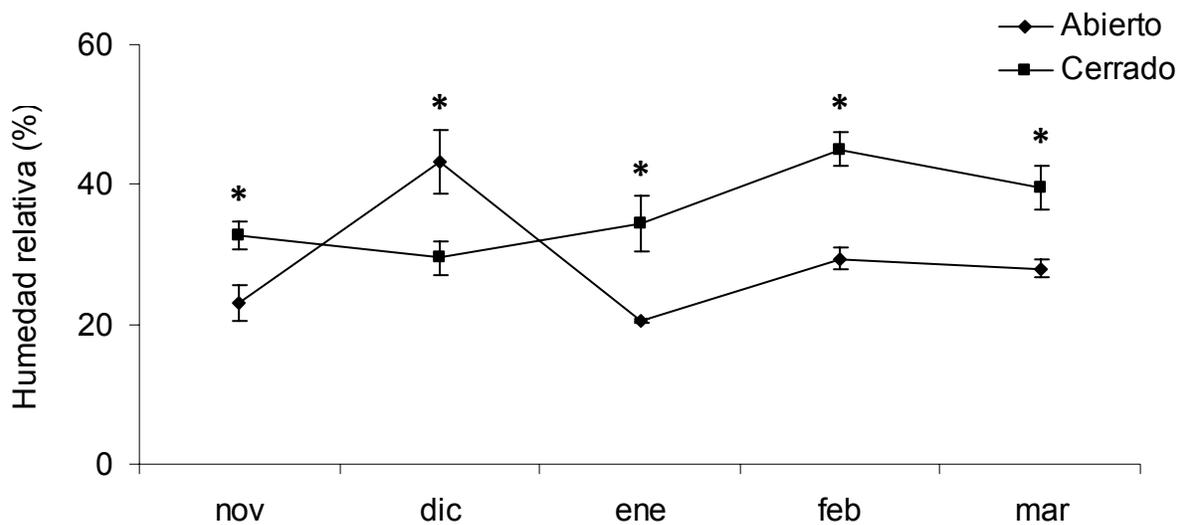


Figura 5. Variación promedio de la humedad relativa (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA. Los asteriscos denotan diferencias significativas entre sitios (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

En el sitio cerrado las diferencias de humedad relativa se registraron entre noviembre y diciembre con relación a febrero y marzo. También se presentaron diferencias mensuales significativas entre sitios para todos los meses (Fig. 5; apéndice 1, tabla A1.3).

En términos generales la temperatura fue más alta en el sitio abierto excepto en el mes de diciembre en que la temperatura fue mayor en el sitio cerrado (Fig. 6). La temperatura en el sitio abierto presentó diferencias entre la mayoría de meses, excepto en octubre que no se diferenció de marzo, al igual que enero y febrero entre sí. En el sitio cerrado las diferencias se registraron entre los meses de noviembre y diciembre respecto de enero y febrero. Se presentaron diferencias mensuales entre sitios para todos los meses (Fig. 6; apéndice 1, tabla A1.4).

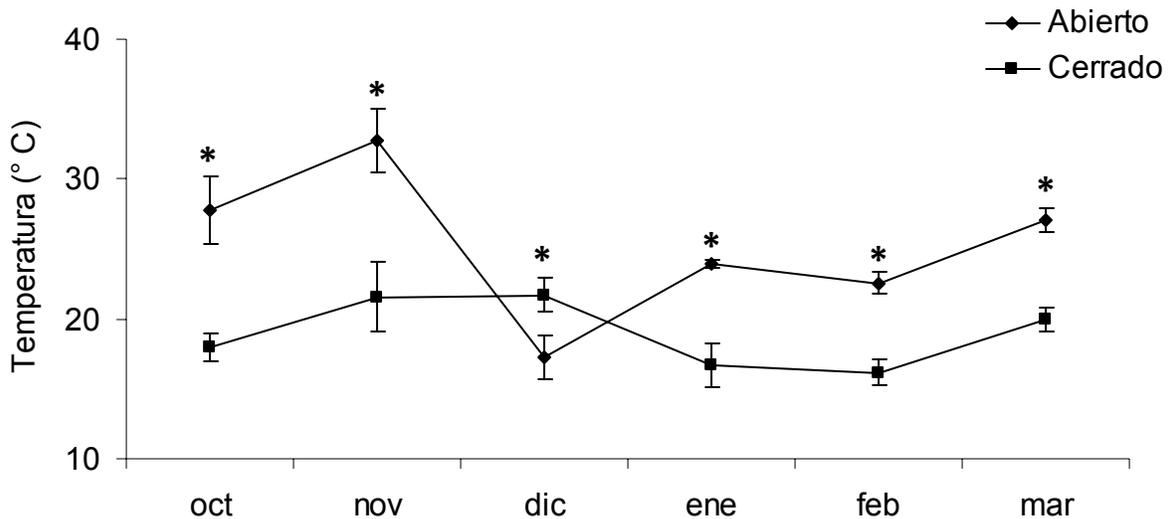


Figura 6. Variación promedio de la temperatura (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA. Los asteriscos denotan diferencias significativas entre sitios (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

- Factores químicos

El pH mostró una tendencia de incremento en el tiempo y fue mayor en el sitio abierto que en el cerrado, excepto en mayo y julio (Fig. 7). En el sitio abierto se registraron discrepancias entre los meses de marzo, mayo, agosto de 2008 y marzo de 2009, con respecto a septiembre en que se presentó el pH más alcalino. El resto de los

meses presentaron similitud entre sí y con los meses anteriores. En el sitio cerrado las diferencias se presentaron entre abril respecto de mayo, julio, octubre, noviembre, diciembre y marzo de 2009. El pH presentó diferencias significativas entre los sitios abierto y cerrado solo para el mes de septiembre (Fig. 7; apéndice 1, tabla A1.5).

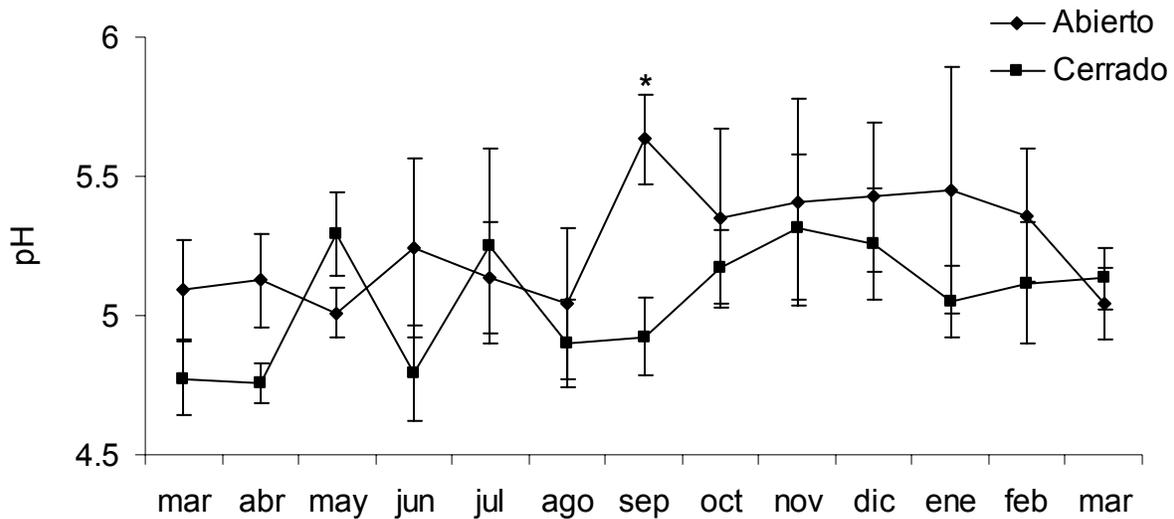


Figura 7. Variación promedio del pH (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA. Los asteriscos denotan diferencias significativas entre sitios de acuerdo con el ANOVA de una vía ($p < 0.05$).

El porcentaje de materia orgánica fue mayor en el sitio cerrado excepto en los meses de enero y febrero (Fig. 8). En el sitio abierto el porcentaje de materia orgánica presentó diferencias entre agosto y los meses de diciembre y marzo de 2009, donde el contenido de materia orgánica fue similar; el resto de los meses presentaron semejanzas. En el sitio cerrado las diferencias se dieron entre marzo de 2008 respecto a mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre de 2008, enero, febrero y marzo de 2009 que presentaron similitudes entre sí (Fig. 8). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.6).

El porcentaje de carbono presentó las mismas tendencias debido a su relación con el porcentaje de materia orgánica.

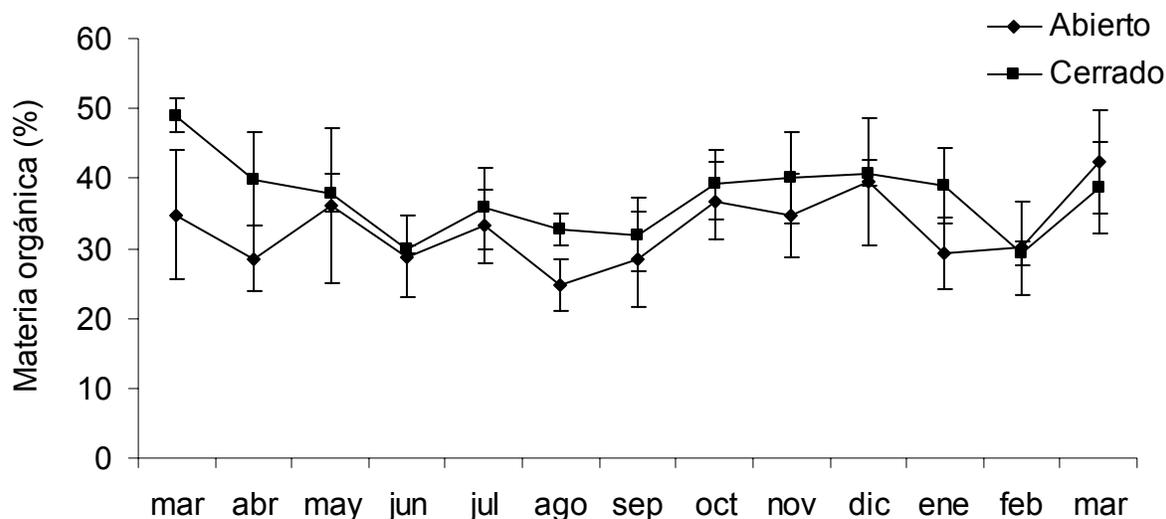


Figura 8. Variación promedio del porcentaje de materia orgánica (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

El porcentaje de nitrógeno fue homogéneo a lo largo del año y no mostró una tendencia a ser mayor en el sitio cerrado en comparación con el sitio abierto (Fig. 9). En el sitio abierto se presentaron diferencias entre septiembre y noviembre respecto a diciembre y marzo de 2009, meses en que se registró un mayor porcentaje de nitrógeno, con respecto al resto en donde el porcentaje fue menor y relativamente homogéneo a lo largo del tiempo. En el sitio cerrado las diferencias se presentaron entre marzo de 2008, con el mayor porcentaje de nitrógeno, respecto a mayo, junio, septiembre de 2008, enero, febrero y marzo de 2009 (Fig. 9). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.7).

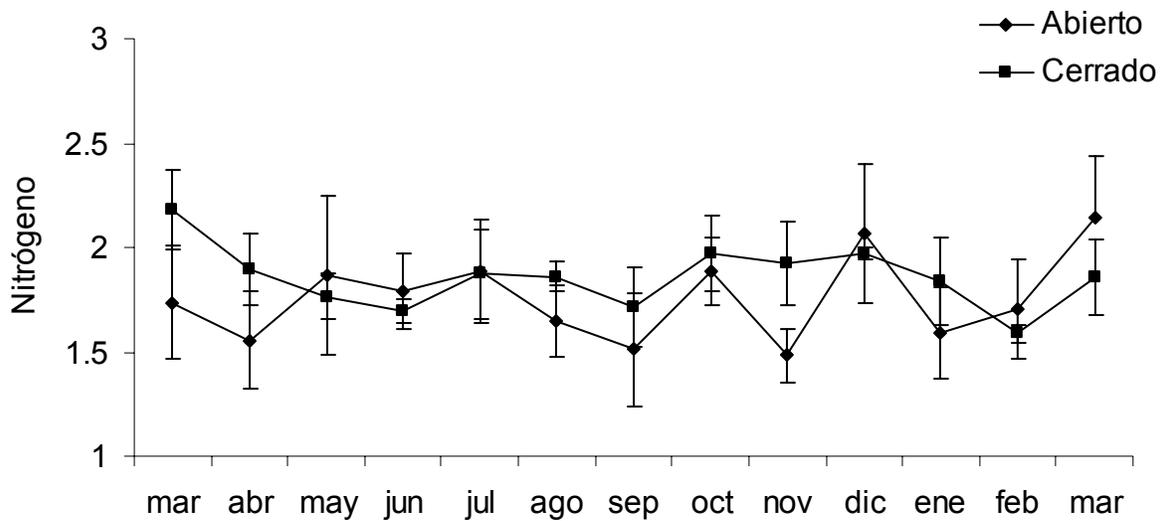


Figura 9. Variación promedio del porcentaje de nitrógeno (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

El contenido de fósforo siempre fue mayor en el sitio abierto y en el sitio cerrado el contenido de fósforo fue más homogéneo a lo largo del año (Fig. 10). En el sitio abierto las diferencias se presentaron entre los meses de marzo, julio a diciembre y marzo de 2009, respecto a febrero de 2009. En el sitio cerrado las diferencias se registraron entre los meses de septiembre, octubre, noviembre y febrero, respecto de enero de 2009 (Fig. 10). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.8).

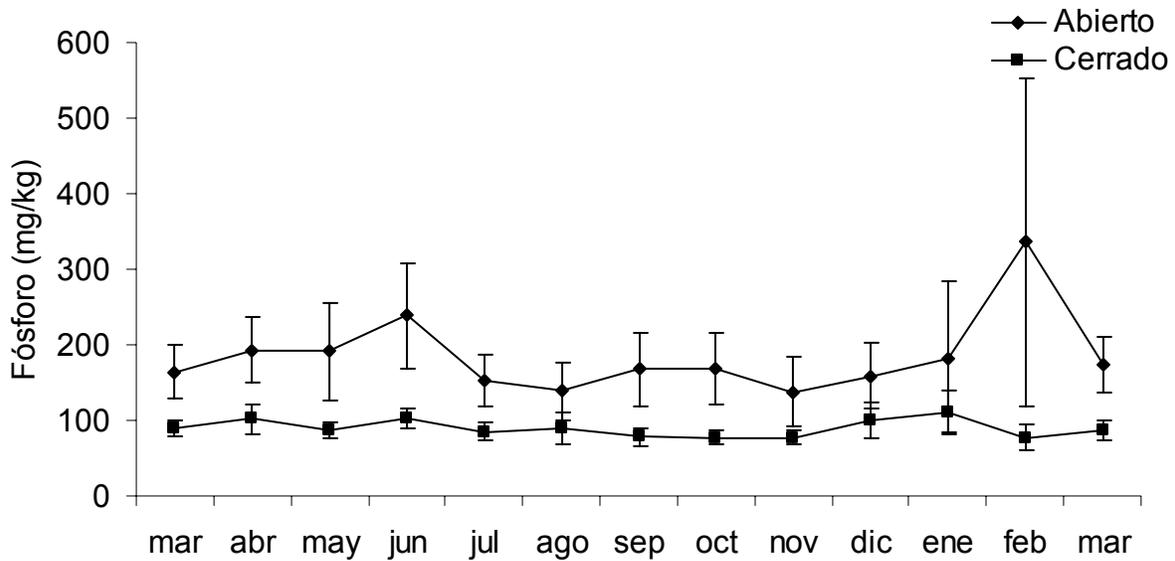


Figura 10. Variación promedio de contenido de fósforo (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

La concentración de cationes intercambiables que se registró fue $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$.

El contenido de sodio fue mayor en el sitio abierto, exceptuando los meses de abril, julio y septiembre (Fig. 11). En el sitio abierto las diferencias de concentración se presentaron entre julio con respecto a noviembre y febrero; el resto de los meses presentaron similitudes entre sí. En el sitio cerrado, marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y febrero presentaron diferencias respecto a los demás meses (Fig. 11). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.9).

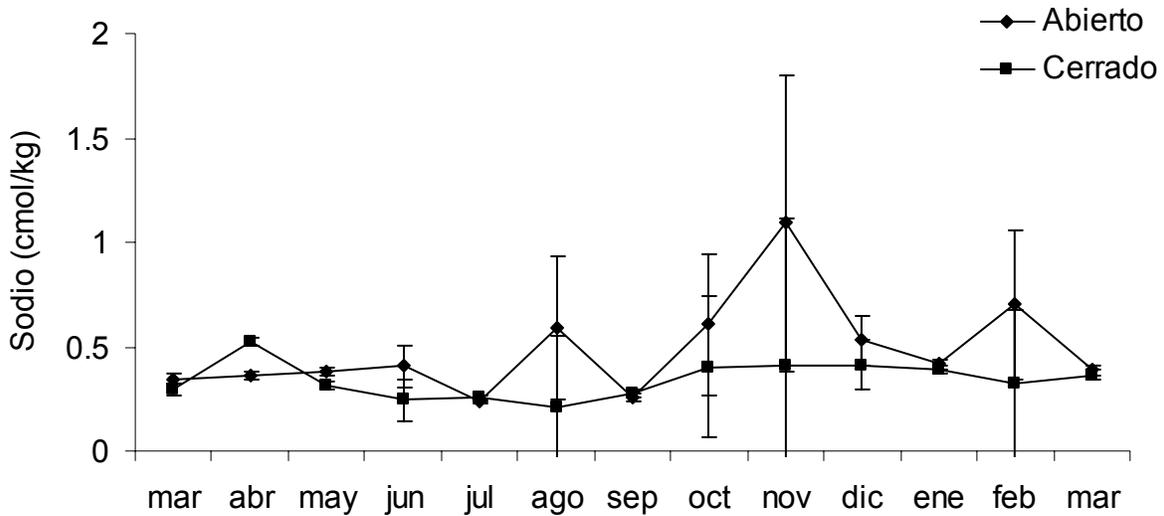


Figura 11. Variación promedio del contenido de sodio (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

La concentración de potasio fue mayor en el sitio abierto excepto en marzo de 2008 y enero (Fig. 12). En el sitio abierto, la concentración de este catión fue más variable a lo largo del año y sus rangos fueron más amplios. En este sitio, mayo, diciembre, febrero y marzo de 2009 se distinguen de julio, agosto, septiembre, noviembre y enero por presentar una mayor concentración de potasio. En el sitio cerrado la concentración de potasio fue más homogénea y las diferencias se presentaron entre los meses de junio a noviembre y el resto de los meses que son los meses secos. (Fig. 12). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.10).

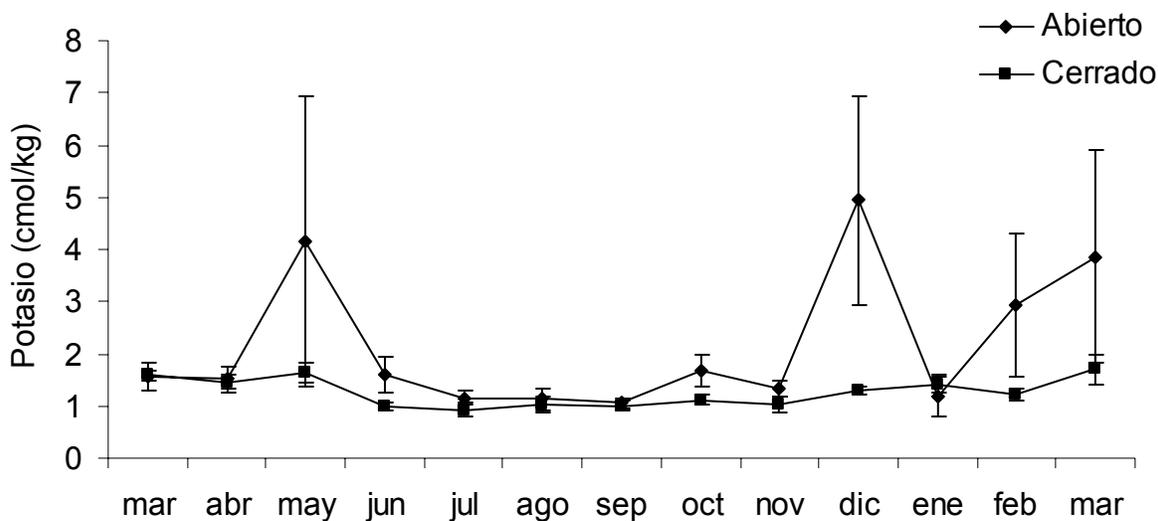


Figura 12. Variación promedio del contenido de potasio (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

En el sitio abierto se registraron contenidos mayores de calcio que en el sitio cerrado exclusive marzo, mayo, noviembre de 2008 y enero de 2009, además en el sitio abierto la concentración de calcio fue más homogénea a lo largo del año (Fig. 13). Para el caso del sitio abierto, el ANOVA de una vía no encontró diferencias entre los meses. En el sitio cerrado hubo diferencias entre junio y noviembre (Fig. 13). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.11).

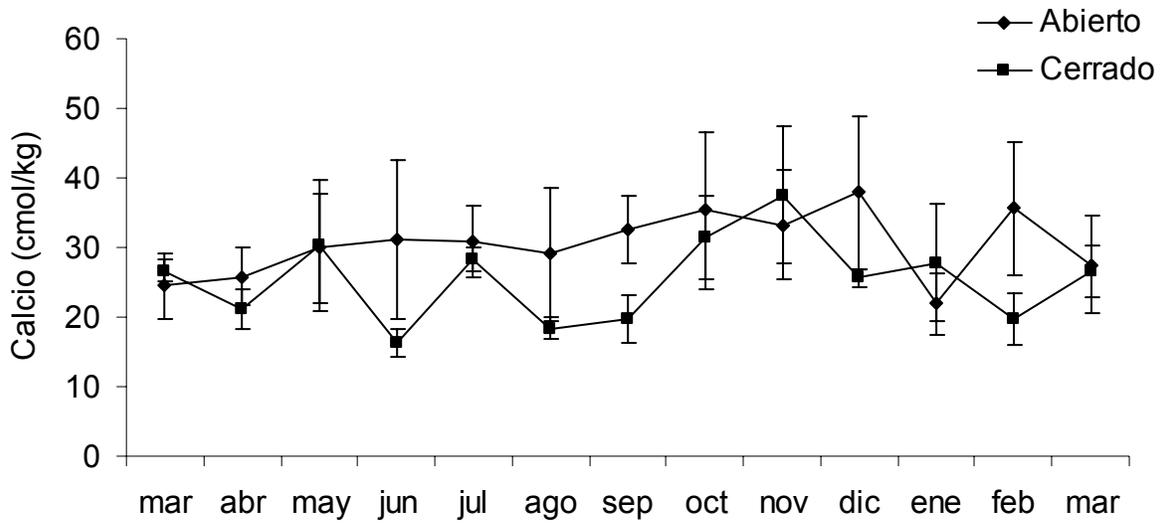


Figura 13. Variación promedio del contenido de calcio (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

La concentración de magnesio fue mayor en el sitio abierto excepto en marzo de 2008 y enero de 2009 (Fig. 14). En el sitio abierto las diferencias se presentaron entre agosto de 2008 y enero de 2009 respecto a diciembre, mientras que el resto de los meses presentaron similitudes con los anteriores. En el sitio cerrado junio y agosto se diferenciaron de marzo, mayo, octubre, noviembre, diciembre, enero y marzo de 2009 (Fig. 14). No se presentaron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 1: A1.12).

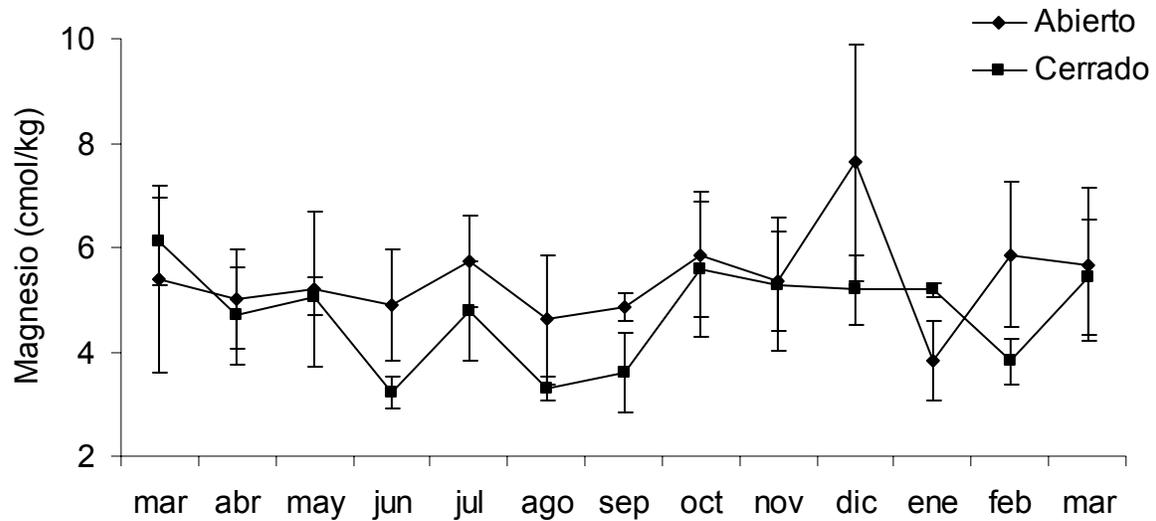


Figura 14. Variación promedio del contenido de magnesio (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA.

La concentración de dióxido de carbono fue más alta en el sitio cerrado, excepto en diciembre (Fig. 15). En el sitio abierto, se presentaron diferencias entre octubre, diciembre y marzo, mientras que en el sitio cerrado noviembre y marzo difirieron entre si y del resto de los meses que mostraron un comportamiento similar. En este caso se presentaron diferencias entre sitios para casi todos los meses, excepto para marzo de 2009 (Fig. 15; apéndice 1, tabla A1.13).

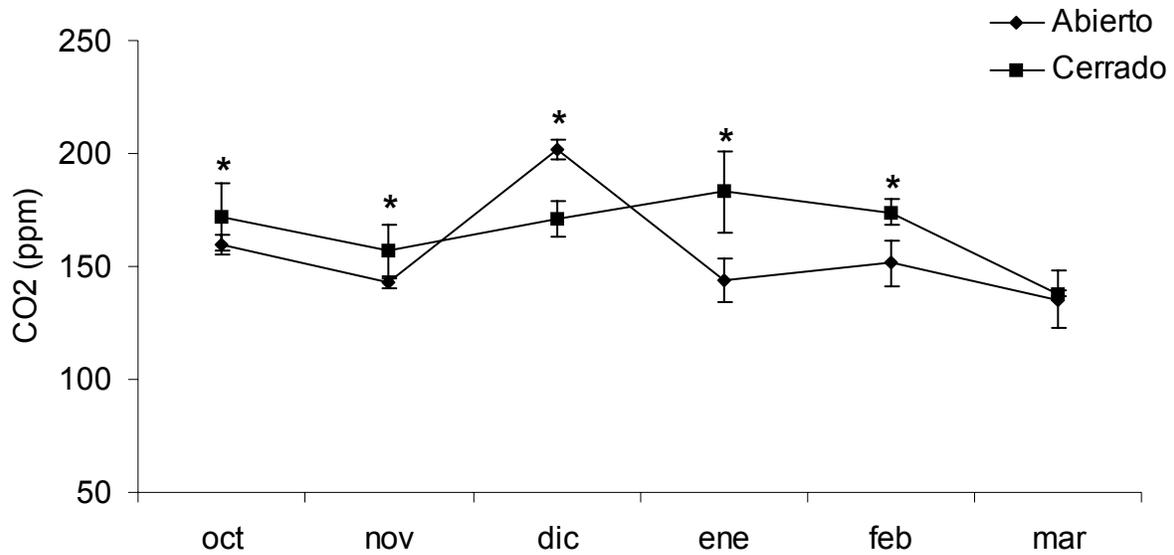


Figura 15. Variación de la concentración de CO₂ (\pm e. e.) a lo largo del año en la REPSA. Los asteriscos denotan diferencias significativas entre sitios (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

- Análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) y de similitudes (ANOSIM)

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) mostró que los parámetros físicos y químicos del suelo presentan clara diferenciación entre los sitios abierto y cerrado, y a lo largo del tiempo. La primera temporada del año incluye los meses de marzo a septiembre de 2008 y la segunda comprende los meses de octubre de 2008 a marzo de 2009 (Fig. 16). También se observa que las muestras de abril y mayo se agregan con los meses lluviosos mientras que el mes de octubre se asocia a los meses de secas (Fig. 16).

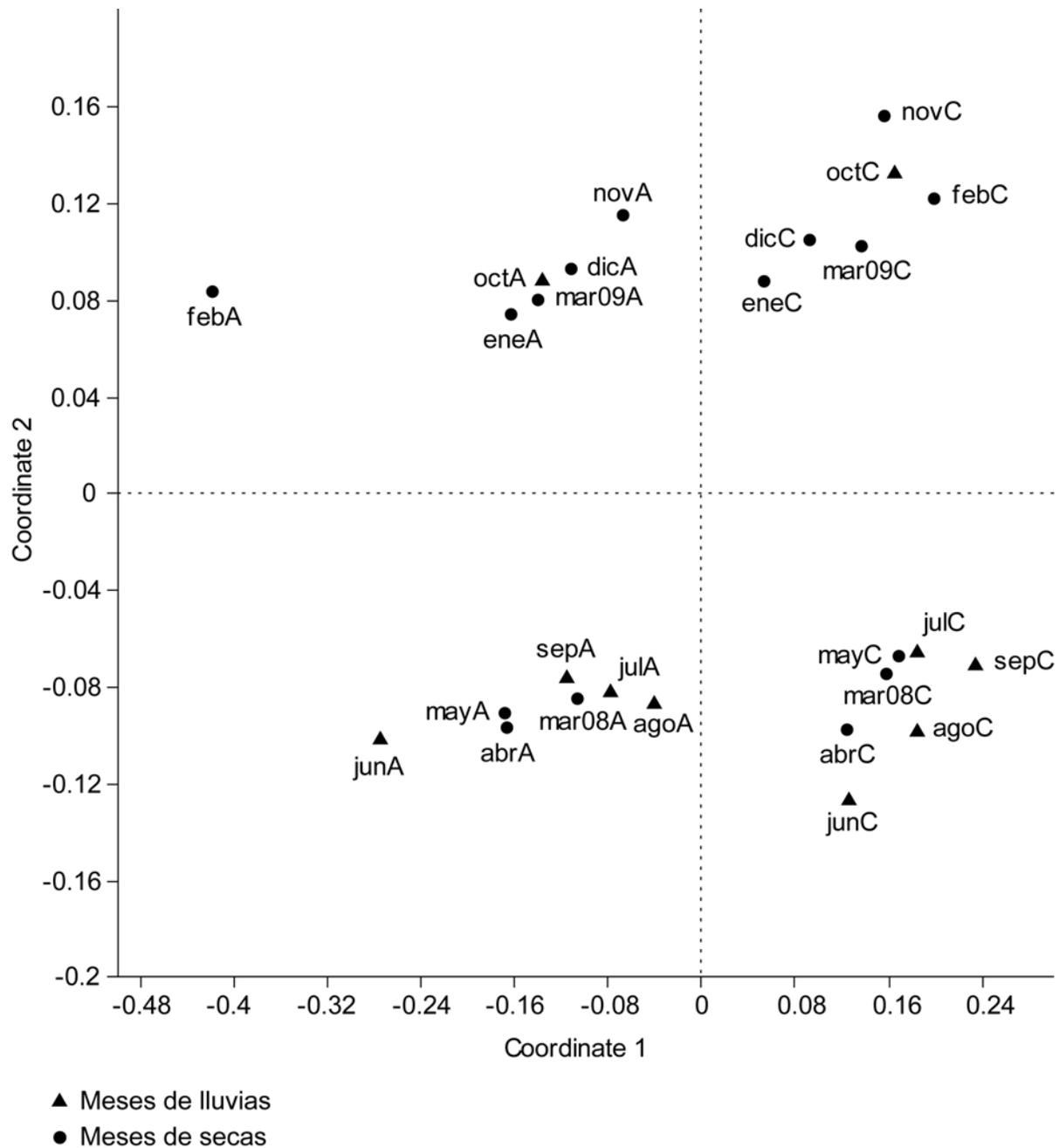


Figura 16. Diferencias en la composición de los parámetros físicos y químicos del suelo asociado a *P. (~S.) praecox* en la REPSA. Cada punto es una representación en dos dimensiones (coordinate 1 y 2) de la composición edáfica a través de los meses y en cada sitio; A=sitio abierto, C=sitio cerrado.

En el dendograma la primera dicotomía separa las muestras de suelo que se recolectaron durante los primeros meses del muestreo (marzo a septiembre de 2008), y

los últimos (octubre de 2008 a marzo de 2009). La segunda dicotomía dentro de cada grupo separa las muestras recolectadas en los sitios abierto y cerrado (Fig. 17).

Bray-Curtis Cluster Analysis (Simple Average Link)

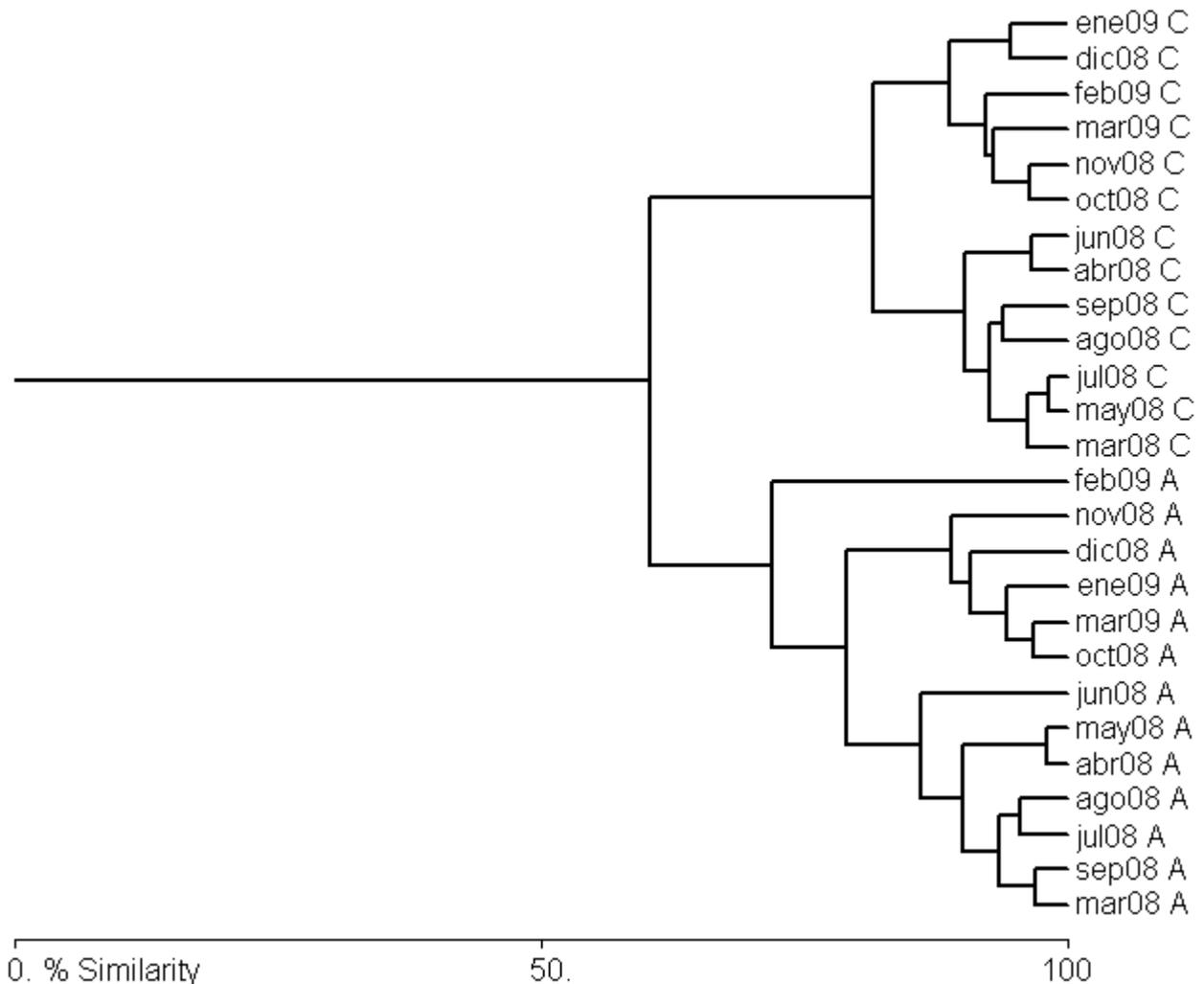


Figura 17. Dendrograma basado en el índice de Bray-Curtis que representa las relaciones de las muestras de suelo asociado a *P. (~S.) praecox* en la REPSA; A=sitio abierto, C=sitio cerrado.

Estos resultados revelan que la composición de nutrientes del suelo es particular en cada uno de los sitios y para cada época del año. El análisis de similitudes (ANOSIM) mostró diferencias significativas entre los grupos con una $R=0.95$. También se observa que las muestras correspondientes a marzo, abril y mayo de 2008 se

agregan con los meses de lluvias mientras que el mes de octubre se agrega a los meses de secas (Fig. 17). Este comportamiento puede deberse a la ocurrencia de lluvias atípicas durante el mes de febrero (Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM).

6.3 Curvas de acumulación de especies

Las curvas de acumulación tanto de especies observadas, como de especies esperadas bajo la ecuación de Clench se muestran en la Fig. 18. En ambos casos, las curvas tienden a la asíntota, lo que sugiere que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para registrar un porcentaje alto de las especies que se encuentran en cada sitio de estudio.

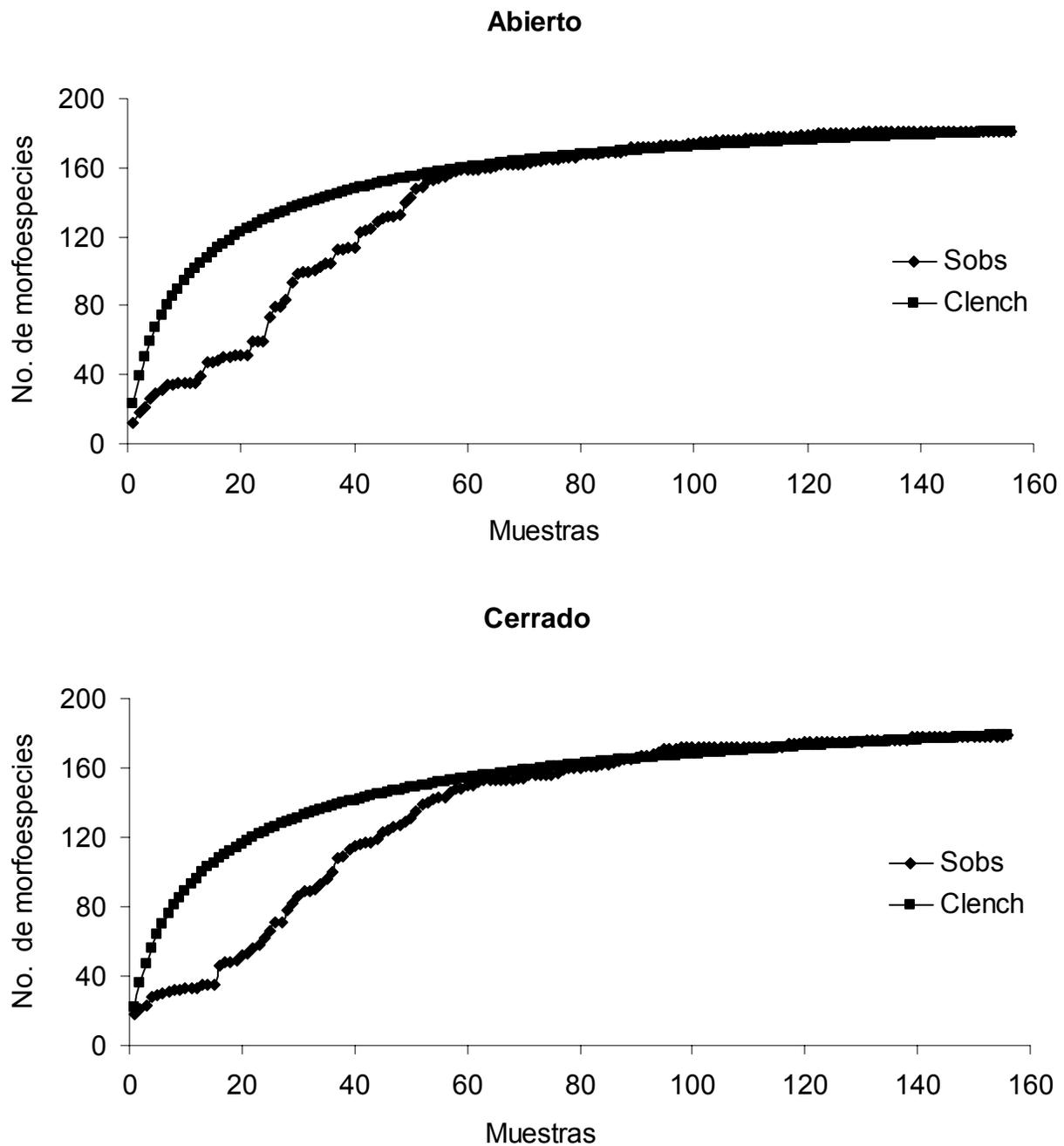


Figura 18. Curvas de acumulación de las morfoespecies de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* registrados en la REPSA (n=156 muestras por sitio).

La ecuación de Clench predijo para el sitio abierto, una riqueza de 191 morfoespecies de las cuales se recolectaron 181 mientras que la proporción obtenida

del inventario fue de 94.71 %. Para el sitio cerrado, el modelo predijo una riqueza de 189 morfoespecies con 179 recolectadas y una proporción registrada de 95.84 %.

6.4 Estructura de las comunidades

Se registraron en total 101,485 artrópodos edáficos contenidos en 28 órdenes y 191 morfoespecies. En el sitio abierto, se recolectaron 60,369 ejemplares que se clasificaron en 27 órdenes y 181 morfoespecies siendo los ácaros (86.62%) y los colémbolos (7.75%) los órdenes más abundantes. En el sitio cerrado se recolectaron 41,114 artrópodos correspondientes a 26 órdenes y 179 morfoespecies cuya mayor representación también se debe a los ácaros con 77.53% y a los colémbolos con 10.09% de la abundancia (Tabla 4).

Tabla 4. Listado taxonómico, riqueza (S), abundancia absoluta (número de individuos), abundancia relativa (%) y densidad (ind/m²) de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA; A=sitio abierto, C=sitio cerrado.

Orden	S		No. individuos		%		Densidad (ind/m ²)	
	A	C	A	C	A	C	A	C
Cryptostigmata	33	34	25981	15161	43.04	36.88	13764	8032
Prostigmata	25	24	16450	11468	27.25	27.89	8715	6075
Mesostigmata	19	19	9468	4923	15.68	11.97	5016	2608
Poduromorpha	12	11	2276	3058	3.77	7.44	1206	1620
Entomobryomorpha	21	22	2083	819	3.45	1.99	1104	434
Hemiptera	7	6	1940	3924	3.21	9.54	1028	2079
Astigmata	6	6	391	324	0.65	0.79	207	172
Symphyleona	7	6	308	275	0.51	0.67	163	146
Thysanoptera	3	4	205	146	0.34	0.36	109	77
Polydesmida	2	1	202	125	0.33	0.30	107	66
Psocoptera	2	2	198	194	0.33	0.47	105	103
Pseudoscorpionida	3	3	141	101	0.23	0.25	75	54
Isopoda	1	1	115	106	0.19	0.26	61	56
Coleoptera	8	8	107	74	0.18	0.18	57	39
Diplura	2	2	98	61	0.16	0.15	52	32
Julida	2	2	92	99	0.15	0.24	49	52
Symphyla	1	1	77	45	0.13	0.11	41	24
Hymenoptera	11	12	75	133	0.12	0.32	40	70
Geophilomorpha	2	2	42	19	0.07	0.05	22	10
Paupoda	1	1	41	1	0.07	< 0.01	22	1
Diptera	4	5	38	35	0.06	0.09	20	19
Araneae	3	3	13	14	0.02	0.03	7	7

Tabla 4. Continuación...

Orden	S		No. individuos		%		Densidad (ind/m ²)	
	A	C	A	C	A	C	A	C
Lithobiomorpha	2	1	13	6	0.02	0.01	7	3
Neelipleona	1	0	9	0	0.01	0	5	0
Lepidoptera	1	1	3	1	< 0.01	< 0.01	2	1
Metastigmata	0	1	0	1	< 0.01	< 0.01	0	1
Protura	1	1	2	1	< 0.01	< 0.01	1	1
Opiliones	1	0	1	0	< 0.01	0	1	0
Total	181	179	60369	41114	100	100	31982	21781

La mayor riqueza, abundancia y densidad se registraron en el sitio abierto (Tabla 4). Se observa que en ambos sitios los órdenes más abundantes son Cryptostigmata, Prostigmata, Mesostigmata, Poduromorpha, Hemiptera y Entomobryomorpha mientras que el resto de los órdenes representan alrededor del 4% de la abundancia (Fig. 19).

Los órdenes Cryptostigmata y Mesostigmata fueron más abundantes en el sitio abierto y, por el contrario, los órdenes Prostigmata, Poduromorpha y Hemiptera, fueron más abundantes en el sitio cerrado (Fig. 19).

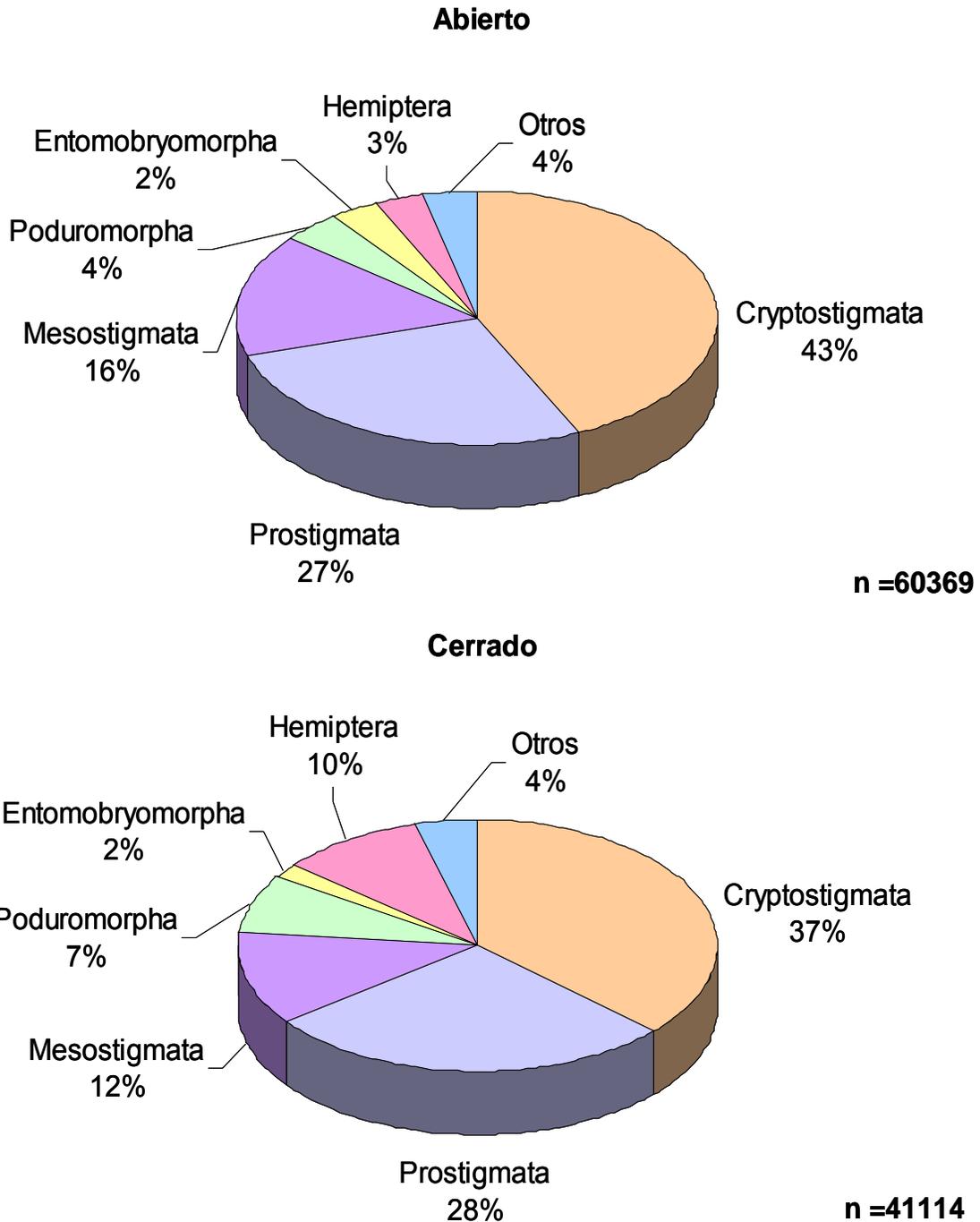


Figura 19. Abundancia relativa de los órdenes de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* registrados en la REPSA.

En cuanto a la variación temporal de la abundancia, el mes con mayor abundancia fue el mes de julio, en ambos sitios, seguido por los meses de septiembre,

agosto y junio. El mes que presentó la menor abundancia fue abril. En ambos sitios el comportamiento de las comunidades fue similar a lo largo del año; sin embargo, la abundancia casi siempre fue mayor en el sitio abierto, excepto en abril y febrero (Fig. 20).

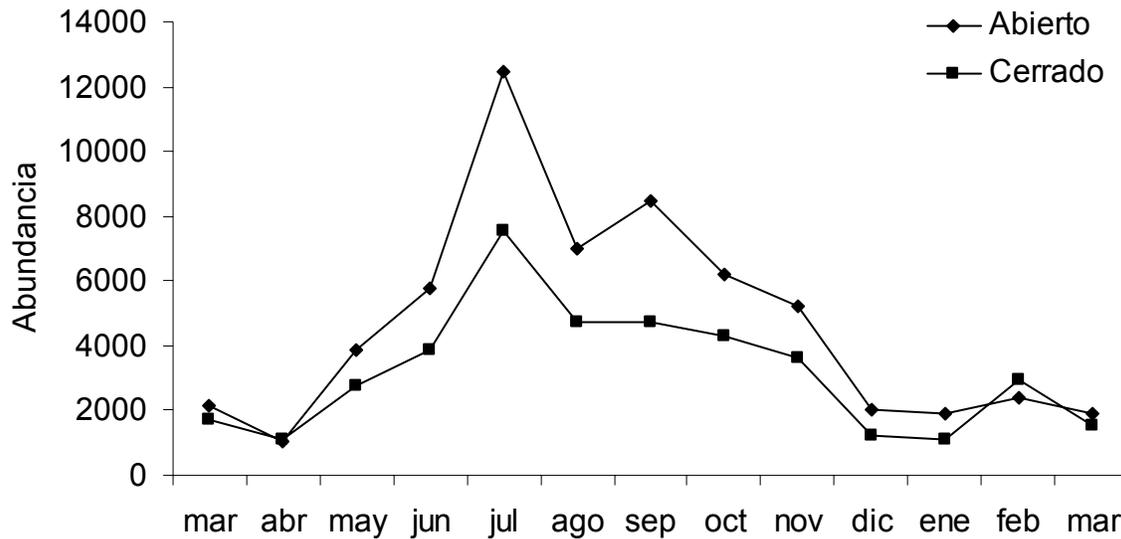


Figura 20. Variación mensual de la abundancia de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

La densidad total registrada en el sitio abierto fue de 31 982 ind/m² mientras que para el sitio cerrado fue de 21 781 ind/m². De acuerdo con el ANOVA de dos vías, tanto el sitio ($F=14.93_1$, $p<0.001$) como el mes de recolecta ($F=14.13_{12}$, $p<0.001$) tuvieron un efecto significativo sobre la densidad total de artrópodos edáficos, mientras que la interacción de estos factores ($F=1.22_{12}$, $p=0.27$) no lo tuvo.

Las mayores densidades se registraron en el mes de julio y las menores en el mes de abril. La densidad promedio fue mayor en el sitio abierto respecto del sitio cerrado para casi todos los meses, excepto abril y febrero (Tabla 5).

Tabla 5. Densidad (individuos/m²) mensual promedio de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Mes	Densidad (ind/m ²) ± e.e. por sitio	
	Abierto	Cerrado
Marzo	14910 ± 3177	11956 ± 1476
Abril	7163 ± 1933	7500 ± 2353
Mayo	26680 ± 4819	18933 ± 4489
Junio	39745 ± 7797	26742 ± 4089
Julio	85806 ± 18864	51956 ± 8052
Agosto	48313 ± 12474	32417 ± 8496
Septiembre	58464 ± 14250	32617 ± 2500
Octubre	42548 ± 6208	29601 ± 3220
Noviembre	35882 ± 5048	24821 ± 5191
Diciembre	12989 ± 2677	8313 ± 1418
Enero	12989 ± 4120	7541 ± 2487
Febrero	16474 ± 2307	20275 ± 5099
Marzo	12913 ± 2449	10482 ± 2526
Total	31982 ± 6345	21781 ± 13098

La riqueza presentó un patrón semejante a la abundancia. La mayor riqueza se presenta entre los meses de mayo a noviembre y disminuye durante los meses de la temporada seca. El sitio abierto presenta la mayor riqueza durante los meses de lluvias, mientras que en abril, octubre, noviembre, enero, febrero y marzo de 2009, la riqueza fue mayor en el sitio cerrado. Así mismo la mayor riqueza se presentó en el mes de julio y la menor en marzo de 2008 para ambos sitios (Fig. 21).

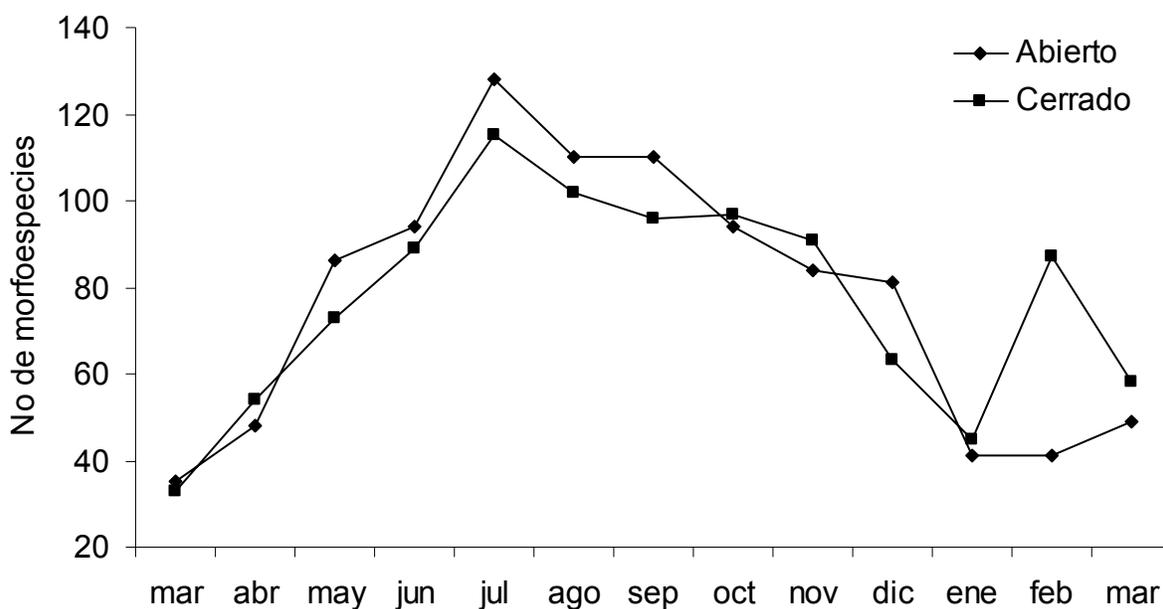


Figura 21. Variación mensual de la riqueza en la REPSA.

La diversidad y la equitatividad fueron mayores en el sitio cerrado a pesar de que la riqueza fue mayor en el sitio abierto (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de riqueza (S), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') registrados en la REPSA.

	Sitio abierto	Sitio cerrado
Riqueza	181	179
Diversidad	3.59	3.673
Equitatividad	0.691	0.708

De acuerdo con la prueba de t modificada ($t_{(91418)}=-9.6946$; $p<0.001$) y la prueba delta ($\delta=-0.08309$; $p<0.001$) la diversidad total entre los dos sitios es significativamente distinta y mayor en el sitio cerrado.

El índice de diversidad mensual presenta un aumento entre junio y septiembre en ambos sitios. La diversidad fue mayor en el sitio cerrado, exceptuando los meses de abril, mayo, agosto y diciembre (Tabla 7).

Tanto la prueba de t modificada como la prueba δ detectaron diferencias significativas para la diversidad en casi todos los meses entre los sitios abierto y cerrado, excepto en octubre y diciembre (Tabla 7).

Tabla 7. Diversidad de Shannon-Wiener (H'), prueba de t modificada y prueba δ para la comparación de los índices de diversidad mensual entre los sitios abierto (A) y cerrado (C). * diferencias significativas $p < 0.05$.

Mes	H' (C)	H' (A)	t_{gl}	δ
Marzo 2008	2.280	2.617	-8.312 ₃₉₀₁ *	-0.337 *
Abril	2.794	2.403	6.726 ₂₀₈₃ *	0.391 *
Mayo	3.067	2.816	7.426 ₅₅₉₄ *	0.251 *
Junio	3.108	3.255	-5.253 ₈₈₄₂ *	-0.147 *
Julio	3.312	3.458	-7.318 ₁₇₆₄₅ *	-0.147 *
Agosto	3.197	3.100	3.559 ₉₄₇₀ *	0.097 *
Septiembre	3.215	3.299	-3.435 ₁₁₁₀₁ *	-0.084 *
Octubre	3.436	3.457	-0.753 ₈₉₃₀	-0.021
Noviembre	3.072	3.294	-7.750 ₇₉₉₁ *	-0.221 *
Diciembre	3.099	3.024	1.687 ₂₅₆₈	0.074
Enero 2009	1.841	2.252	-7.425 ₂₁₂₆ *	-0.410 *
Febrero	1.964	3.118	-30.244 ₅₂₂₅ *	-1.154 *
Marzo	2.174	2.357	-3.445 ₃₂₃₂ *	-0.182 *

La equitatividad presentó un comportamiento similar a la diversidad siendo mayor en el sitio cerrado excepto para abril, mayo, agosto y octubre en que la equitatividad fue mayor en el sitio abierto (Fig. 22).

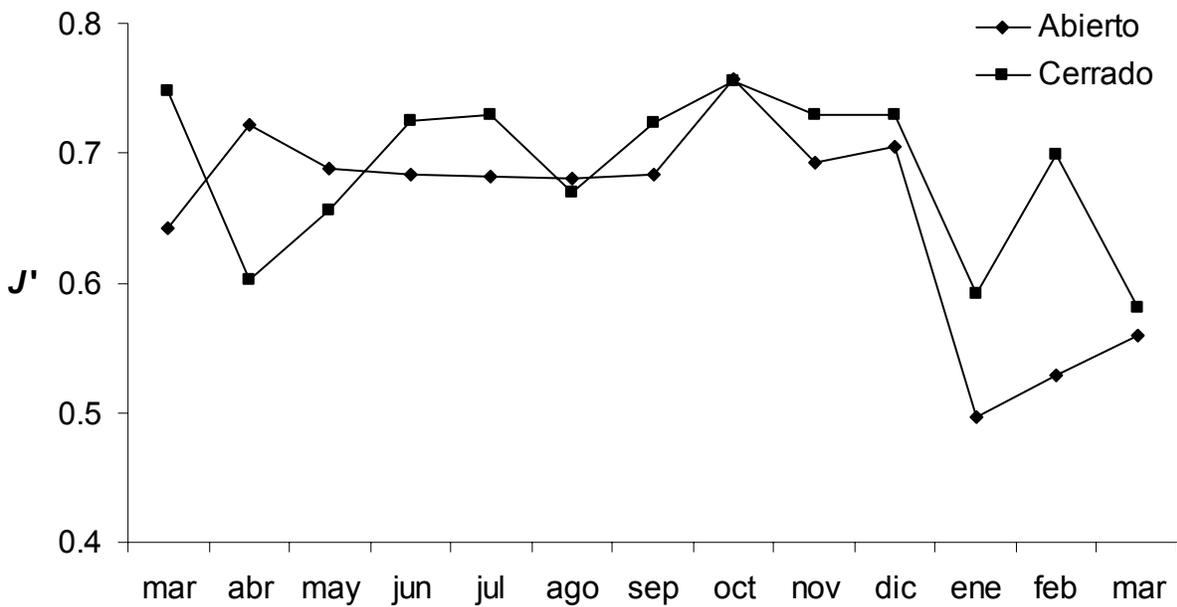


Figura 22. Variación mensual del índice de equitatividad de Pielou (J') en la REPSA.

De acuerdo con el coeficiente de similitud de Sørensen, las comunidades de los sitios abierto y cerrado presentaron una semejanza del 94%, en tanto que el coeficiente mensual alcanzó el valor más alto en agosto de 2008 (81 %), y el más bajo en marzo de 2009 (53 %; Fig. 23).

Doce de las morfoespecies observadas en el sitio abierto son exclusivas para este sitio y pertenecen a los órdenes Prostigmata, Cryptostigmata, Collembola, Hymenoptera, Hemiptera, Polydesmida, Lithobiomorpha y Opiliones. Para el sitio cerrado se registraron diez morfoespecies exclusivas correspondientes a los órdenes Cryptostigmata, Collembola, Hymenoptera, Thysanoptera, Diptera y Metastigmata.

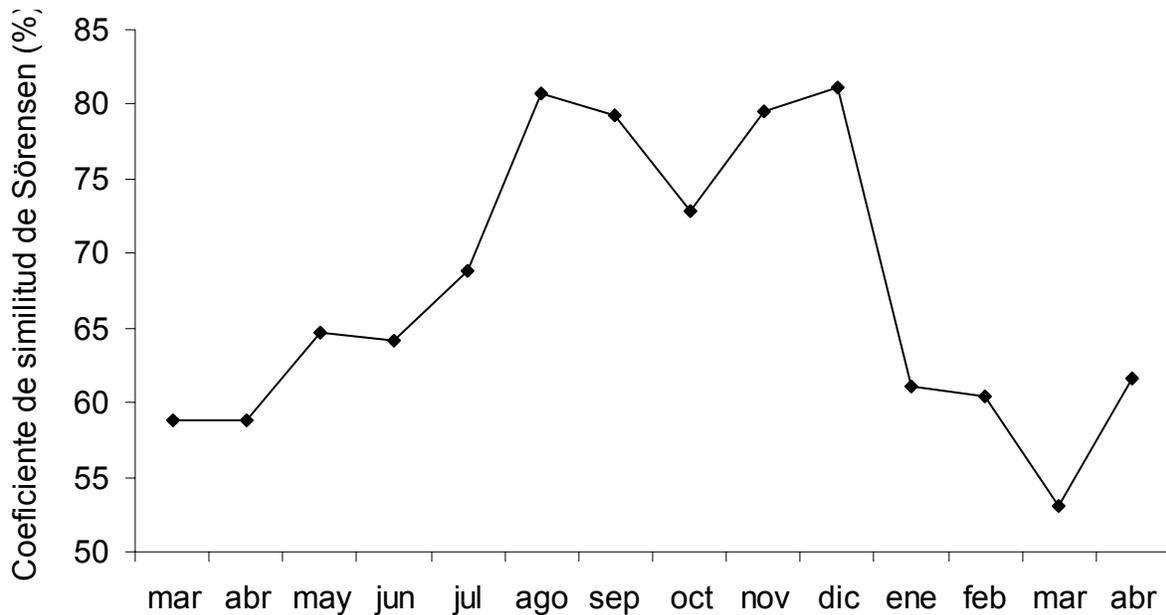


Figura 23. Variación mensual del Coeficiente de Similitud de Sørensen entre los sitios abierto y cerrado en la REPSA.

- Análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) y de similitudes (ANOSIM)

Según el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), se encontró que la composición de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* presentan diferencias significativas entre la temporada de lluvias y la temporada seca (Fig. 24).

Tanto en el sitio abierto como en el cerrado, la temporada lluviosa incluyó los meses de junio a octubre, de acuerdo con la estacionalidad reportada para la zona; sin embargo, los meses de mayo y noviembre (temporada de secas) también se agruparon junto con los meses lluviosos (Fig. 24).

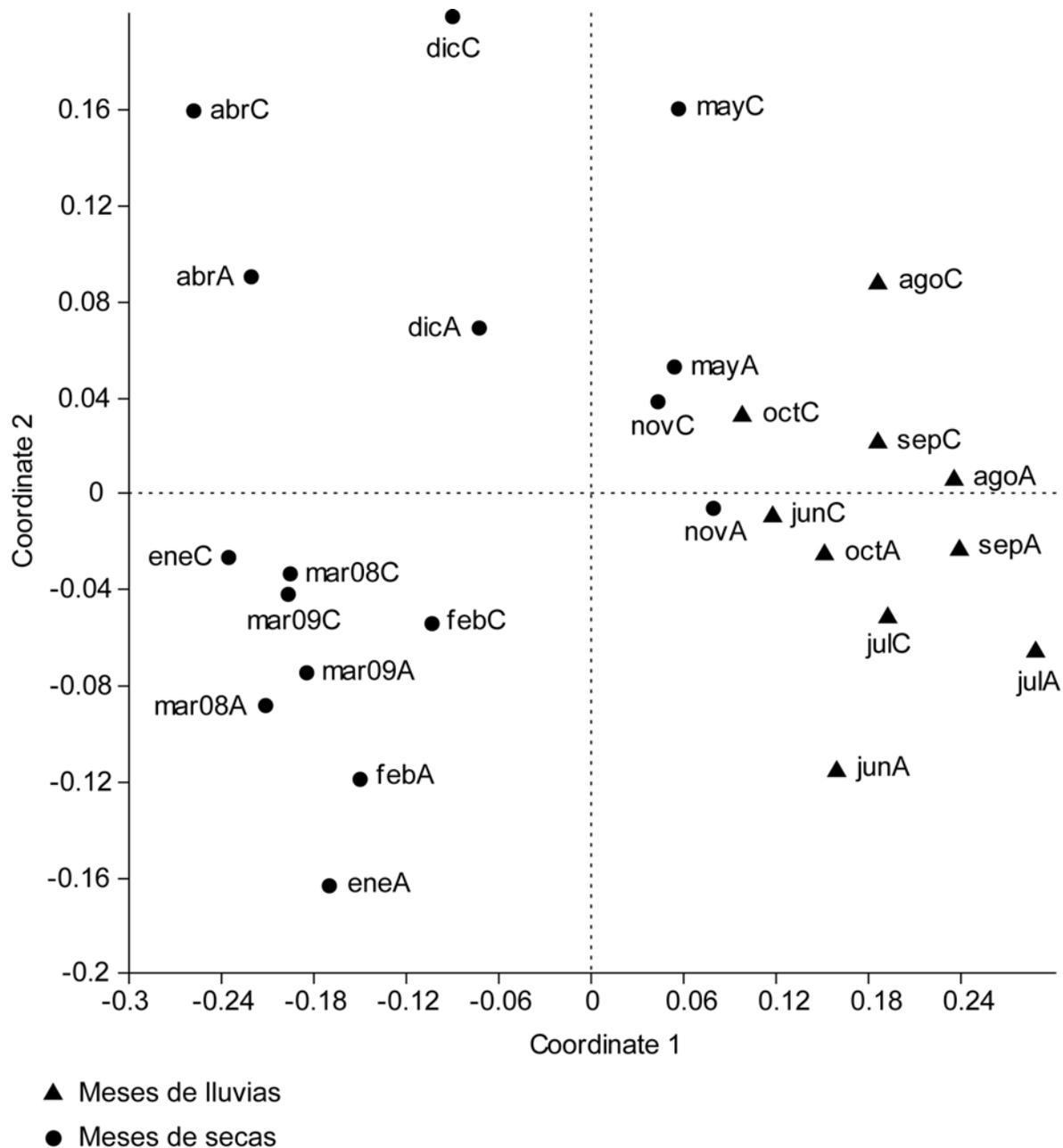


Figura 24. Diferencias en la composición de las comunidades de artrópodos edáficos asociado a *P. (~S.) praecox* en la REPSA. Cada punto es una representación en dos dimensiones (coordinate 1 y 2) de la composición edáfica a través de los meses y en cada sitio; A=sitio abierto, C=sitio cerrado.

El dendograma obtenido con el índice de Bray-Curtis reveló que las muestras se agrupan principalmente por temporada más que por el sitio de donde provienen (Fig.

25). El primer grupo está constituido por las muestras que corresponden a los meses de lluvias (junio a octubre) y el segundo grupo está formado por los meses de secas (noviembre a mayo), revelando que la composición de la comunidad es particular en cada una de las temporadas del año y muestra una clara diferenciación. El análisis de similitudes (ANOSIM) reveló diferencias significativas entre los dos grupos de meses con una $R=0.89$ y 1000 permutaciones.

Bray-Curtis Cluster Analysis (Simple Average Link)

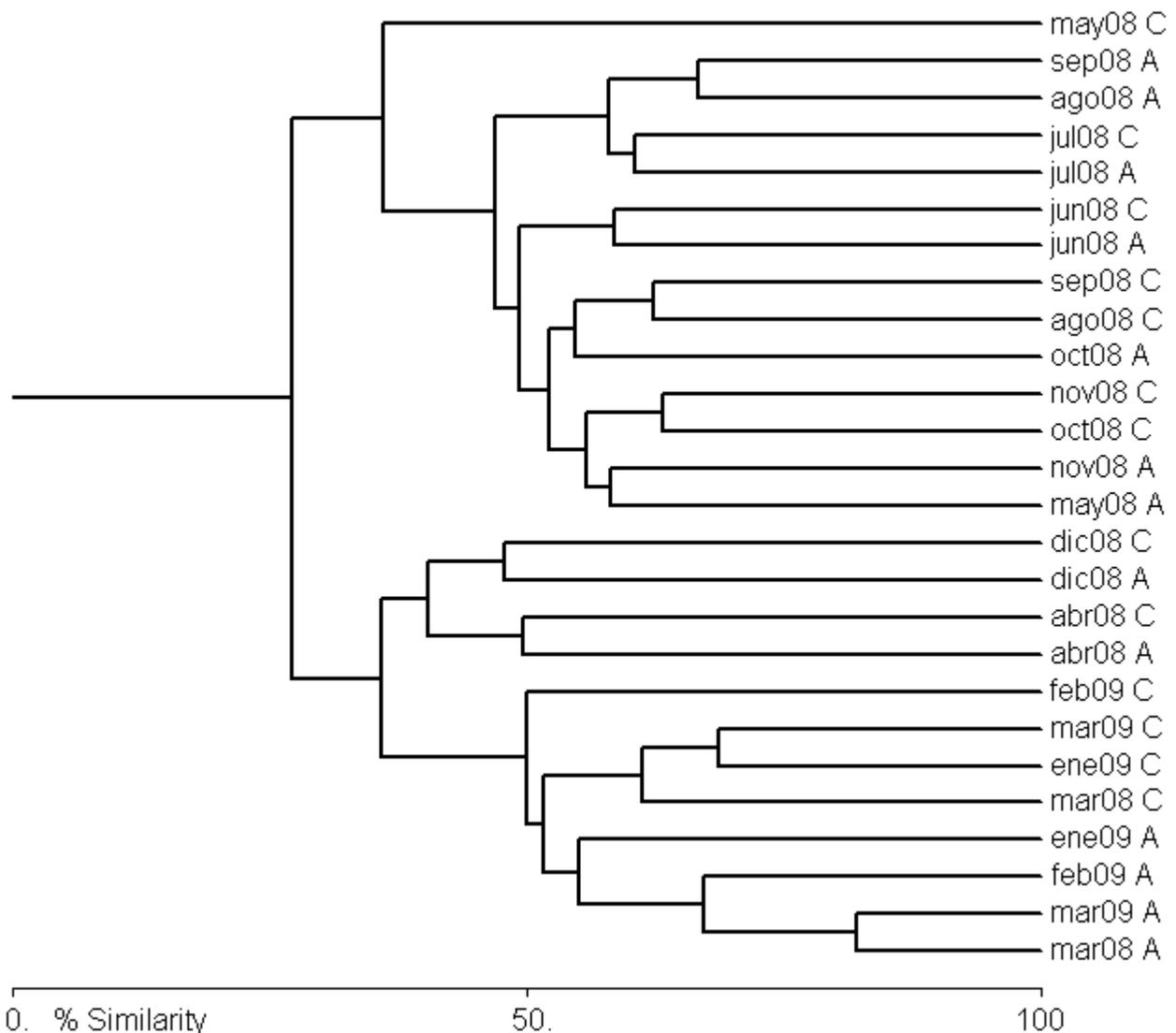


Figura 25. Dendrograma basado en el índice de Bray-Curtis que muestra las relaciones de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA; A=sitio abierto, C=sitio cerrado.

En el dendograma se observa que los meses de mayo y noviembre se asocian a los meses de lluvias, debido a la similitud que presentan tanto de abundancias como de morfoespecies, respecto a los meses con los que se agregan (Fig. 25).

6.4 Variación espacial y temporal de la comunidad de artrópodos edáficos.

Conforme al ANOVA de dos vías, se encontró un efecto significativo del sitio y el mes de recolecta sobre la abundancia total de artrópodos, mientras que su interacción no tuvo efecto (Tabla 8).

Tabla 8. Valores del ANOVA de dos vías para determinar el efecto del sitio y el mes de recolecta sobre la abundancia total de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA. *** $p < 0.001$, n.s.= no significativo.

Abundancia total			
Factor	g.l.	<i>F</i>	<i>p</i>
Sitio	1	17.85	***
Mes	12	22.68	***
Sitio * Mes	12	0.77	n.s.
Error	286		

El análisis *post hoc* mediante la prueba de Tukey mostró que en el sitio abierto los meses de marzo, abril, diciembre de 2008, enero, febrero y marzo de 2009 difieren significativamente de los meses de mayo a noviembre que corresponden a la temporada lluviosa (Fig. 26). En el sitio cerrado las diferencias se encuentran entre los meses de marzo, abril, mayo, diciembre de 2008, enero, febrero y marzo de 2009 con respecto a los meses de junio a noviembre (Fig. 26).

Los ANOVA de una vía no mostraron diferencias mensuales significativas entre los sitios abierto y cerrado, excepto para el mes de febrero (Apéndice 2: A2.2).

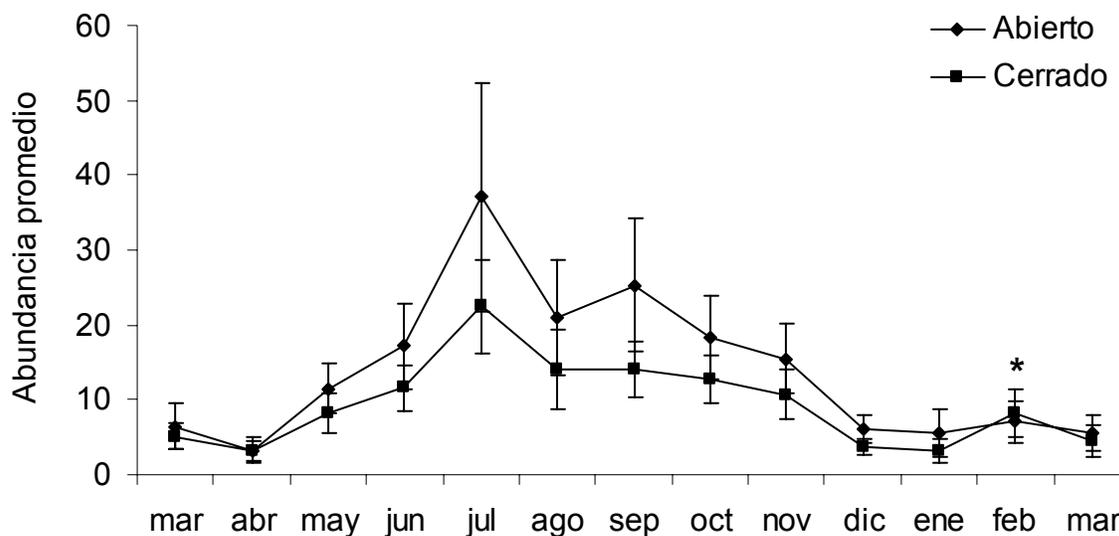


Figura 26. Variación mensual de la abundancia promedio de artrópodos edáficos (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

El ANOVA de dos vías para los órdenes de artrópodos edáficos más abundantes, mostró que en el caso de Mesostigmata el sitio, el mes de recolecta y su interacción tuvieron un efecto significativo. Para Cryptostigmata y Prostigmata solo hubo efecto del sitio y el mes. Para Entomobryomorpha hubo efecto del mes y la interacción de este factor con el sitio, y para los órdenes Poduromorpha y Hemiptera sólo se registró un efecto significativo del mes de recolecta (Tabla 9).

Se realizaron ANOVAs de una vía por sitio, para la abundancia total y para la abundancia de los seis órdenes más numerosos y se realizaron comparaciones *post hoc* para determinar grupos homogéneos. Los resultados se muestran en el Apéndice 2, tabla A2.1.

Tabla 9. Valores del ANOVA de dos vías para determinar el efecto de sitio y mes de recolecta sobre la abundancia de los órdenes de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA. Diferencias significativas a * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$, n.s.= no significativo; grados de libertad del error=286 para todos los casos.

Cryptostigmata			
Factor	g.l.	F	p
Sitio	1	9.19	**
Mes	12	32.98	***
Sitio * Mes	12	1.40	n.s.
Prostigmata			
Sitio	1	17.86	***
Mes	12	5.79	***
Sitio * Mes	12	0.57	n.s.
Mesostigmata			
Sitio	1	10.06	**
Mes	12	28.16	***
Sitio * Mes	12	3.39	***
Poduromorpha			
Sitio	1	3.08	n.s.
Mes	12	8.41	***
Sitio * Mes	12	0.72	n.s.
Hemiptera			
Sitio	1	3.20	n.s.
Mes	12	2.95	***
Sitio * Mes	12	0.61	n.s.
Entomobryomorpha			
Sitio	1	2.65	n.s.
Mes	12	8.63	***
Sitio * Mes	12	1.91	*

Para los ácaros Cryptostigmata la mayor abundancia se presentó en el sitio abierto excepto en marzo y mayo de 2008, febrero y marzo de 2009 en que la abundancia fue mayor en el sitio cerrado (Fig. 27). En el sitio abierto los meses de marzo y abril de 2008 y marzo de 2009 difirieron significativamente de julio a noviembre. En el sitio cerrado hubo diferencias entre marzo, abril, diciembre de 2008, enero y marzo de 2009 con respecto a los meses de mayo a noviembre (Fig. 27). En términos de la variación mensual, no se registraron diferencias entre los sitios (Apéndice 2: A2.3).

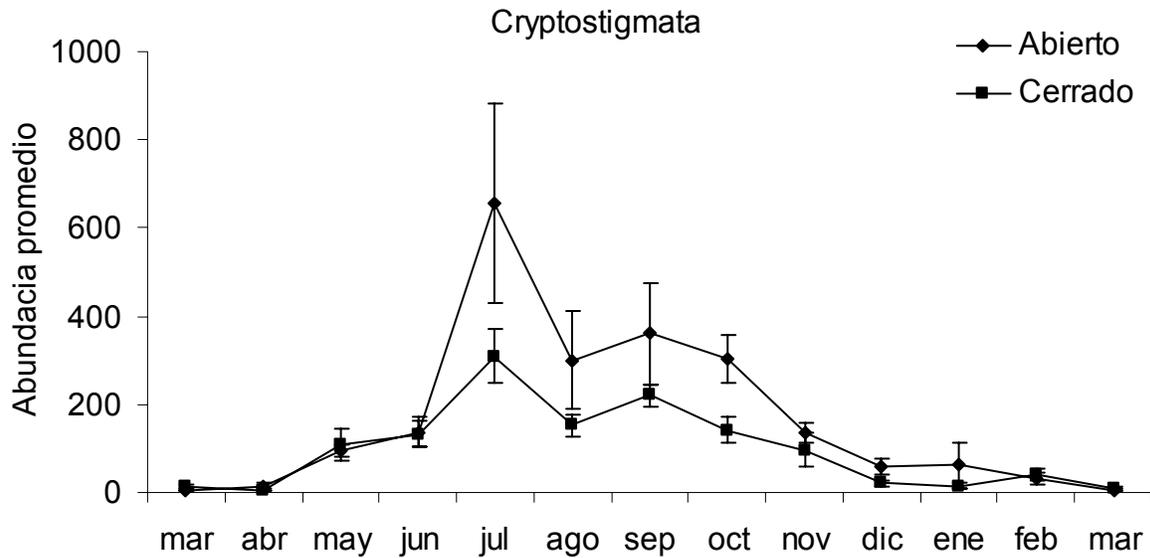


Figura 27. Variación mensual de la abundancia promedio de ácaros Cryptostigmata (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

La abundancia de los Prostigmata fue mayor en el sitio abierto excepto en abril y julio. En este caso particular la población presenta una abundancia más homogénea a lo largo del año a diferencia del comportamiento registrado para otros órdenes (Fig. 28). En el sitio abierto se encontraron diferencias significativas entre abril que presentó la menor abundancia y los meses de marzo, junio, noviembre, febrero y marzo de 2009. El resto de los meses presenta elementos compartidos con alguno de estos meses. En el sitio cerrado las diferencias se observaron entre agosto de 2008 y febrero de 2009 (Fig. 28). No se registraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 2: A2.4).

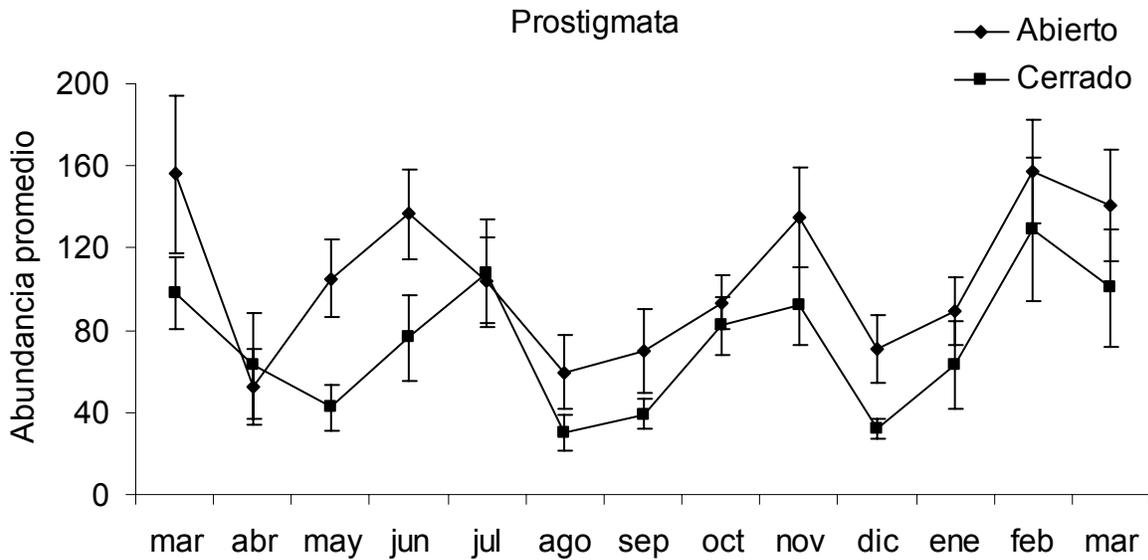


Figura 28. Variación mensual de la abundancia promedio de ácaros Prostigmata (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Los Mesostigmata fueron más abundantes en el sitio abierto de abril a noviembre, meses en los se registraron varios picos de abundancia (Fig. 29). En el sitio abierto se presentaron diferencias entre marzo, abril, diciembre de 2008, enero, febrero y marzo de 2009 y los meses de junio a noviembre mientras que en el sitio cerrado abril, diciembre, enero y marzo se diferenciaron de los meses de mayo a noviembre (Fig. 29). No se registraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 2: A2.5).

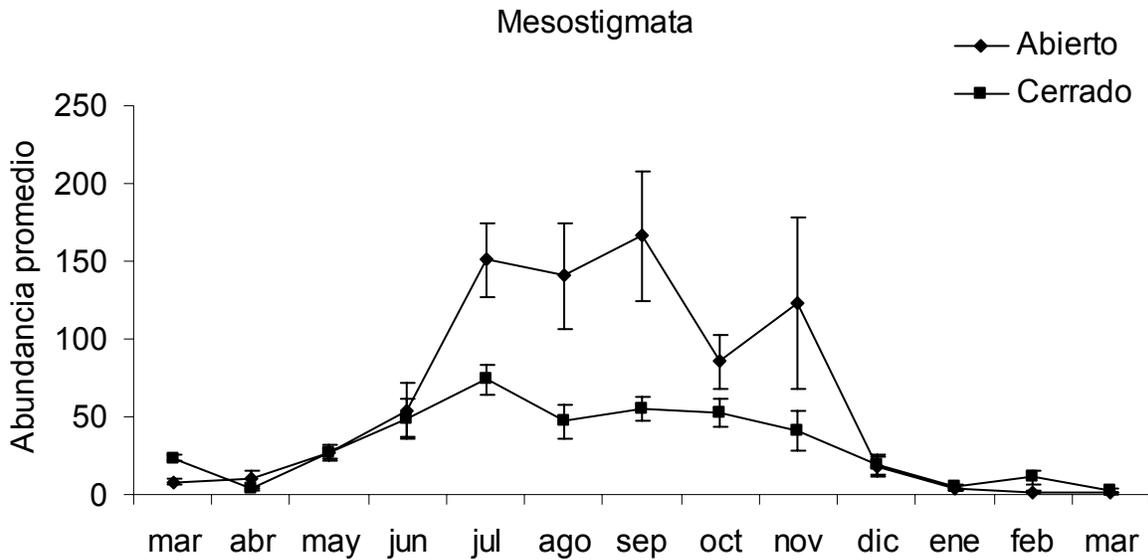


Figura 29. Variación mensual de la abundancia promedio de ácaros Mesostigmata (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Los colémbolos del orden Poduromorpha fueron más abundantes en el sitio cerrado, excepto los meses de mayo, junio, septiembre y diciembre (Fig. 30). En el sitio abierto, marzo, abril, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo de 2009 se diferenciaron de mayo a octubre, mientras que en el sitio cerrado julio se distingue de marzo, abril y diciembre de 2008, enero y marzo de 2009 (Fig. 30). No se registraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 2: A2.6).

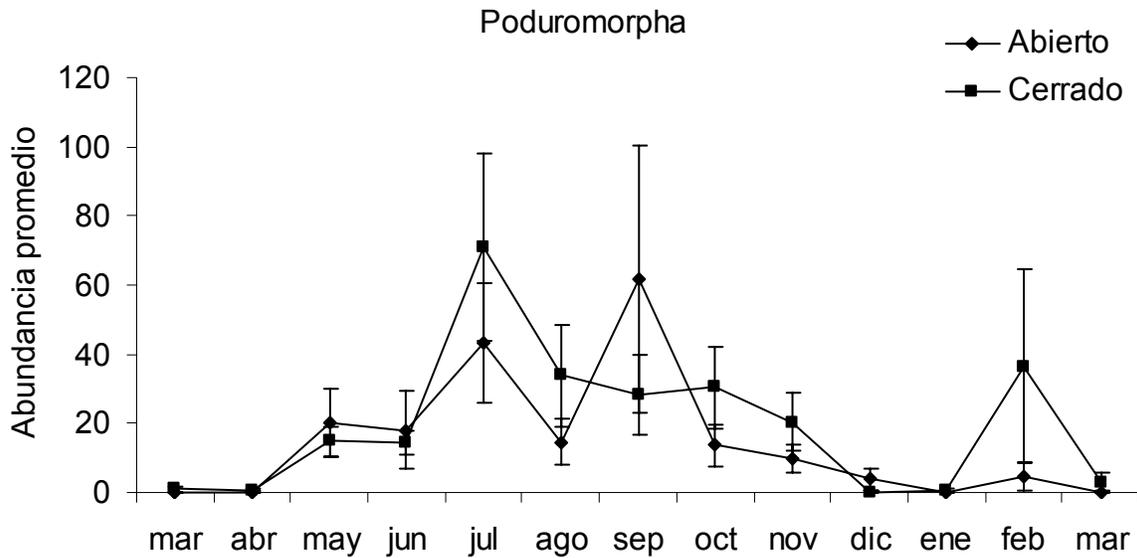


Figura 30. Variación mensual de la abundancia promedio de colémbolos Poduromorpha (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

El orden Entomobryomorpha fue más abundante en el sitio cerrado aunque en los meses de lluvias (junio a septiembre) se registró una mayor abundancia en el sitio abierto (Fig. 31). En el sitio abierto marzo, abril, enero, febrero y marzo de 2009 se diferencian de junio a octubre, meses en que se registró la mayor abundancia. En el sitio cerrado los meses de mayo y julio fueron diferentes de marzo, abril, noviembre, diciembre, enero y marzo de 2009 (Fig. 31). No se registraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 2: A2.7).

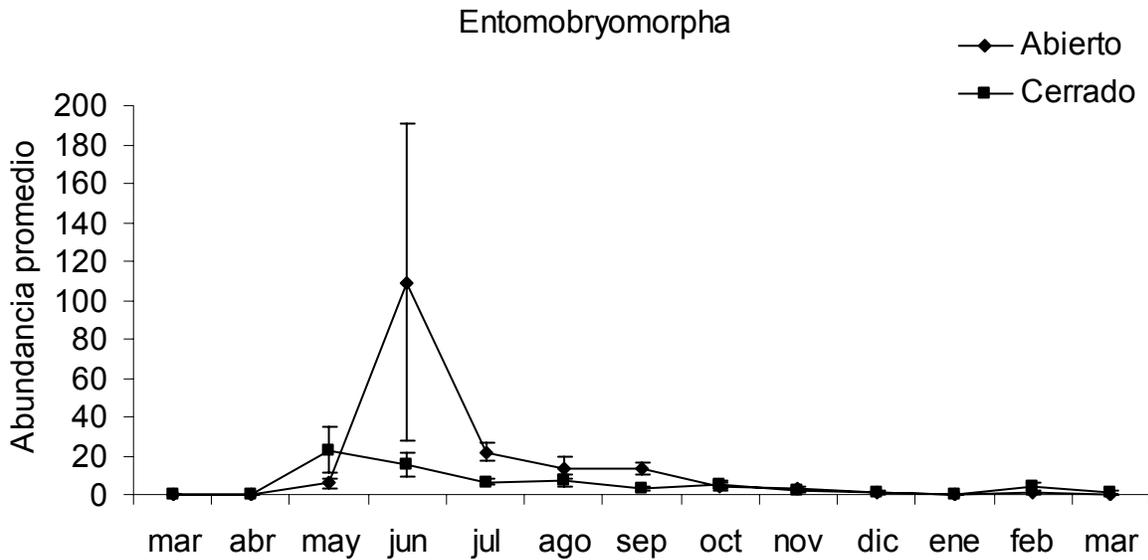


Figura 31. Variación mensual de la abundancia promedio de colémbolos Entomobryomorpha (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Para el orden Hemiptera, la abundancia fue mayor en el sitio cerrado excepto en el mes de mayo (Fig. 32). En el sitio abierto las diferencias se presentaron entre mayo y febrero. En el sitio cerrado no se presentaron diferencias significativas y la abundancia fue homogénea a lo largo del año con un pico de abundancia en el mes de agosto. Para este orden se registraron diferencias entre los sitios abierto y cerrado para el mes de febrero (Fig. 32). No se registraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 2: A2.8).

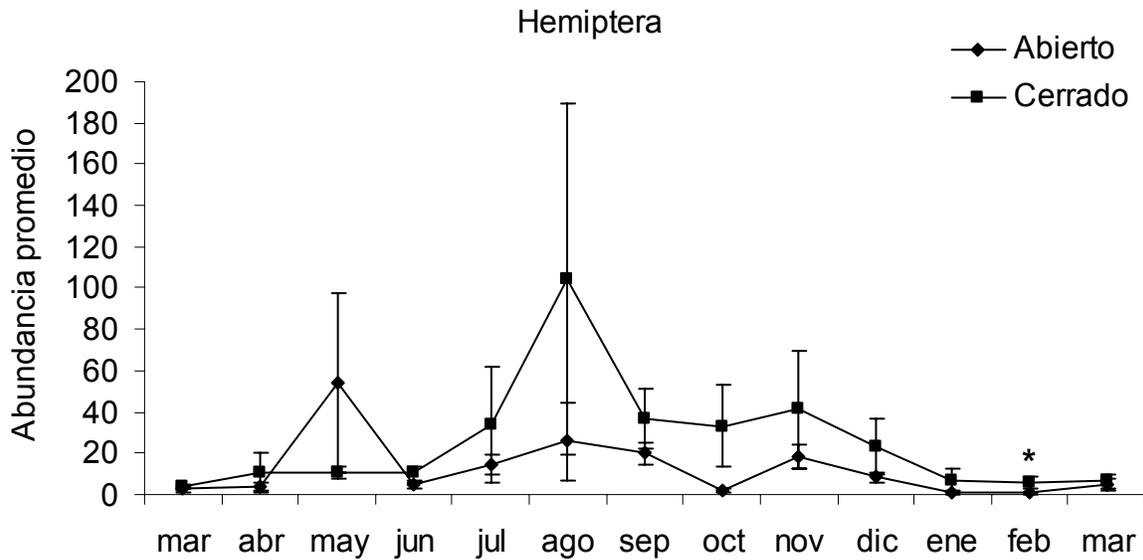


Figura 32. Variación mensual de la abundancia promedio de Hemiptera (\pm e.e.) asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA. Los asteriscos denotan diferencias significativas entre sitios (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

- Análisis de Canónico de Correspondencias

El análisis canónico de correspondencias con selección automática *a priori* identificó que el pH, la temperatura, los contenidos de CO₂, sodio y fósforo fueron los parámetros de mayor influencia en la distribución de los artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox*, sin embargo solo el pH, la temperatura y la concentración de CO₂ se correlacionaron significativamente ($p=0.01$, $p=0.004$ y $p=0.004$ respectivamente, 499 permutaciones).

Los resultados del CCA muestran que el 56% de la variación en la abundancia de artrópodos puede explicarse por el modelo. Los ejes 1 y 2 explican el 28.9% de la variación. El eje 1 se relaciona mejor con la temperatura ($r=0.54$) y el contenido de sodio ($r=0.49$), mientras que el eje 2 se relaciona con el contenido de fósforo ($r=0.48$) y el pH ($r=0.43$). La prueba de permutación de Monte Carlo resultó significativa para la relación entre las comunidades de artrópodos edáficos y los parámetros tanto físicos como químicos del suelo (499 permutaciones $p=0.002$).

Se observa que las muestras correspondientes al sitio abierto se agrupan homogéneamente con las muestras del sitio cerrado y la mayoría de las ellas se asocia a un pH ligeramente ácido (alrededor de 5) y una temperatura moderada.

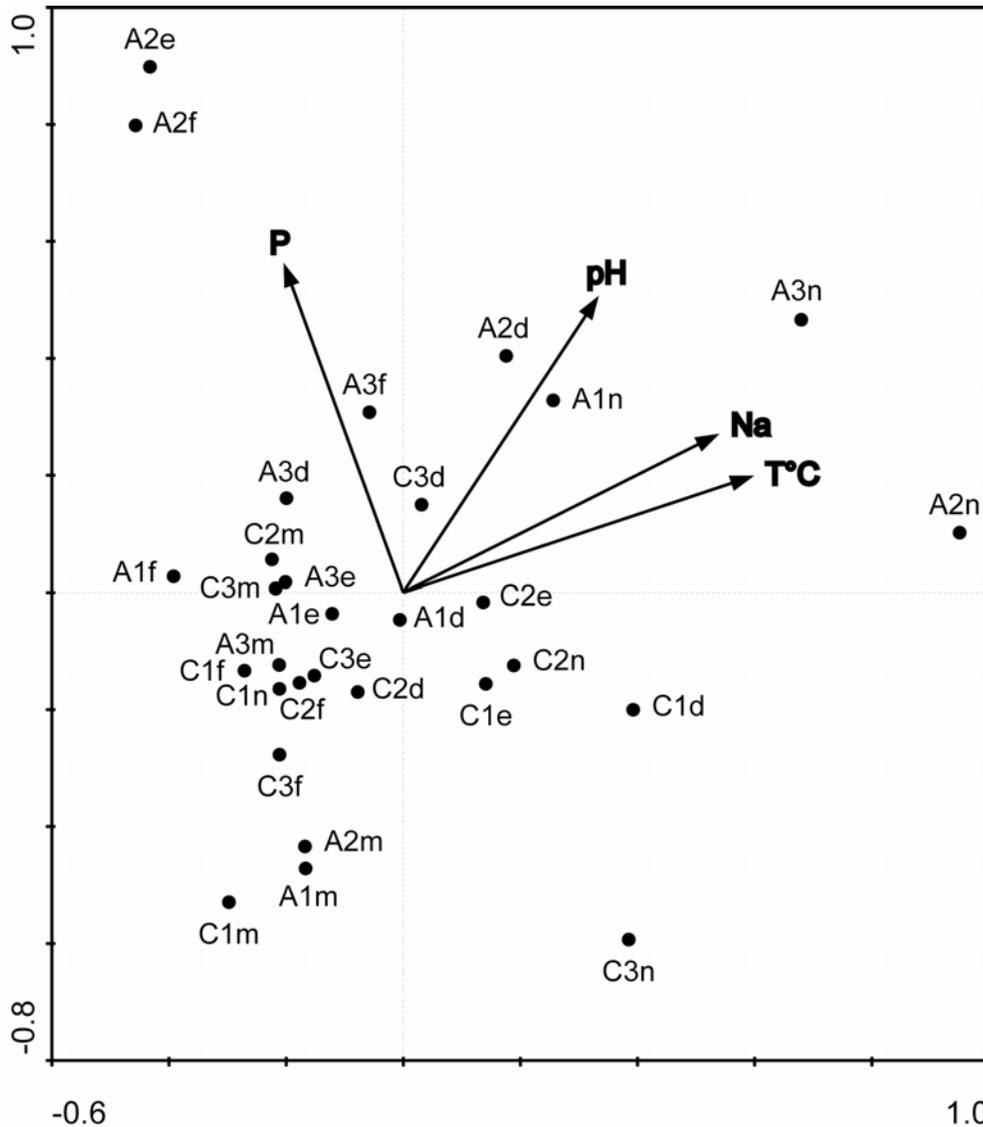


Figura 33. Diagrama de ordenación del análisis canónico de correspondencias de las comunidades de artrópodos edáficos (●) asociados a *Pittocaulon* (~S.) *praecox* en la REPSA. Las flechas representan los parámetros físicos y químicos del suelo (P=fósforo, Na=sodio, T°C=temperatura). A=abierto, C=cerrado; 1, 2, 3=número de muestra; n=noviembre, d=diciembre, e=enero, f=febrero, m=marzo.

De lo anterior se puede deducir que las variables pH, temperatura, contenido de fósforo y de sodio, influyen de manera similar sobre las comunidades artrópodos, de los sitios abierto y cerrado por lo que no se observa una segregación de las muestras correspondientes a cada sitio (Fig. 33).

- Análisis de correlación múltiple

El análisis de correlación múltiple entre las variables físicas y químicas del suelo y la abundancia total de artrópodos edáficos, mostró que la humedad absoluta y la temperatura se relacionaron positivamente con la abundancia de artrópodos mientras que el contenido de materia orgánica y de carbono se correlacionaron negativamente. No se registró correlación significativa con el resto de los parámetros edáficos (Tabla 10).

Tabla 10. Coeficientes de correlación múltiple entre la abundancia total de artrópodos edáficos y los parámetros físicos y químicos del suelo (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p < 0.05$).

r^2 global	r^2	<i>gl</i>	<i>p</i>
0.243	HA = 0.398 *	9,68	0.019
0.035	HR = -0.19	1,28	0.320
0.136	T°C = 0.447 *	2,141	0.000
0.243	pH = 0.108	9,68	0.019
0.243	MO = -0.660 *	9,68	0.019
0.243	C = -0.660 *	9,68	0.019
0.243	N = -0.163	9,68	0.019
0.243	P = -0.058	9,68	0.019
0.243	Na = -0.01	9,68	0.019
0.243	K = -0.220	9,68	0.019
0.243	Ca = 0.210	9,68	0.019
0.243	Mg = 0.061	9,68	0.019
0.136	CO ₂ = 0.189	2,141	0.000

6.6 Biomasa, gremios e interacciones tróficas.

El modelo de regresión potencial mostró un buen ajuste a los datos (Fig. 34). La ecuación que predice la biomasa en función de la longitud corporal es:

$$W = (4E-05) lc^{1.7654}, r^2 = 0.80,$$

donde W es el peso seco en gramos del organismo y lc su longitud corporal en milímetros.

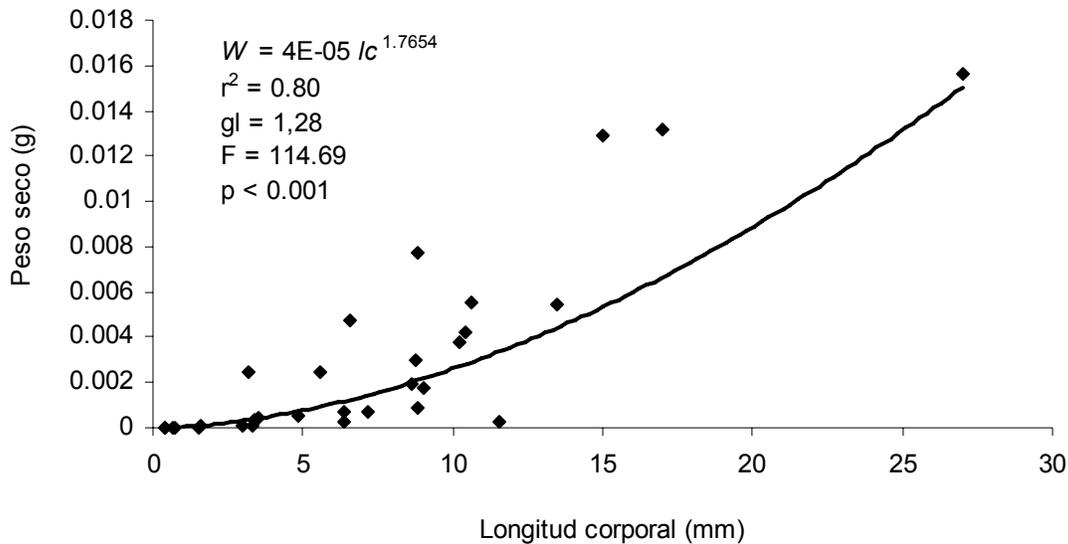


Figura 34. Regresión entre la longitud corporal y el peso seco de los artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

El peso seco de los artrópodos edáficos se ubicó dentro del intervalo de $4.08e^{-6}$ g para los ácaros Prostigmata, a los 0.0184 g de algunos Isopoda.

En el sitio abierto el mayor aporte de biomasa estuvo dado por los órdenes Isopoda, Cryptostigmata, Polydesida, Julida, Mesostigmata y Poduromorpha; mientras que en el sitio cerrado fueron los órdenes Isopoda, Julida, Cryptostigmata, Polydesmida, Entomobryomorpha y Poduromorpha (Fig. 35).

El grupo denominado como “otros” representó un porcentaje de 18% y 15%, respectivamente y contiene a los 21 órdenes con menor aporte de biomasa (Fig. 35).

En ambos casos, el orden Isopoda fue el más importante al aportar cerca de una tercera parte de la biomasa (Fig. 35). La importancia del aporte de biomasa que presentaron algunos grupos de artrópodos como los Isopoda, Polydesmida y Julida se debe a que estos organismos presentan tamaños corporales mucho mayores en comparación con los ácaros y los colémbolos, que por otra parte, aunque son muy pequeños, fueron los grupos más abundantes y por ello también tuvieron un aporte importante de biomasa (Fig. 35).

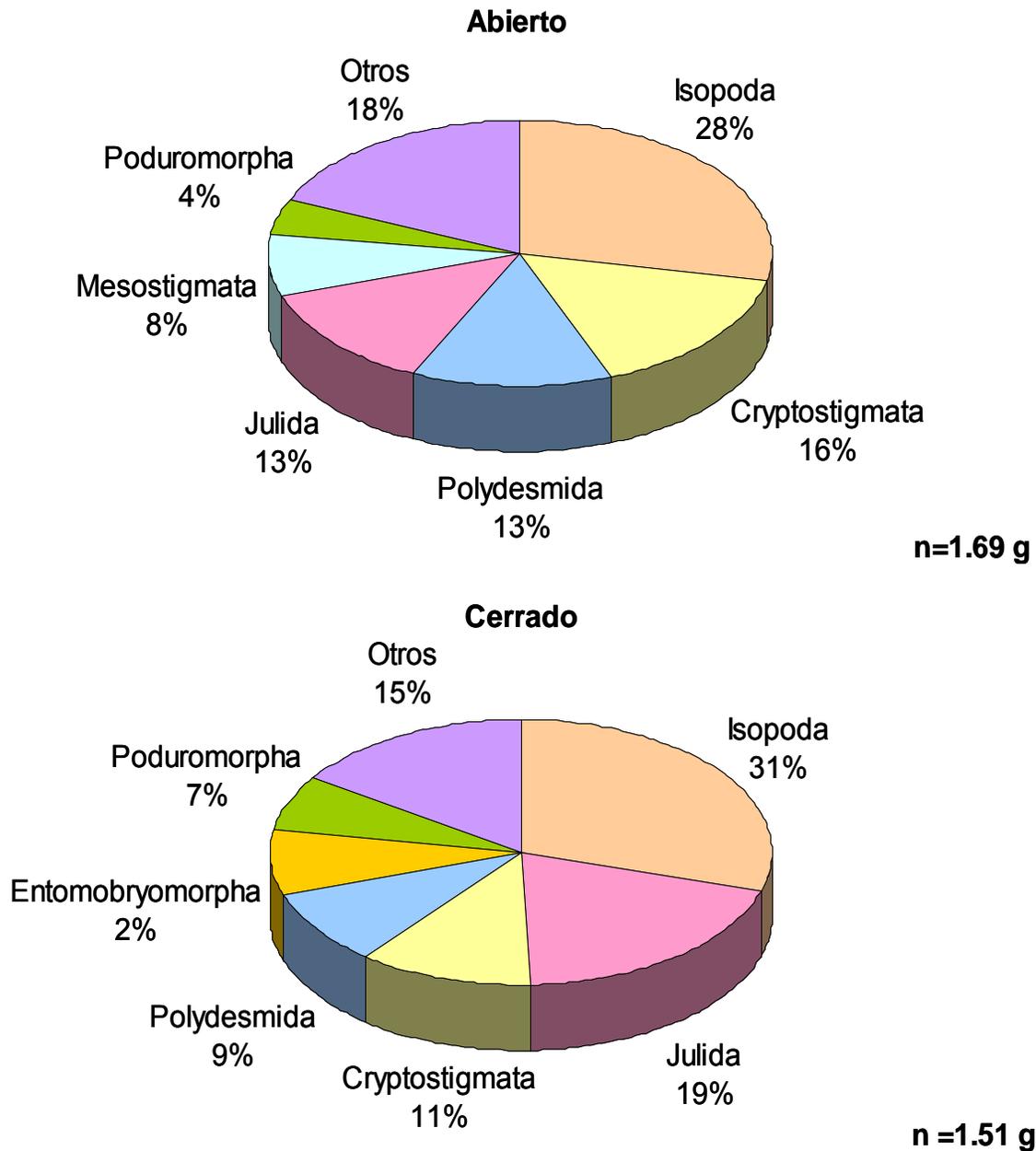


Figura 35. Aporte proporcional de biomasa de los órdenes de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

El ANOVA de dos vías mostró que el mes de recolecta tuvo un efecto significativo sobre el aporte total de biomasa ($F_{12,286}=15.31, p < 0.001$) mientras que el sitio ($F_{1,286}=0.88, p = 0.35$) y la interacción ($F_{12,286}=1.39, p=0.17$) no lo tuvieron.

Los análisis *post hoc* mediante la prueba de Tukey mostraron que en el sitio abierto los meses de marzo, abril, mayo, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo de 2009, presentaron diferencias respecto a los meses de julio, agosto y septiembre de 2009, (Fig. 36).

En el sitio cerrado las diferencias se prestaron entre marzo de 2008, enero y marzo de 2009 respecto a julio (Fig. 36).

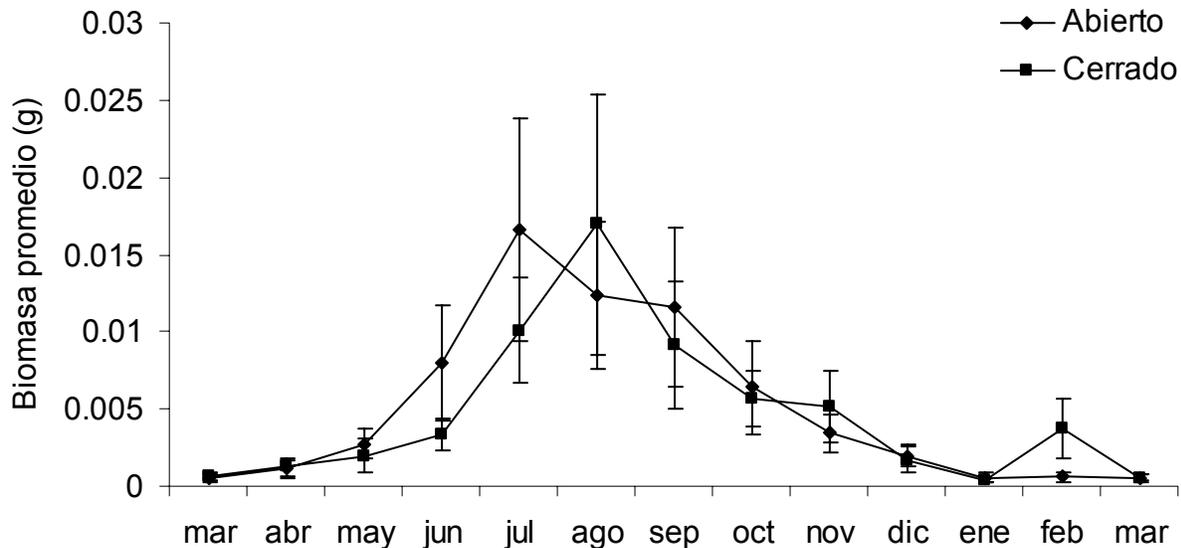


Figura 36. Variación mensual de la biomasa promedio (\pm e.e.) de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Los ANOVA de una vía no mostraron diferencias mensuales entre sitios (Apéndice 3).

- Gremios tróficos

Los órdenes de artrópodos edáficos registrados en la REPSA se clasificaron en siete diferentes gremios tróficos: depredadores, detritívoros, fungívoros, herbívoros, necrófagos, parásitos y no determinado (Tabla 11).

Tabla 11. Clasificación en gremios tróficos de los órdenes de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

Orden	Gremio trófico	Referencias
Prostigmata	Depredadores	Iraola (2001); Walter <i>et al.</i> (2009); Oelbermann y Scheu (2010); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2011)
Mesostigamata	Depredadores	Iraola (2001); Lindquist <i>et al.</i> (2009)
Astigmata	Depredadores	Iraola (2001)
Hemiptera		
Reduviidae	Depredadores	De la Fuente (1994); Doblas (2007); Blanco-Becerril <i>et al.</i> (2010)
Pseudoscorpionida	Depredadores	Doblas (2007); Oelbermann y Scheu (2010); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2011)
Coleoptera		
Staphylinidae	Depredadores	Doblas (2007); Oelbermann y Scheu (2010)
Pselaphidae	Depredadores	
Diplura		
Japygidae	Depredadores	De la Fuente (1994)
Hymenoptera		
<i>Neivamyrmex</i>	Depredadores	Rojas (2001); Alatorre-Bracamontes y Vásquez-Bolaños (2010)
Chilopoda		
Scolopendromorpha	Depredadores	Brown <i>et al.</i> (2001); Doblas (2007)
Geophilomorpha		
Araneae	Depredadores	Brown <i>et al.</i> (2001); Doblas (2007); Blanco-Becerril <i>et al.</i> (2010)
Opiliones	Depredadores o necrófagos	Ruppert y Barnes (1996); Brusca y Brusca (2002); Oelbermann y Scheu (2010)
Cryptostigmata	Fungívoros	Smith <i>et al.</i> , (2011); Norton y Behan-Pelletier (2009); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2011)
Galumnidae	Detritívoros	Schneider <i>et al.</i> (2004)
Poduromorpha	Detritívoros	Chahartaghi <i>et al.</i> (2005); Sabais <i>et al.</i> (2011)
Entomobryomorpha	Detritívoros	Chahartaghi <i>et al.</i> (2005); Oelbermann y Scheu (2010); Sabais <i>et al.</i> (2011)
Symphyleona	Detritívoros	Chahartaghi <i>et al.</i> (2005)
Diplopoda		
Polydesmida	Detritívoros	Shelley (1999); Doblas (2007)
Julida		
Isopoda	Detritívoros	Brown <i>et al.</i> (2001); Oelbermann y Scheu (2010)
Diplura	Detritívoros	De la Fuente (1994)
Campodeidae		
Paupoda	Detritívoros	De la Fuente (1994)

Tabla 11. Continuación...

Orden	Gremio trófico	Referencias
Hemiptera		
Coccidae	Herbívoros	De la Fuente (1994)
Cicadellidae	Herbívoros	Doblas (2007); Blanco-Becerril (2010)
Aphidae	Herbívoros	Doblas (2007)
Thysanoptera	Herbívoros	McGavin (2002); Doblas (2007)
Psocoptera	Herbívoros	McGavin (2002)
Coleoptera		
Curculionidae	Herbívoros	Doblas (2007)
Hymenoptera		
<i>Pheidole</i>	Herbívoros	Rojas (2001); Alatorre-Bracamontes y Vásquez-Bolaños (2010)
Symphyla	Herbívoros	De la Fuente (1994)
Lepidoptera	Herbívoros	Brown <i>et al.</i> (2001); Doblas (2007); Blanco-Becerril <i>et al.</i> (2010)
Protura	Herbívoros	De la Fuente (1994); McGavin (2002)
Coleoptera		
Silphidae	Necrófagos	Peck y Anderson (1985)
Metastigmata	Parásitos	Iraola (2001); Smith <i>et al.</i> (2011)

Los gremios más abundantes tanto en el sitio abierto como en el cerrado fueron: depredador, fungívoro, detritívoro y herbívoro, representando más del 99% de la abundancia total en ambos casos. El resto de los gremios (necrófago, parásito y no determinado) representó menos del 0.3% (Fig. 37).

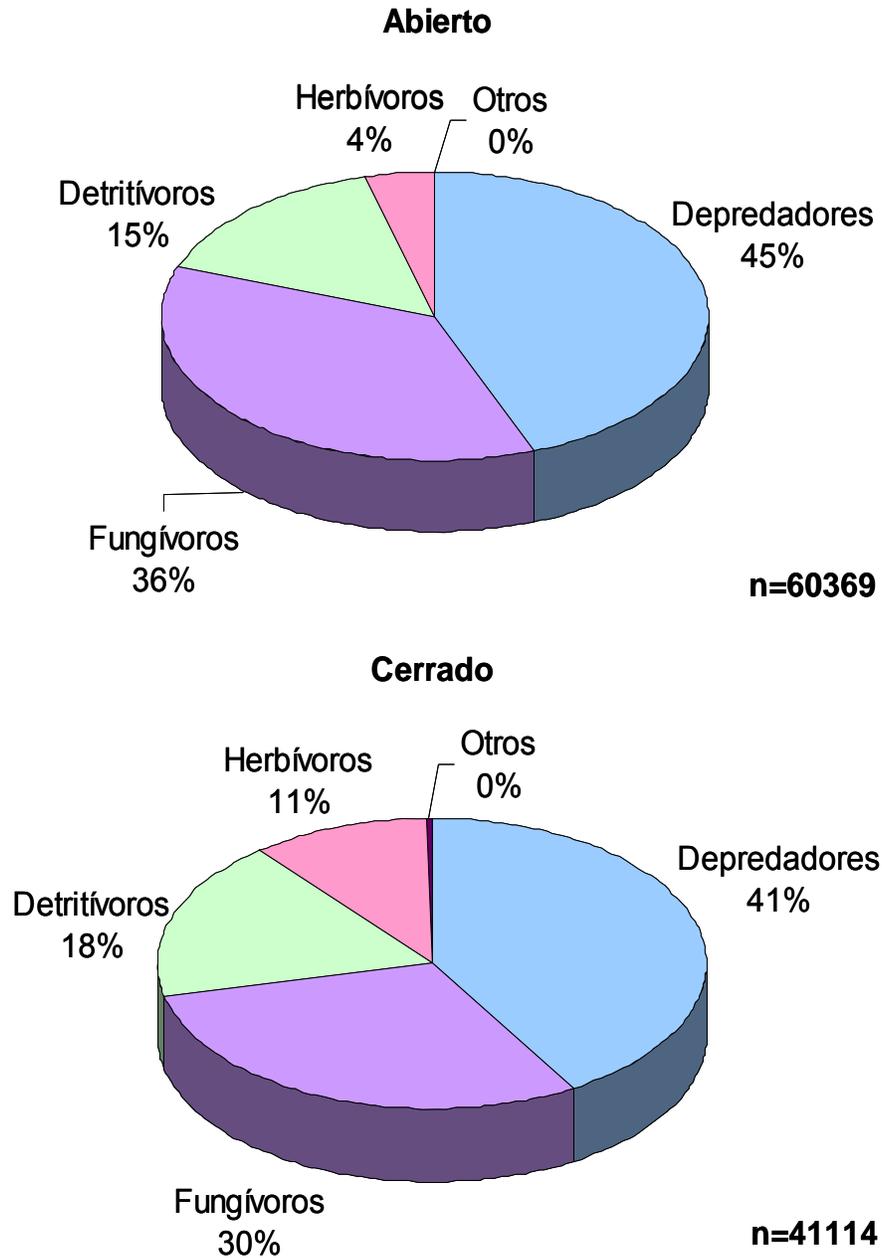


Figura 37. Abundancia relativa de los gremios tróficos registrados en la REPSA.

Aunque el gremio de los depredadores fue el más abundante, el gremio de los detritívoros fue el que aportó la mayor cantidad de biomasa en ambos sitios. Sin embargo la prueba de t no mostró diferencias de abundancia o de biomasa entre los sitios abierto y cerrado (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de t modificada para la abundancia (número de individuos) y la biomasa (peso seco en gramos) de los gremios tróficos asociados a *P. (~S.) praecox* registrados en la REPSA.

Gremio	Abundancia				Biomasa			
	Abierto	Cerrado	t_{gl}	p	Abierto	Cerrado	t_{gl}	p
Depredadores	26721	16987	0.897 ₁₄₀	0.371	0.2957	0.1722	1.419 ₁₄₀	0.158
Fungívoros	21852	12373	1.014 ₆₁	0.314	0.1913	0.1101	1.005 ₆₁	0.319
Detritívoros	9329	7329	0.456 ₁₀₁	0.649	1.1422	1.0723	0.064 ₁₀₁	0.949
Herbívoros	2398	4342	-0.558 ₃₉	0.580	0.0937	0.1505	-0.766 ₃₇	0.448
No deter.	57	54	0.556 ₁₁	0.590	0.0054	0.0053	0.279 ₁₁	0.785
Necrófagos	9	8	-	-	0.0010	0.0008	-	-
Parásitos	0	1	-	-	0.0000	0.0000	-	-
Total	60369	41114	0.535 ₁₄	0.601	1.7293	1.5118	0.144 ₁₄	0.887

La Fig. 38 muestra la variación mensual de la proporción de los principales gremios tróficos. Se observa que en el sitio abierto la abundancia de depredadores, detritívoros y fungívoros presenta un comportamiento similar a lo largo del año y la mayor abundancia se presenta en los meses correspondientes a la temporada de lluvias (junio a octubre), a diferencia de los herbívoros cuya abundancia permanece relativamente baja a lo largo del año. En el sitio cerrado la abundancia de depredadores fue homogénea a lo largo del año mientras que el resto de los gremios presentó un aumento asociado al aumento de la humedad (Fig. 38).

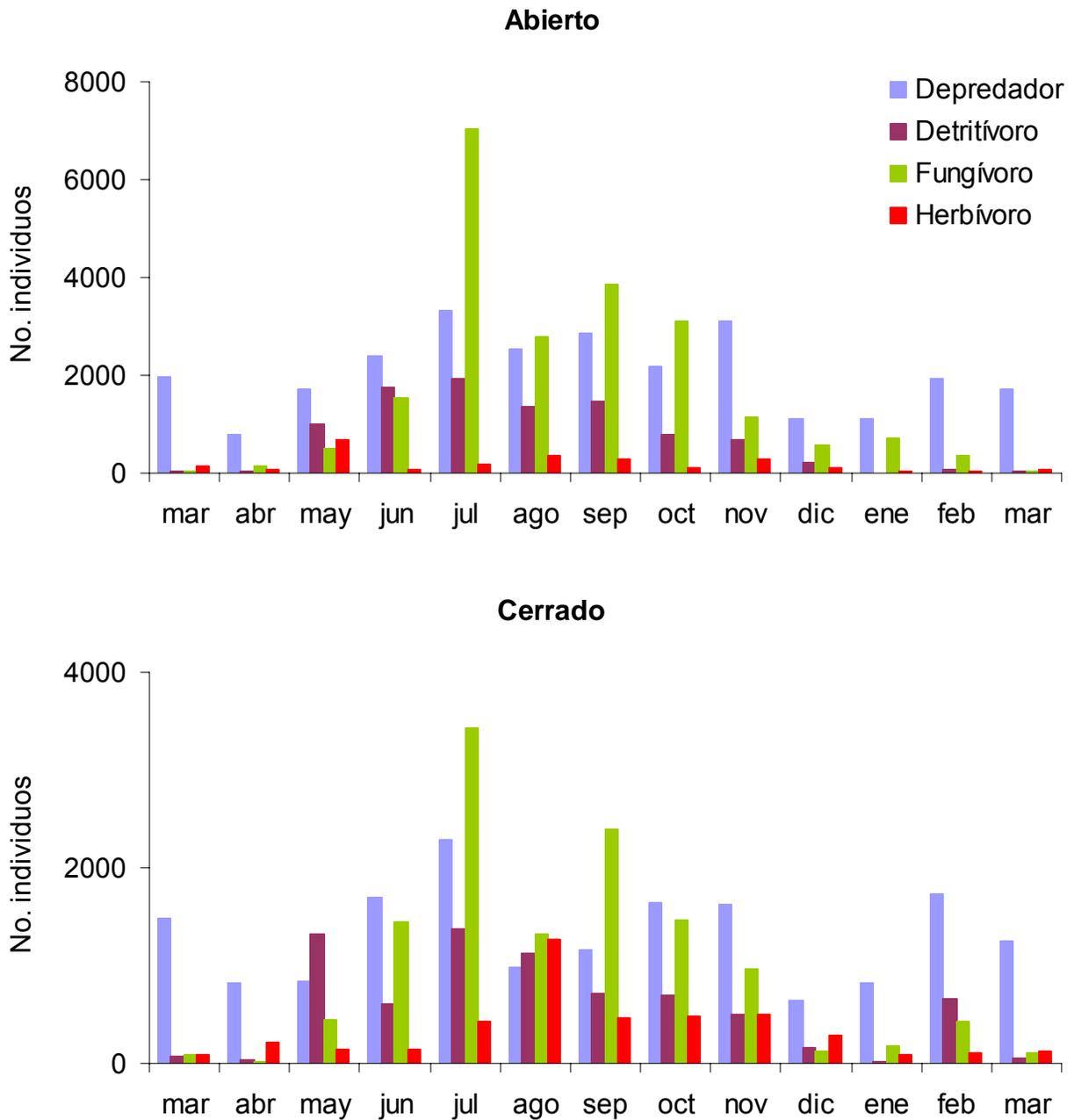


Figura 38. Variación mensual de la abundancia de los principales gremios tróficos de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

- Redes tróficas

Debido a que más del 90% de las morfoespecies registradas se presentan en ambos sitios se elaboró un solo diagrama de relaciones tróficas hipotéticas.

Los taxa registrados dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel se relacionan potencialmente conformando una red de cuatro niveles tróficos y 29 interacciones (Fig. 39). Las principales fuentes de energía son la materia orgánica en descomposición (detritus), las plantas y los cadáveres. El nivel de consumidores primarios presenta la mayor riqueza al comprender al menos dieciséis órdenes de artrópodos, algunos de los cuales al mismo tiempo son muy abundantes como los órdenes de colémbolos Entomobryomorpha y Poduromorpha, los órdenes Cryptostigmata, Prostigmata y Mesostigmata de ácaros y los hemípteros. En el nivel de consumidores secundarios se registran al menos ocho órdenes, entre los que se incluyen los grupos de ácaros Prostigmata y Mesostigmata que forman parte de los órdenes más numerosos. En el nivel de los consumidores terciarios se puede registrar el orden Pseudoscorpionida cuyos organismos se alimentan de otros depredadores como los ácaros Prostigmata y Cryptostigmata. Otro orden que se pueden considerar dentro de este nivel es el de los hemípteros de la familia Reduviidae (Fig. 39).

Para saber si las relaciones inferidas en este trabajo se presentan realmente en la naturaleza se sugiere realizar ensayos enfocados en la determinación de las interacciones tróficas.

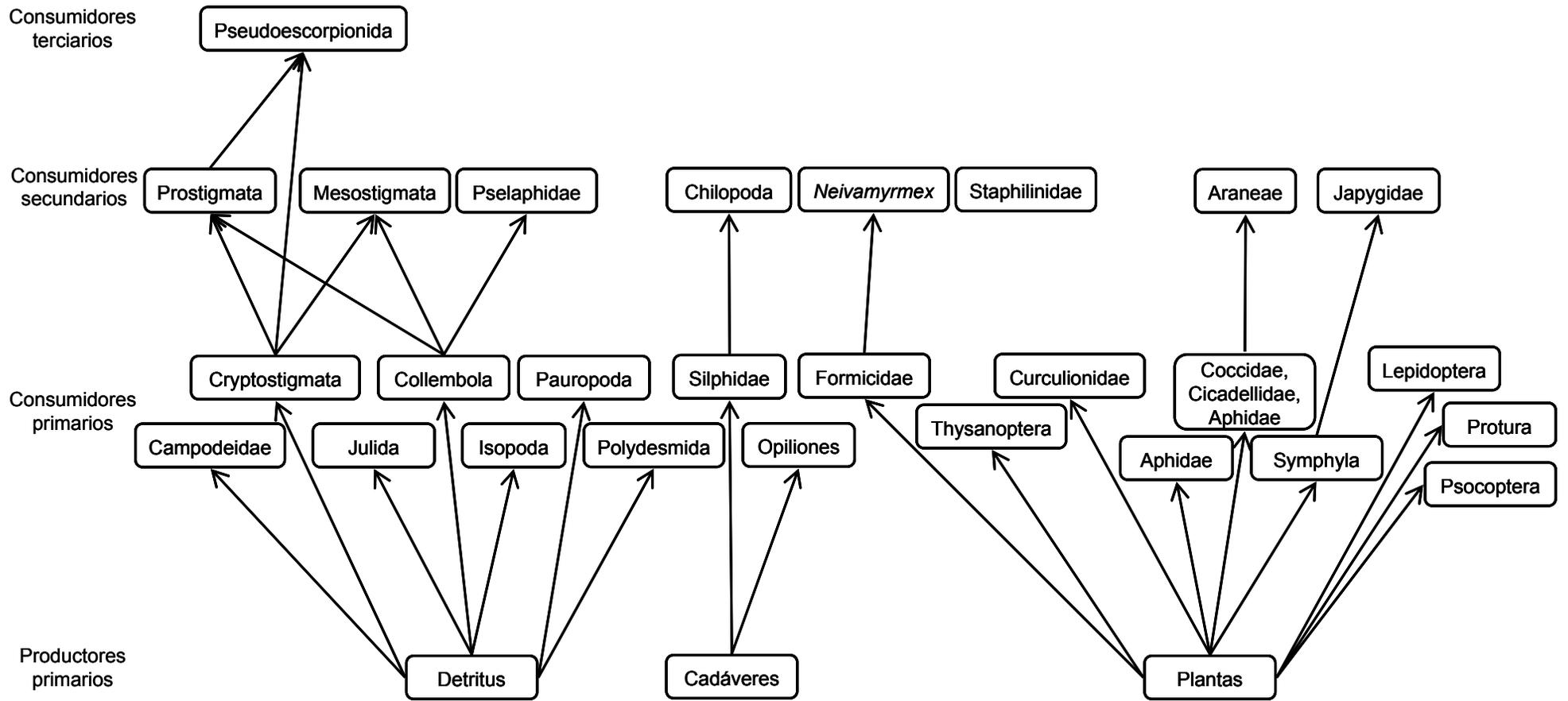


Figura 39. Diagrama de las interacciones tróficas hipotéticas que se pueden presentar entre los artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* en la REPSA.

7. DISCUSIÓN

7.1 Suelo

A pesar de no haber encontrado diferencias en el grado de cobertura vegetal de *Pittocaulon* (~S.) *praecox*, los parámetros edáficos de las muestras asociadas a cada sitio (abierto y cerrado) si presentaron diferencias. Estas diferencias se pueden explicar no solo por el grado de cobertura vegetal sino también por la heterogeneidad topográfica, la diversidad en los diferentes estratos vegetales, la profundidad del suelo y las características microambientales que se generan en cada uno de los sitios (Cano-Santana, 1994a).

El análisis NMDS mostró que los meses se segregaron en cuatro grupos de acuerdo con la temporalidad y la procedencia de las muestras, ya sea de un sitio abierto o cerrado (Figs. 16 y 17). Sin embargo, es notable que las muestras correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo de 2008 se asociaron a los meses de lluvias mientras que octubre se asoció a la temporada de secas. El comportamiento fuera de patrón en los meses mencionados pudo deberse a la ocurrencia de lluvias atípicas que se presentaron en los meses previos (Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM), y a un efecto desfasado de la temporada de lluvias sobre las características del suelo, es decir, el efecto de la lluvia en la lixiviación o modificación de los nutrientes del suelo puede no ser inmediato. Este retraso en la modificación de las características del suelo puede deberse también a que la actividad de hongos y bacterias, aumenta conforme las condiciones ambientales se hacen favorables, y la temporada de lluvias avanza.

7.2 Estructura de las comunidades

Se puede considerar que durante este trabajo se logró implementar un diseño de muestreo apropiado para obtener una muestra representativa de la artropodofauna edáfica asociada a *Pittocaulon* (~S.) *praecox* que habita la REPSA, ya que de acuerdo con la curva de acumulación de especies, se registró una alta proporción de la fauna edáfica en ambos sitios, lo cual indica de manera indirecta que la calidad del inventario es altamente fiable (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Al término del estudio, se registró una gran abundancia, densidad y riqueza de artrópodos edáficos en ambos sitios aunque en el sitio abierto se registraron los valores más altos para dichos parámetros; además la mayor proporción de las mismas corresponde a los órdenes de ácaros y colémbolos (Tabla 4). Estos patrones de abundancia, densidad y riqueza para los ácaros y colémbolos se han reportado en varios trabajos realizados en diversos ecosistemas como: pastizales, selva baja, cultivos y bosques en recuperación (Cole *et al.*, 2005; Palacios-Vargas *et al.*, 2007; Flores-Pardavé *et al.*, 2008; Bernal-Rojas *et al.* 2009; Pérez-Velázquez *et al.*, 2010; Kardol *et al.*, 2011). En comparación con los estudios de Cole *et al.* (2005) que trabajaron en pastizales, y Palacios-Vargas *et al.* (2007) que trabajaron en una selva baja, trabajos en los cuales se realizó un muestro sistemático, se encontró que la abundancia, la densidad y la riqueza registradas en este estudio, son mayores debido probablemente a la gran cantidad de materia orgánica disponible en el suelo.

Respecto a la variación temporal, las mayores abundancias, densidades y riquezas se presentaron en los meses correspondientes a lluvias (junio a octubre) y se registró un descenso de las mismas durante secas. Se sabe que los niveles de precipitación fluvial modifican la estructura de la comunidad de artrópodos asociados (Schowalter, 1999) de manera que este comportamiento puede estar asociado con las condiciones ambientales favorables de temperatura y humedad que se generan en el microclima y con la disponibilidad de recursos para los artrópodos edáficos. Las tendencias observadas en estos parámetros se pueden explicar por la marcada estacionalidad que se presenta en la REPSA y nuestros resultados son similares a lo observado en otros grupos, por ejemplo, la comunidad de artrópodos epifitos estudiada por Ríos-Casanova y Cano-Santana (1994) dentro de la zona.

A diferencia de la abundancia, la riqueza y la densidad, el sitio cerrado presentó mayor diversidad y equitatividad, debido probablemente a que en el sitio abierto la baja humedad y los cambios diurnos de temperatura que menciona Cano-Santana (1994a), aunados a otros factores estresantes que se presentan en este sitio, favorecen el aumento de las especies comunes y perjudica a las especies raras cuyas abundancias tienden a disminuir (Odum y Barrett, 2005).

A pesar de la gran similitud entre la mayor parte de los resultados de diversidad mensuales para cada sitio, los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas debidas a que la varianza interna de las muestras es muy pequeña (<0.00004 para cada sitio y <0.002 para las muestras mensuales). Además este índice mostró un aumento asociado a la temporada lluviosa al igual que la equitatividad revelando así que la distribución de la comunidad es más homogénea durante esta temporada del año.

El coeficiente de similitud de Sørensen (CS) global muestra que las comunidades comparten el 94% de sus morfoespecies, sin embargo hay especies exclusivas para cada uno de los sitios que hacen diferentes a ambas comunidades. Este valor tan alto de similitud puede deberse a que las condiciones ambientales de temperatura, humedad y la cantidad de materia orgánica, a pesar de ser particulares para cada sitio, en ambos casos son favorables para el desarrollo de las comunidades de artrópodos. La variación temporal del CS presentó una tendencia similar a los parámetros anteriormente mencionados (riqueza, abundancia, densidad, diversidad y equitatividad) presentando los valores más altos entre los meses de julio y diciembre (Fig. 23), posiblemente como respuesta de las poblaciones a la temporalidad de la REPSA.

De acuerdo con los análisis NMDS y ANOSIM los meses de mayo y noviembre se anidaron con los meses lluviosos, al presentar abundancias similares. La agregación de dichos meses de la temporada seca a la temporada de lluvias puede explicarse por la presencia de lluvias desde marzo y abril (Observatorio meteorológico, 2012), lo cual pudo mantener la humedad relativa en un intervalo adecuado para la comunidad de microartrópodos edáficos y así favorecer el aumento de algunas de sus poblaciones. Otra razón por la que pudo presentarse dicha segregación es el efecto de la cobertura vegetal. Una cobertura mayor (sitio cerrado) favorece el mantenimiento de condiciones microambientales más estables mostrando un porcentaje de humedad más alto y un intervalo de temperatura estrecho en comparación con un sitio abierto.

7.3 Interacción de la comunidad de artrópodos edáficos con el suelo

En general, los artrópodos edáficos son sensibles a los cambios en las características físicas y químicas del suelo respondiendo de manera diferencial a nivel de poblaciones

y a nivel de comunidades (Hågvar, 1990; Van Straalen, 1994; Vreeken-Buijs *et al.*, 1998; Loranger *et al.*, 2001; Lindberg *et al.*, 2002; Uvarov, 2003; Minor y Norton, 2004; Tsiafouli *et al.*, 2005; Cutz-pool *et al.*, 2007; Kardol *et al.*, 2011).

En el caso particular de los ácaros y los colémbolos, se ha observado que la temperatura junto con la humedad son factores determinantes en la distribución de sus comunidades. Lindberg *et al.* (2002), por ejemplo, encontraron que la abundancia de oribátidos y colémbolos fue mayor en los lotes con mayor humedad y que los diferentes tratamientos modificaron la composición de dichas comunidades. Tsiafouli *et al.* (2005) encontraron que la disminución de la humedad provocó el aumento de la temperatura y la disminución de la riqueza a nivel de la comunidad de microartrópodos. Sin embargo, en el caso particular de los colémbolos la irrigación frecuente favoreció una alta diversidad y equitatividad al contrario de lo que ocurrió con los oribátidos, para los que la diversidad y la equitatividad fueron mayores en los lotes con menor frecuencia de irrigación. Estos trabajos coinciden con el presente en que el sitio abierto (donde se presentó la menor humedad) presentó la menor diversidad y equitatividad en comparación con el sitio cerrado.

Se encontraron variaciones espaciales y temporales en la estructura de las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *Pittocaulon* (~*S.*) *praecox* dentro de la REPSA; estas variaciones se explican por la influencia tanto de factores físicos (temperatura) como químicos (pH, contenidos de sodio y fósforo) que se asocian a un grado distinto de cobertura vegetal.

En este caso la temperatura resultó ser de primordial importancia dada la naturaleza del hábitat, ya que se trata de un matorral xerófilo en que las condiciones de este parámetro puede ser muy variables a lo largo del año e incluso a lo largo de un solo día e influye de manera directa sobre la humedad (Uvarov, 2003). Así, la interacción de estas dos variables pudo determinar la estructura de la comunidad en la REPSA. Dicho patrón se ha registrado en trabajos como los de Harte *et al.* (1996), Tsiafouli *et al.* (2005) y Kardol *et al.* (2011), entre otros.

Nuestros resultados mostraron que el pH incrementa la abundancia de artrópodos edáficos. Esta tendencia se ha observado en trabajos como los de Banerjee *et al.* (2009) en donde se observó un efecto positivo sobre la abundancia de ácaros y el

de Van Straalen y Verhoef (1997) en el que reportaron las mayores abundancias para valores de pH entre 6 y 8. Además Minor y Norton (2004) sugieren que un pH alto es tóxico para los microartrópodos al registrar valores alcalinos de 11.9 en los que las poblaciones disminuyeron. Asimismo Vreeken-Buijs *et al.* (1998) encontraron que el pH tiene influencia sobre otros factores edáficos como los contenidos de potasio, sodio y calcio, entre otros.

El contenido de sodio registrado en este trabajo, fue bajo en comparación con lo registrado en otros trabajos, por ejemplo, Cutz-Pool *et al.* (2007) reportan concentraciones por arriba de 5 cmol/kg misma que difiere de la concentración registrada para los suelos de la REPSA que es menor a 1 cmol/kg En este caso se registró un efecto negativo del sodio sobre la abundancia de artrópodos, debida probablemente a un déficit del este catión.

Por otra parte, el contenido de fósforo tuvo un efecto negativo sobre la abundancia de artrópodos. Fraser (1994) reporta que el aumento en la cantidad de fósforo favorece la abundancia de organismos, sin embargo, en nuestro caso el efecto negativo del fósforo podría deberse a que la concentración es tóxica para los microartrópodos ya que este elemento puede llegar a considerarse como un contaminante del suelo (Speight *et al.*, 2008). Otra causa probable es el fenómeno de la inhibición enzimática de la fosfatasa ácida en presencia de altas concentraciones de fósforo orgánico reportada por Antunes *et al.* (2009).

7.4 Biomasa, gremios y redes tróficas.

- Biomasa

En términos del efecto espacial, el mayor aporte de biomasa se registró en el sitio abierto, a diferencia de lo registrado por López-Gómez *et al.* (2009) quienes en su trabajo de artrópodos asociados a *Muhlenbergia robusta* dentro de la REPSA, reportaron un mayor aporte de biomasa en los sitios cerrados (sombreados) respecto de los abiertos (soleados). Este patrón puede explicarse, como se mencionó anteriormente, por el crecimiento poblacional de especies más tolerantes a las condiciones del sitio abierto.

Los grupos más importantes por su aporte de biomasa tanto en el sitio abierto como en el cerrado fueron los órdenes Isopoda, Cryptostigmata, Julida, Polydesmida, Hemíptera y Poduromorpha (Fig. 35) debido por una parte a que los organismos pertenecientes a algunos de estos órdenes forman parte de la macrofauna cuyos tamaños corporales son mayores en comparación con los ácaros y colémbolos que constituyen la mesofauna (Dindal, 1990). No obstante, los órdenes de ácaros y colémbolos presentaron una gran abundancia lo cual explica su importancia en términos del aporte de biomasa. Cabe mencionar que algunos de estos órdenes como Poduromorpha e Isopoda (detritívoros) aprovechan de manera directa los recursos provenientes de la materia orgánica depositada en el suelo favoreciendo el crecimiento de poblaciones de ácaros depredadores lo que contribuye al incremento de la biomasa. Nuestros resultados concuerdan con lo observado por Ascaso (1989) en bosques y Harte *et al.* (1996) en una pradera subalpina; encontraron que los grupos Acarina y Collembola presentaron una gran abundancia y tuvieron un aporte significativo a la biomasa total.

Considerando la variación temporal del aporte de biomasa, se registró un mayor aporte de biomasa entre los meses de junio y octubre en comparación con la temporada seca (noviembre a mayo; Fig. 36). Estos resultados coinciden con lo observado por López-Gómez *et al.* (2009) quienes encontraron que el aporte de biomasa de artrópodos fue mayor entre los meses de agosto y octubre.

- Gremios tróficos

En ambos sitios el gremio con mayor aporte de biomasa fue el de los detritívoros (Fig. 37), sin embargo, los artrópodos depredadores constituyeron el gremio más numeroso (Tabla 12) debido probablemente a la gran cantidad de presas disponibles y como consecuencia directa de la alta concentración de materia orgánica en el suelo. De manera general la abundancia y el aporte de biomasa fueron mayores en el sitio abierto, sin embargo la prueba de *t* modificada no detectó diferencias.

Es bien conocido que el nivel de precipitación fluvial tiene efecto sobre la estructura de las comunidades de artrópodos modificando la abundancia y el forrajeo de los detritívoros, y consecuentemente se incrementa la presencia y actividad de los

depredadores (Shultz *et al.*, 2006). Es por ello que la variación temporal de los gremios presenta un comportamiento similar a la variación mensual de la densidad, diversidad y biomasa, al relacionarse estrechamente con las temporadas de lluvias y secas (Fig. 38).

- Redes tróficas

La red trófica de los artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* inferida se puede considerar dentro de las redes típicas al presentar cuatro niveles tróficos (Begon *et al.*, 1999). Para este estudio se reporta un alto número de interacciones tróficas que se pueden explicar por la gran cantidad de recursos disponibles en los niveles basales de la red y a que las interacciones competitivas en los niveles inferiores son de menor intensidad, favoreciendo así el desarrollo de un mayor número de interacciones según lo reportado por López-Gómez *et al.* (2009). Didden *et al.* (1994) sugieren que una alta concentración de materia orgánica a su vez puede favorecer la complejidad de la red trófica. Otra posible explicación es la gran cantidad de presas disponible para los depredadores ya que más del 55% de individuos fueron fungívoros, detritívoros y herbívoros, de ese modo se pudo favorecer un mayor número de interacciones. Asimismo en el nivel de los consumidores secundarios registró una alta diversidad contenida en 7 órdenes diferentes con más del 40% de la abundancia. Finalmente, en el nivel de los consumidores terciarios, se registraron los pseudoscorpiones cuyas presas son variadas.

La conformación de redes tróficas complejas también se ha reportado en otras comunidades de artrópodos de la REPSA, un ejemplo es la comunidad de artrópodos asociados al follaje de *Muhlebergia robusta*; planta que soporta una red trófica de cinco niveles con un depredador tope (López-Gómez *et al.*, 2009; Blanco-Becerril *et al.*, 2010).

De acuerdo con todo lo anterior, se deduce que la temporalidad en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y los parámetros edáficos son de mayor importancia para las comunidades de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox*, que la cobertura vegetal por si misma en cada sitio. Este patrón puede deberse a que los altos niveles de precipitación favorecen una alta productividad primaria vegetal (Cano-Santana, 1994a), lo que proporciona una gran cantidad y variedad de materia vegetal disponible, sobre todo en la temporada de lluvias. Así, la gran cantidad de

materia orgánica disponible en el suelo puede explicar la gran abundancia de organismos detritívoros y fungívoros que aprovechan esta materia orgánica y que a su vez proveen recursos alimenticios para los niveles tróficos superiores (López-Gómez y Cano-Santana, 2010).

Es probable que al analizar la comunidad de artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* para registrar específicamente las relaciones tróficas, en condiciones de laboratorio o *in situ*, se podría encontrar que existen aún más interacciones y que la red se conforma por más de cuatro niveles.

8. CONCLUSIONES

- Los parámetros edáficos son característicos y particulares para cada época del año y para cada uno de los sitios.
- El modelo de Clench reveló que el muestreo fue adecuado para registrar la artropodofauna edáfica asociada a *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox*.
- La mayor abundancia, riqueza y densidad de artrópodos edáficos se registraron en el sitio abierto mientras que la diversidad y la equitatividad fueron mayores en el sitio cerrado.
- Los valores máximos de abundancia, riqueza, densidad, diversidad y equitatividad se registraron en la temporada lluviosa, para ambos sitios.
- Los órdenes mejor representados en términos de riqueza, abundancia y densidad en los dos sitios fueron los ácaros Cryptostigmata, Prostigmata y Mesostigmata, los colémbolos Poduromorpha y Entomobryomorpha y los Hemiptera. La variación temporal de estos órdenes también se acopló a la estacionalidad de la REPSA.
- La comunidad del artrópodos edáficos asociados a *P. (~S.) praecox* se encuentra definida y diferenciada estructuralmente a lo largo del tiempo presentando una composición particular para cada temporada del año.
- Los principales factores que explicaron la variación, tanto espacial como temporal, de la distribución de artrópodos edáficos fueron el pH, la temperatura y los contenidos de sodio y fósforo.
- El mayor aporte de biomasa está dado por los organismos detritívoros que aprovechan la gran cantidad de materia orgánica.
- La red trófica de artrópodos edáficos se conformó por cuatro niveles.

LITERATURA CITADA

- Adams, G. A. y D. H. Wall. 2000. Biodiversity above and below the surface of soils and sediments: linkages and implications for global change. *Bioscience*, 50: 1043-1048.
- Alatorre-Bracamontes, C. E. y M. Vásquez-Bolaños. 2010. Lista comentada de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del norte de México. *Dugesiana*, 17: 9-36.
- Álvarez, F. J., J. Carabias, J. Meave del Castillo, P. Moreno, F. Rodríguez, C. Tovar y A. Valiente-Banuet. 1998. Proyecto para la creación de una reserva en el pedregal de San Ángel. Cuadernos de Ecología No. 1, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 54 p.
- Anderson, J. M., P. Ineson y S. A. Huish. 1983. Nitrogen and cation mobilization by soil fauna feeding on leaf litter and soil organic-matter from deciduous woodlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 15:463-467.
- André, H. M., M. I. Noti y P. Lebrun. 1994. The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, 3: 45-46.
- André, H. M., X. Ducarme y P. Lebrun. 2002. Soil biodiversity: Myth, reality or conning. *Oikos*, 96: 3-24.
- Antunes, S. C., N. Curado, B. Castro y F. Goncalves. 2009. Short-term recovery of soil functional parameters and edaphic macro-arthropod community after a forest fire. *Journal of Soils and Sediments*, 9: 267-278.
- Arango-Galván, A., L. Cutz-Pool y Z. Cano-Santana. 2009. *Estructura de la comunidad de colémbolos del mantillo*. pp. 395-402. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ascaso, C. 1989. Producción secundaria de artrópodos estimada mediante trampas de emergencia en dos bosques del Montseny (Barcelona). *Orsis*, 4: 81-97.
- Banerjee (Moitra), S., A. K. Sanyal y M. N. Moitra. 2009. Abundance and group diversity of soil mite population in relation to four edaphic factors at Chintamani Abhyaranya, Narendrapur, South 24-Parganas, West Bengal. *Proceedings of Zoological Society*, 62:57-65.

- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1999. *Ecología*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 1148 p.
- Bernal-Rojas, A., G. Castaño-Meneses, J. G. Palacios-Vargas y N. E. García-Calderón. 2009. Oribatid mites and springtails from a coffee plantation in Sierra Sur, Oaxaca, Mexico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 988-995.
- Bezemer, T. M., G. B. De Deyn, T. M. Bossinga, N. M. Van Dam, J. A. Harvey y W. H. Van der Putten. 2005. Soil community composition drives aboveground plant-herbivore-parasitoid interactions. *Ecology Letters*, 8: 652-661.
- Blanco-Becerril, M. A., V- López-Gómez y Z. Cano-Santana. 2010. Estructura trófica de la comunidad de artrópodos asociados a *Muhlenbergia robusta* (Poaceae) en dos temporadas contrastantes. *Dugesiana*, 17: 221-228.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavélie, V. Ordáz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 1: 79-110.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca. 2002. *Invertebrates*. Sinauer Associates Inc., Publishers. U. S. A. 936 p.
- Cano-Santana, Z. 1994a. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófila. Tesis de Doctorado (Doctorado en Ecología), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 198 p.
- Cano-Santana, Z. 1994b. *La Reserva del Pedregal como ecosistema*. pp. 149-158. En: Rojo, A. (Comp.) Reserva ecológica "El Pedregal" de San Ángel: ecología, historia natural y manejo. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castaño-Meneses, G., A. Callejas-Chavero, A. García-Gómez, D. Pérez-Velázquez y J. G. Palacios-Vargas. 2010. Artrópodos asociados al follaje de *Pittocaulon* (*Senecio*) *praecox* (Asteraceae) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México. pp. 263-267. En: Cruz-Miranda S. G., J. Tello-Flores, A. Mendoza-Estrada y A. Morales-Moreno (eds.). *Entomología Mexicana*, 9. Sociedad Mexicana de Entomología. México.

- Castillo-Argüero, S., G. Montes-Cartas, M. A. Romero-Romero, Y. Martínez-Orea, P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallen y O. Núñez-Castillo. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F. México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 74:51-75.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Gallen y J. A. Meave. 2007. *La reserva ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos ecológicos y florísticos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 294 p.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, J. A. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Núñez-Castillo, G. Santibáñez-Andrade y P. Guadarrama-Chávez. 2009. *Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas*. pp. 107-133. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Chagnon, M., C. Hébert y D. Paré. 2000. Community structures of Collembola in sugar maple forests: relations to humus type and seasonal trends. *Pedobiologia*, 44: 148-174.
- Chahartaghi, M., R. Langel, S. Scheu y L. Ruess. 2005. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1718-1725.
- Clarke, K. R. y R. H. Green. 1988. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 4: 213-226.
- Cole, L., S. M. Bucklan y R. D. Bardgett. 2005. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1707-1717.
- Coleman, D. C., D. R. Crossley Jr. y P. F. Hendrix. 2004. *Fundamentals of soil ecology*. Elsevier Academic Press. U. S. A. 386 p.
- Colwell, R. K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples (version 8.2) User's Guide and application. [27-sep-2011]. Disponible: <<http://purl.oclc.org/estimates>>.

- Coûteaux, M. M. y T. Bolger. 2000. Interactions between atmospheric CO₂ enrichment and soil fauna. *Plant Soil*, 224: 123-134.
- Crossley, D. A., Jr. Charles, W. Proctor y Jr. Clayton Gist. 1975. Summer biomass of soil arthropods of the Pawnee National Grassland, Colorado. *American Midland Naturalist*, 93: 491-495.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas, G. Castaño-Meneses y N. E. García-Calderón. 2007. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. *Applied Soil Ecology*, 36:46-52.
- De la Fuente, J. A. 1994. *Zoología de Artrópodos*. McGraw-Hill-Interamericana. España. 805 p.
- Dindal, D. L. 1990. *Soil Biology Guide*. Wiley Interscience Publication. New York. 1349 p.
- Didden, W. A. M., J. C. Y. Marinissen, M. J. Vreken-Buijs, S. L.G. E. Burgers, R. de Fluiter, M. Geurs y L. Brussaard. 1994. Soil meso- and macrofauna in two agricultural systems: factors affecting population dynamics and evolution of their role in carbon and nitrogen dynamics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 51: 171-186.
- Doblas, M. E. 2007. Ecología de los macroinvertebrados edáficos en un ecosistema árido mediterráneo. Tesis doctoral. Departamento de Biología Animal. Universidad de Granada. 181 p.
- Domínguez-Álvarez, A., Z. Cano-Santana y R. Ayala-Barajas. 2009. *Estructura y fenología de la comunidad de abejas nativas* (Hymenoptera: Apoidea). pp. 421-432. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Flores-Pardavé, L., J. Escoto-Rocha, F. J. Flores-Tena y A. J. Hernández S. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y Ciencia*, 40: 11-18.
- Frampton, G. K., P. J. van den Brink y P. J. L. Gould. 2000. Effects of spring precipitation on a temperate arable collembolan community analyzed using principal response curves. *Applied Soil Ecology*, 14: 231-248.

- Fraser, P. M. 1994. *The impact of soil and crop Management practices on soil macrofauna*. pp. 125-132. En: Pankhurst, C. E., B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta y P. R. Grace (eds.). *Soil biota: management in sustainable farming systems*. CSIRO. Australia.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema climático de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Editado por la autora, México, D.F. 147 p.
- Hågvar, S. 1990. Reactions to soil acidification in microarthropods: Is competition a key factor? *Biology and Fertility of soils*, 9: 178-181.
- Haimi, J., J. Laamanen, R. Penttinen, M. Rätty, S. Koponen, S. Kellomäki y P. Niemelä. 2005. Impacts of elevated CO₂ and temperature on the soil fauna of boreal forest. *Applied Soil Ecology*, 30: 104-112.
- Hammer, Ø, D. A. T. Harper y P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*, 4:9. [20-octubre -2011]. Disponible en: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>.
- Hanski, I., H. Koivulehto, A. Cameron y P. Rahagalala. 2007. Deforestation and apparent extinctions of endemic forest beetles in Madagascar. *Biology Letters*, 3:344-347.
- Harte, J., A. Rawa y V. Price. 1996. Effects of manipulated soil microclimate on mesofaunal biomass and diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 33-322.
- Hasegawa, H. 2001. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community. *European Journal of Soil Biology*, 37: 281-184.
- Henderson, P. A. y R. M. H. Seaby. 2002. *Species Diversity and Richness Ver. 3.0.3*. Pisces Conservation Ltd. Lymington, Hampshire, UK.
- Hortal, J., P. García-Pereira y E. García-Barros. 2004. Butterfly species richness in mainland Portugal: Predictive models of geographic distribution patterns. *Ecography*, 27:68-82.
- Hortelano-Moncada, Y., F. A. Cervantes y A. Trejo-Ortiz. 2009. Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria,

- Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80: 507-520.
- Huhta, V. y S. M. Hänninen. 2001. Effects of temperature and moisture fluctuations on an experimental soil microarthropod community. *Pedobiologia*, 45: 279-286.
- Iraola, V. 2001. Introducción a los ácaros (II): Hábitats e importancia para el hombre. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28: 141-146.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 117 p.
- Jackson, L. M. 1976. *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona. 662 p.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151-161.
- Jiménez-Valverde, A. y J. M. Lobo. 2004. Determining combined sampling procedure for a reliable estimation of Araneidae and Thomisidae assemblages (Arachinda: Araneae). *Journal of Arachnology*, 33: 33-42.
- Kardol, P., W. N. Reynolds, R. J. Norby y A. T. Classen. 2011. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied Soil Ecology*, 47: 37-44.
- Lavéle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3-16.
- Lavéle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine Ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27: 93-132.
- León-Cortés, J. L., J. Soberón-Mainero y J. Llorente-Bousquets. 1998. Assessing completeness of Mexican sphinx moth inventories through species accumulation functions. *Diversity and Distributions*, 4: 37-44.
- Liefting, M. y J. Ellers. 2008. Habitat-specific differences in thermal plasticity in natural populations of a soil arthropod. *Biological Journal of the Linnean Society*, 94: 265-271.

- Lindberg, N., J. B. Engtsson y T. Persson. 2002. Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. *Journal of Applied Ecology*, 39: 924-936.
- Lindquist, E. E., G. W. Krantz y D. E. Walter. 2009. *Order Mesostigmata*. pp. 124-232. En: Krantz, G. W. y D. E. Walter. (Eds.). *Manual of Acarology*. Texas Tech University Press. USA.
- Lindroth, R. L. 2010. Impacts of elevated atmospheric CO₂ and O₃ on forest: phytochemistry, trophic interactions, and ecosystem dynamics. *Journal of Chemical Ecology*, 36: 2-21.
- López-Gómez, V. 2003. Estructura de la comunidad de invertebrados asociada a *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) en un gradiente altitudinal de un bosque de oyamel en el Chico, Hgo. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 53 p.
- López-Gómez, V., L.Y. Jiménez-Cedillo, M.A. Blanco-Becerril y Z. Cano-Santana. 2009. *Ecología de la comunidad de artrópodos asociada a Muhlenbergia robusta (Poaceae)*. pp. 441-451. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- López-Gómez, V. y Z. Cano-Santana. 2010. Best host-plant attribute for species-area relationship, and effects of shade, conspecific distance and plant phenophase in an arthropod community within the grass *Muhlenbergia robusta*. *Entomological Science*, 13: 174-182.
- Loranger, G. I., K. S. Pregitzer y J. S. King. 2004. Elevated CO₂ and O_{3t} concentrations differentially affect selected groups of the fauna in temperate forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1521-1524.
- Lussenhop, J., a. Treonis y P. S. Curtis. 1998. Response of soil biota to elevated atmospheric CO₂ in poplar model systems. *Oecologia*, 113: 247-251.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. U.S.A. 179 p.
- Martínez-Mateos, A. E. 2001. Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la Reserva Ecológica "El Pedregal de

- San Ángel. Tesis de licenciatura (Biología) Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 66 p.
- McAleece, N., P. J. D. Lamshead, G. L. J. Patterson y J. D. Gage. 1997. BioDiversity Pro version 2. A program for analyzing ecological data. The Natural History Museum and the Scottish Association for Marine Science [8-noviembre-2011]. Disponible en: <<http://www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro>>.
- McGavin, G. C. 2002. *Entomología esencial*. Editorial Ariel. Barcelona. 350 p.
- Minor, M. A. y R. A. Norton. 2004. Effects of soil amendments on assemblages of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) in short-rotation willow plantings in central New York. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 1417-1425.
- Montiel-Parra, G., R. Paredes-León, C. Guzmán-Cornejo, Y. Hortelano Moncada y T. M. Pérez. 2009. *Ácaros asociados a vertebrados*. pp. 385-394. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la Biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. España.
- Morón-Ríos, A., M. A. Rodríguez, L. Pérez-Camacho y S. Rebollo. 2010. Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. *European Journal of Soil Biology*, 46: 91-96.
- Moyers-Arévalo, L. y Z. Cano-Santana. 2009. *Fenología de la comunidad de mariposas diurnas y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales*. pp. 411-419. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Norton, R. A. y V. M. Behan-Pelletier. 2009. *Suborder Oribatida*. pp. 430-564. En: Krantz, G. W. y D. E. Walter. (Eds.). *Manual of Acarology*. Texas Tech University Press. USA.
- Oelbermann K. y S. Scheu. 2010. Trophic guilds of generalistic feeders in soil animal communities as indicated by stable isotope analysis ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). *Bulletin of Entomological Research*, 100: 511-520.

- Odum, E. P. y G. W. Barrett. 2005. *Fundamentals of Ecology*. Thomson Brooks/Cole, California. 598 p.
- Olson, M. E. 2005. Wood, bark, and pith anatomy in *Pittocaulon* (~*Senecio* Asteraceae): Water storage and systematics. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 132: 173-186.
- Palacios-Vargas, J. G., G. Castaño-Meneses, J. A. Gómez-Anaya, A. Martínez-Yrizar, B. E. Mejía-Recamier y J. Martínez-Sánchez. 2007. Litter and soil arthropods Diversity and density in a tropical dry forest ecosystem in Western Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 16: 3703-3717.
- Palacios-Vargas, J. G., B. E. Mejía-Recamier y L. Q. Cutz-Pool. 2009. *Microartrópodos edáficos*. pp. 203-211. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Palacios-Vargas, J. G., G. Castaño-Meneses y D. A. Estrada. 2011. Diversity and dynamics of microarthropods from different biotopes of Las Sardinias cave (Mexico). *Subterranean Biology*, 9: 113-126.
- Peck, S. B. y R. S. Anderson. 1985. Taxonomy, phylogeny and biogeography of the carrion beetles of Latin America (Coleoptera: Silphidae). *Quaestiones Entomologicae*, 21: 247-317.
- Pérez-Velázquez, D., A. Callejas-Chavero y A. García-Gómez. 2010. Diversidad de la artropodofauna edáfica en dos temporadas dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México. pp. 348 - 352. En: Cruz-Miranda S. G., J. Tello-Flores, A. Mendoza-Estrada y A. Morales-Moreno (eds.). *Entomología Mexicana*, 9. Sociedad Mexicana de Entomología. México.
- Pflug, A. y V. Wolters. 2001. Influence of drought and litter age on Collembola communities. *European Journal of Soil Biology*, 37: 305-308.
- Powers, J. S., R. A. Montgomery, E. C. Adair, F. Q. Brearley, S. J. DeWalt, C. T. Castanho *et al.* 2009. Decomposition in tropical forest: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *Journal of Ecology*, 97: 801-811.

- Ricketts, T. H., G. C. Daily y P. R. Ehrlich. 2002. Does butterfly diversity predict moth diversity? Testing a popular indicador taxon at local scales. *Biology Conservation*, 103: 361-370.
- Ríos-Casanova, L. y Z. Cano-Santana. 1994. Análisis cuantitativo de los artrópodos epífitos del Pedregal de San Ángel. pp. 275-281. En: Rojo, A. (Comp.) Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel": Ecología, Historia Natural y Manejo. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rojas, F. P. 2001. Las hormigas del suelo de México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), Es1: 189-238.
- Rojo, A. y J. Rodríguez. 2002. *La flora del Pedregal de San Ángel*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F. 95 pp.
- Rosell, J. A. y M.E. Olson. 2007. Testing implicit assumptions regarding the age vs. size dependence of stem biomechanics using *Pittocaulon* (~*Senecio*) *praecox* (Asteraceae). *American Journal of Botany*, 94: 161-172.
- Ruppert, E. E. y R. D. Barnes. 1996. *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana. México. 1114 p.
- Rueda-Salazar, A. M. y Z. Cano-Santana. 2009. *Artropodofauna*. pp. 171-201. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ruvalcaba, L. I., Z. Cano-Santana, I. Sánchez-Gallén, E. Tovar-Sánchez, C. Anaya-Merchant y D. M. Figueroa-Castro. 2009. *Estructura de la comunidad de invertebrados epífitos asociados a *Verbesina virgata* (Asteraceae)*. pp. 433-440. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 8: 59-129.
- Rzedowski, J. 1994. *Vegetación del Pedregal de San Ángel*. Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel". pp. 9-65. En: Rojo A. (Comp.) Ecología e historia natural y manejo. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Sabais, A.C. W., S. Sheu y N. Eisenhauer. 2011. Plat species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. *Acta Oecologica*, 37: 195-202.
- Santibáñez-Andrade, G. 2005. Caracterización de la heterogeneidad ambiental en la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 67 p.
- Santos, P. F. y W. G. Whitford. 1981. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. *Ecology*, 62: 654-663.
- Sarukhán, J. 1997. Acuerdo por el que se reestructura e incrementa la zona de la Reserva Ecológica y se declaran las áreas verdes de manejo especial de la Ciudad Universitaria. Gaceta No. 3070. 13 enero. pp. 15-16. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.
- Schneider, K., S Migge, R. A. Norton, S. Scheu, R. Langel, A. Reineking y M. Maraun. 2004. Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1769-1774.
- Schowalter, T. D. 2011. *Insect Ecology: An ecosystem approach*. Academic Press. Boston. 633 p.
- Setälä, H., V. Marshall y T. Trofymow. 1996. Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and ^{15}N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 1661-1675.
- Shelley, R. M. 1999. *Los ciempiés y milpiés*. pp. 2-16. En: Palacios-Vargas, J. G. y G. Castaño-Meneses (Eds.) *Mundos subterráneos*. Unión Mexicana de Agrupaciones Espeleológicas, A. C. No. 10. México.
- Shultz, B. J., J. R. Lensing y D. H. Wise. 2006. Effects of altered precipitation and wolf spiders on the density and activity of forest-floor Collembola. *Pedobiologia*, 50: 43-40.
- Siebe-Grabach, C., J. L. Palacio-Prieto y A. Cortés-Anaya. 1997. Variabilidad y distribución espaciales de algunos parámetros físicos y químicos del suelo en el Distrito de riego 03. Estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11: 62-67.

- Siebe, C. 2009. *La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670±35 años AP y sus implicaciones*. pp 43-49. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.) Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Smith, I.M., E. E. Lindquist y V. Behan-Pelletier. 2011. Assessment of species diversity in the mixedwood plains Ecozone. Mites (Acari). [2-agosto-2011]. Disponible en: <<http://www.naturewatch.ca//MixedWood/Mites/mites2.htm>>.
- Sjursen, H., A. Michelsen y S. Jonasson. 2005. Effects of long-term warming and fertilization on microarthropod abundances in three subarctic ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 30: 148-161.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7: 480-488.
- Solow, A. R. 1993. A simple test for change in community structure. *Journal of Animal Ecology*, 62: 191-193.
- Speight, M. R., M. D. Hunter y A. D. Watt. 2008. *Ecology of Insects: Concepts and applications*. Wiley-Blackwell, Singapur. 628 p.
- StatSoft, Inc. 1995. Statistical user guide. Complete Statistical System Statsoft. Oklahoma.
- Swift, M.J., O. Andrén, L. M. B. Brussaard, M. M. Coûteaux, K. Ekschmitt, A. Kjoller, P. Loiseau y P. Smith. 1998. Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Soil Biota and Global Change*, 4: 729-743.
- Ter Braak, C. J. F. y P. Smilauer. 2002. CANOCO reference manual and users guide for windows: software for canonical community ordination, version 4.5. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA, 352 p.
- Timokhov, A. V. y V. E. Gokhman. 2003. Host preferences of parasitic wasps of the *Anisopteromalus calandrae* species complex (Hymenoptera: Pteromalidae). *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 67: 35-39.
- Tsiafouli, M. A., A. S. Kallimanis, E. Katana, G. P. Stamou y S. P. Sgardelis. 2005. Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. *Applied Soil Ecology*, 29: 17-26.

- Universidad Nacional Autónoma de México. 2005. Acuerdo por el que se rezonefica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de la Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, Universidad Nacional Autónoma de México, 3813:14-15.
- Uvarov, A. V., 2003. Effects of diurnal temperature fluctuations on populations responses of forest floor mites. *Pedobiology*, 47: 331-339.
- Valiente-Banuet, A. y E. de Luna. 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel, México, D. F. *Acta Botánica Mexicana*, 9: 13-30.
- Van Reeuwijk, L. P. 2002. *Procedures for soil analysis International soil Reference and Information Centre (ISRIC)*. Wageningen. The Netherlands. 185 p.
- Van Straalen, N. M. 1994. Adaptive significance of temperature responses in Collembola. *Acta Zoológica Fennica*, 195: 135-142.
- Vikram, R. 1984. Seasonal fluctuations of different edaphic microarthropod population densities in relation to soil moisture and temperature in a pine, *Pinus kesiya* royle plantation ecosystem. *International Journal of Biometeorology*, 28: 55-59.
- Vreeken-Buijs, M. J., J. Hassink y L. Brussaard. 1997. Relationship of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 97-106.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263.
- Wall, D. H., M. A. Bradford, M. G. St. John, J. A. Trofymow, V. Behan-Pelletier, D. E. Bignell *et al.* 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate dependent. *Global Change Biology*, 14:2661-2677.
- Walter, D. E. , E. E. Lindquist, I. M. Smith, D. R. Cook y G. W. Krantz. 2009. *Order Trombidiformes*. pp. 233-420. En: Krantz, G. W. y D. E. Walter. (Eds.). *Manual of Acarology*. Texas Tech University Press. USA.
- Wardle, D. A., G. W. Yeates, W. Williamson y K. I. Bonner. 2003. The response of a three trophic level soil food web to the identity and diversity of plan species and functional groups. *Oikos*, 102:45-56.

- Yang, X. y J. Chen. 2009. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 910-918.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey. 663 p.
- Zaragoza-Caballero, S. 2009. *Aspectos fenológicos de Coleoptera (1961-1962)*. pp. 403-409. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (Eds.). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Apéndice 1

Tabla A1.1. ANOVAs de una vía para la determinación del efecto del mes de recolecta sobre los parámetros físicos y químicos del suelo, en los sitios abierto y cerrado. HA=humedad absoluta, MO=materia orgánica, C=carbono, N=nitrógeno, P=fósforo, Na=sodio, K=potasio, Ca=calcio, Mg=magnesio, T°C=temperatura, HR=humedad relativa CO₂=dióxido de carbono (gl=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Parámetros	ANOVA Abierto		ANOVA Cerrado	
	F_{gl}	p	F_{gl}	p
pH	3.110 ₁₂	0.000 *	6.750 ₁₂	<0.001 *
HA	7.350 ₁₂	0.000 *	5.230 ₁₂	<0.001 *
MO	2.727 ₁₂	0.002 *	7.50 ₁₂	<0.001 *
C	2.727 ₁₂	0.002 *	7.50 ₁₂	<0.001 *
N	3.630 ₁₂	0.000 *	5.060 ₁₂	<0.001 *
P	2.669 ₁₂	0.003 *	2.721 ₁₂	0.002 *
Na	4.153 ₁₂	0.000 *	13.768 ₁₂	<0.001 *
K	6.959 ₁₂	0.000 *	18.017 ₁₂	<0.001 *
Ca	1.836 ₁₂	0.048 *	7.418 ₁₂	<0.001 *
Mg	2.529 ₁₂	0.005 *	6.193 ₁₂	<0.001 *
T°C	50.277 ₁₂	0.000 *	13.265 ₁₂	<0.001 *
HR	55.160 ₁₂	0.000 *	20.150 ₁₂	<0.001 *
CO ₂	50.410 ₁₂	0.000 *	23.540 ₁₂	<0.001 *

Tabla A1.2. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar la humedad absoluta (HA) mensual entre los sitios abierto y cerrado (gl=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

HA	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-1.383 ₄	0.239	1.912 ₁	0.239
Abril	-1.442 ₄	0.223	2.079 ₁	0.223
Mayo	0.008 ₄	0.994	0.0001 ₁	0.994
Junio	0.095 ₄	0.929	0.009 ₁	0.929
Julio	0.266 ₄	0.803	0.071 ₁	0.803
Agosto	0.728 ₄	0.507	0.530 ₁	0.507
Septiembre	-0.875 ₄	0.431	0.765 ₁	0.431
Octubre	-0.313 ₄	0.770	0.098 ₁	0.770
Noviembre	-2.011 ₄	0.115	4.046 ₁	0.115
Diciembre	-0.070 ₄	0.948	0.005 ₁	0.948
Enero	-0.802 ₄	0.467	0.643 ₁	0.467
Febrero	-0.700 ₄	0.522	0.490 ₁	0.522
Marzo09	2.155 ₄	0.097	4.643 ₁	0.097

Tabla A1.3. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la humedad relativa (HR) mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

HR	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Noviembre	1.180 ₂₂	0.250	35.362 ₁	<0.001 *
Diciembre	6.143 ₂₂	<0.001 *	37.741 ₁	<0.001 *
Enero	-7.286 ₂₂	<0.001 *	53.080 ₁	<0.001 *
Febrero	-11.525 ₂₂	<0.001 *	132.82 ₁	<0.001 *
Marzo09	-7.644 ₂₂	<0.001 *	58.424 ₁	<0.001 *

Tabla A1.4. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la temperatura (T°C) mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

T°C	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Octubre	8.599 ₂₂	<0.001 *	73.942 ₁	<0.001 *
Noviembre	7.443 ₂₂	<0.001 *	55.392 ₁	<0.001 *
Diciembre	-4.496 ₂₂	<0.001 *	20.215 ₁	<0.001 *
Enero	8.348 ₂₂	<0.001 *	69.695 ₁	<0.001 *
Febrero	10.575 ₂₂	<0.001 *	111.83 ₁	<0.001 *
Marzo09	12.950 ₂₂	<0.001 *	167.70 ₁	<0.001 *

Tabla A1.5. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar el pH mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

pH	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	1.452 ₄	0.220	2.110 ₁	0.220
Abril	2.025 ₄	0.113	4.102 ₁	0.113
Mayo	-1.568 ₄	0.192	2.460 ₁	0.192
Junio	1.247 ₄	0.280	1.556 ₁	0.281
Julio	-0.290 ₄	0.786	0.084 ₁	0.786
Agosto	0.449 ₄	0.677	0.201 ₁	0.677
Septiembre	3.262 ₄	0.031 *	10.64 ₁	0.031 *
Octubre	0.514 ₄	0.634	0.264 ₁	0.634
Noviembre	0.204 ₄	0.848	0.042 ₁	0.848
Diciembre	0.492 ₄	0.649	0.242 ₁	0.649
Enero	0.868 ₄	0.435	0.753 ₁	0.435
Febrero	0.736 ₄	0.503	0.542 ₁	0.503
Marzo09	-0.535 ₄	0.621	0.287 ₁	0.621

Tabla A1.6. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar los contenidos mensuales de materia orgánica y carbono (MO y C) entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

MO y C	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.546 ₄	0.197	2.391 ₁	0.197
Abril	-1.386 ₄	0.238	1.922 ₁	0.238
Mayo	-0.304 ₄	0.777	0.092 ₁	0.777
Junio	-0.269 ₄	0.801	0.073 ₁	0.801
Julio	-0.307 ₄	0.774	0.094 ₁	0.774
Agosto	-1.748 ₄	0.155	3.057 ₁	0.155
Septiembre	-0.454 ₄	0.673	0.206 ₁	0.673
Octubre	-0.336 ₄	0.754	0.113 ₁	0.754
Noviembre	-0.629 ₄	0.564	0.395 ₁	0.564
Diciembre	-0.255 ₄	0.811	0.065 ₁	0.811
Enero	-1.324 ₄	0.256	1.753 ₁	0.256
Febrero	-0.015 ₄	0.989	0.0002 ₁	0.989
Marzo09	0.347 ₄	0.746	0.120 ₁	0.746

Tabla A1.7. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de nitrógeno (N) mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

N	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.378 ₄	0.240	1.900 ₁	0.240
Abril	-1.235 ₄	0.284	1.526 ₁	0.284
Mayo	0.160 ₄	0.881	0.026 ₁	0.881
Junio	0.443 ₄	0.681	0.196 ₁	0.681
Julio	0.039 ₄	0.971	0.002 ₁	0.971
Agosto	-1.171 ₄	0.307	1.371 ₁	0.307
Septiembre	-0.650 ₄	0.551	0.423 ₁	0.551
Octubre	-0.352 ₄	0.743	0.124 ₁	0.743
Noviembre	-1.869 ₄	0.135	3.492 ₁	0.135
Diciembre	0.193 ₄	0.857	0.037 ₁	0.857
Enero	-0.851 ₄	0.443	0.725 ₁	0.443
Febrero	0.431 ₄	0.689	0.186 ₁	0.689
Marzo09	0.813 ₄	0.462	0.660 ₁	0.462

Tabla A1.8. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de fósforo (P) mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

P	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	1.974 ₄	0.120	3.895 ₁	0.120
Abril	1.895 ₄	0.131	3.591 ₁	0.131
Mayo	1.615 ₄	0.182	2.607 ₁	0.182
Junio	1.875 ₄	0.134	3.516 ₁	0.134
Julio	1.898 ₄	0.131	3.602 ₁	0.131
Agosto	1.122 ₄	0.325	1.258 ₁	0.325
Septiembre	1.812 ₄	0.144	3.283 ₁	0.144
Octubre	1.868 ₄	0.135	3.489 ₁	0.135
Noviembre	2.150 ₄	0.098	4.624 ₁	0.098
Diciembre	1.171 ₄	0.307	1.372 ₁	0.307
Enero	1.103 ₄	0.332	1.217 ₁	0.332
Febrero	1.191 ₄	0.300	1.418 ₁	0.300
Marzo09	2.146 ₄	0.098	4.605 ₁	0.098

Tabla A1.9. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de sodio (Na) mensual entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Na	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	1.652 ₄	0.174	2.729 ₁	0.174
Abril	-1.097 ₄	0.334	1.201 ₁	0.334
Mayo	2.082 ₄	0.106	4.335 ₁	0.106
Junio	1.111 ₄	0.329	1.235 ₁	0.329
Julio	-0.846 ₄	0.445	0.715 ₁	0.445
Agosto	1.095 ₄	0.335	1.198 ₁	0.335
Septiembre	-0.215 ₄	0.840	0.046 ₁	0.840
Octubre	0.596 ₄	0.583	0.355 ₁	0.583
Noviembre	0.972 ₄	0.386	0.945 ₁	0.386
Diciembre	1.00 ₄	0.374	1.000 ₁	0.374
Enero	0.331 ₄	0.757	0.109 ₁	0.757
Febrero	1.066 ₄	0.347	1.135 ₁	0.347
Marzo09	0.415 ₄	0.700	0.172 ₁	0.699

Tabla A1.10. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de potasio (K) mensual entre los sitios abierto y cerrado (gl =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

K	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-0.085 ₄	0.936	0.007 ₁	0.936
Abril	0.397 ₄	0.711	0.158 ₁	0.711
Mayo	0.898 ₄	0.420	0.807 ₁	0.420
Junio	1.732 ₄	0.158	2.998 ₁	0.158
Julio	1.169 ₄	0.307	1.366 ₁	0.307
Agosto	0.414 ₄	0.700	0.171 ₁	0.700
Septiembre	0.406 ₄	0.706	0.165 ₁	0.706
Octubre	1.731 ₄	0.159	2.996 ₁	0.159
Noviembre	1.406 ₄	0.233	1.978 ₁	0.232
Diciembre	1.827 ₄	0.142	3.339 ₁	0.142
Enero	-0.491 ₄	0.649	0.241 ₁	0.649
Febrero	1.237 ₄	0.284	1.531 ₁	0.284
Marzo09	1.055 ₄	0.351	1.113 ₁	0.351

Tabla A1.11. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de calcio (Ca) mensual entre los sitios abierto y cerrado (gl =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Ca	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-0.460 ₄	0.670	0.212 ₁	0.669
Abril	0.912 ₄	0.413	0.833 ₁	0.413
Mayo	-0.026 ₄	0.981	0.0007 ₁	0.981
Junio	1.287 ₄	0.268	1.655 ₁	0.268
Julio	0.486 ₄	0.652	0.237 ₁	0.652
Agosto	1.103 ₄	0.332	1.216 ₁	0.332
Septiembre	2.135 ₄	0.100	4.558 ₁	0.100
Octubre	0.298 ₄	0.780	0.089 ₁	0.780
Noviembre	-0.335 ₄	0.754	0.112 ₁	0.754
Diciembre	1.106 ₄	0.331	1.223 ₁	0.331
Enero	-0.614 ₄	0.573	0.376 ₁	0.573
Febrero	1.540 ₄	0.199	2.369 ₁	0.199
Marzo09	0.123 ₄	0.908	0.015 ₁	0.908

Tabla A1.12. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido de magnesio (Mg) mensual entre los sitios abierto y cerrado (g =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Mg	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-0.379 ₄	0.724	0.144 ₁	0.724
Abril	0.232 ₄	0.828	0.054 ₁	0.828
Mayo	0.096 ₄	0.928	0.009 ₁	0.928
Junio	1.523 ₄	0.202	2.321 ₁	0.202
Julio	0.736 ₄	0.503	0.541 ₁	0.503
Agosto	1.048 ₄	0.354	1.098 ₁	0.354
Septiembre	1.543 ₄	0.198	2.380 ₁	0.198
Octubre	0.166 ₄	0.876	0.028 ₁	0.876
Noviembre	0.044 ₄	0.967	0.002 ₁	0.967
Diciembre	1.030 ₄	0.362	1.059 ₁	0.362
Enero	-0.920 ₄	0.410	0.847 ₁	0.410
Febrero	1.408 ₄	0.232	1.984 ₁	0.232
Marzo09	0.127 ₄	0.905	0.016 ₁	0.905

Tabla A1.13. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar el contenido mensual de dióxido de carbono (CO₂) entre los sitios abierto y cerrado (g =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

CO ₂	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Octubre	-2.119 ₂₂	0.046 *	4.49 ₁	0.046 *
Noviembre	-4.080 ₂₂	<0.001 *	16.65 ₁	<0.001 *
Diciembre	5.765 ₂₂	<0.001 *	33.24 ₁	<0.001 *
Enero	-7.682 ₂₂	<0.001 *	59.02 ₁	<0.001 *
Febrero	-5.528 ₂₂	<0.001 *	30.56 ₁	<0.001 *
Marzo09	-0.670 ₂₂	0.510	0.450 ₁	0.510

Apéndice 2

Tabla A2.1. ANOVAs de una vía para la determinación del efecto del mes de recolecta sobre la abundancia total y de los órdenes de artrópodos edáficos más numerosos, en los sitios abierto y cerrado (g =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

	ANOVA Abierto		ANOVA Cerrado	
	F_{gl}	p	F_{gl}	p
Abundancia total	12.209 ₁₂	0.000 *	10.941	0.000 *
Prostigmata	3.346 ₁₂	0.000 *	3.003	0.000 *
Cryptostigmata	15.573 ₁₂	0.000 *	21.374	0.000 *
Mesostigmata	15.892 ₁₂	0.000 *	15.409	0.000 *
Entomobryomorpha	5.197 ₁₂	0.000 *	5.532	0.000 *
Poduromorpha	4.838 ₁₂	0.000 *	4.346	0.000 *
Hemiptera	2.892 ₁₂	0.001 *	1.342	0.202

Tabla A2.2. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia total mensual entre los sitios abierto y cerrado (g =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Abundancia	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-0.617 ₃₈₀	0.538	0.380 ₁	0.538
Abril	-0.943 ₃₈₀	0.346	0.889 ₁	0.346
Mayo	-0.208 ₃₈₀	0.835	0.043 ₁	0.835
Junio	-0.671 ₃₈₀	0.502	0.451 ₁	0.502
Julio	-0.136 ₃₈₀	0.892	0.018 ₁	0.892
Agosto	-0.424 ₃₈₀	0.672	0.180 ₁	0.672
Septiembre	0.090 ₃₈₀	0.929	0.008 ₁	0.929
Octubre	-0.108 ₃₈₀	0.914	0.012 ₁	0.914
Noviembre	-0.559 ₃₈₀	0.577	0.312 ₁	0.577
Diciembre	0.065 ₃₈₀	0.948	0.004 ₁	0.948
Enero	-0.429 ₃₈₀	0.668	0.184 ₁	0.668
Febrero	-2.314 ₃₈₀	0.021 *	5.351 ₁	0.021 *
Marzo09	-0.498 ₃₈₀	0.619	0.248 ₁	0.619

Tabla A2.3. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los ácaros Cryptostigmata entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Cryptostigmata	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.108 ₆₈	0.272	1.228 ₁	0.272
Abril	0.986 ₆₈	0.328	0.972 ₁	0.328
Mayo	0.581 ₆₈	0.563	0.338 ₁	0.563
Junio	0.102 ₆₈	0.919	0.010 ₁	0.919
Julio	1.242 ₆₈	0.218	1.543 ₁	0.218
Agosto	0.461 ₆₈	0.646	0.213 ₁	0.646
Septiembre	0.713 ₆₈	0.478	0.509 ₁	0.478
Octubre	1.501 ₆₈	0.138	2.252 ₁	0.138
Noviembre	0.639 ₆₈	0.525	0.408 ₁	0.525
Diciembre	1.266 ₆₈	0.210	1.604 ₁	0.210
Enero	0.458 ₆₈	0.648	0.210 ₁	0.648
Febrero	-1.629 ₆₈	0.103	2.728 ₁	0.103
Marzo09	-0.509 ₆₈	0.612	0.259 ₁	0.612

Tabla A2.4. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los ácaros Prostigmata entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Prostigmata	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	0.872 ₄₈	0.387	0.011 ₁	0.916
Abril	-0.106 ₄₈	0.916	0.061 ₁	0.804
Mayo	1.085 ₄₈	0.283	1.270 ₁	0.260
Junio	0.741 ₄₈	0.462	0.791 ₁	0.374
Julio	-0.138 ₄₈	0.891	2.064 ₁	0.152
Agosto	0.831 ₄₈	0.410	1.374 ₁	0.242
Septiembre	0.640 ₄₈	0.526	2.733 ₁	0.099
Octubre	0.096 ₄₈	0.924	0.841 ₁	0.360
Noviembre	0.565 ₄₈	0.575	0.326 ₁	0.568
Diciembre	1.311 ₄₈	0.196	1.962 ₁	0.162
Enero	0.308 ₄₈	0.760	0.100 ₁	0.573
Febrero	-0.009 ₄₈	0.993	4.685 ₁	0.031 *
Marzo09	0.600 ₄₈	0.551	0.013 ₁	0.010

Tabla A2.5. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los ácaros Mesostigmata entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Mesostigmata	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.246 ₃₆	0.221	1.113 ₁	0.299
Abril	1.519 ₃₆	0.137	1.935 ₁	0.173
Mayo	0.544 ₃₆	0.590	0.0008 ₁	0.978
Junio	-0.257 ₃₆	0.798	0.092 ₁	0.764
Julio	1.368 ₃₆	0.180	1.491 ₁	0.230
Agosto	1.403 ₃₆	0.169	2.564 ₁	0.118
Septiembre	1.071 ₃₆	0.291	1.468 ₁	0.234
Octubre	0.838 ₃₆	0.407	0.698 ₁	0.409
Noviembre	0.367 ₃₆	0.176	0.177 ₁	0.677
Diciembre	-0.466 ₃₆	0.644	0.170 ₁	0.683
Enero	-0.381 ₃₆	0.648	0.145 ₁	0.706
Febrero	-2.237 ₃₆	0.014 *	5.270 ₁	0.028 *
Marzo09	-0.916 ₃₆	0.366	0.985 ₁	0.327

Tabla A2.6. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los colémbolos Poduromorpha entre los sitios abierto y cerrado (*gl*=grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Poduromorpha	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.879 ₂₂	0.074	3.532 ₁	0.074
Abril	-1.400 ₂₂	0.176	1.959 ₁	0.176
Mayo	-0.199 ₂₂	0.844	0.084 ₁	0.774
Junio	0.069 ₂₂	0.946	0.108 ₁	0.746
Julio	-0.602 ₂₂	0.553	0.148 ₁	0.704
Agosto	-1.099 ₂₂	0.284	0.965 ₁	0.337
Septiembre	0.616 ₂₂	0.544	0.865 ₁	0.362
Octubre	-0.727 ₂₂	0.475	0.747 ₁	0.397
Noviembre	-0.922 ₂₂	0.366	0.914 ₁	0.350
Diciembre	1.274 ₂₂	0.216	1.623 ₁	0.216
Enero	-0.692 ₂₂	0.496	0.904 ₁	0.352
Febrero	-1.226 ₂₂	0.233	2.932 ₁	0.101
Marzo09	-1.675 ₂₂	0.108	2.832 ₁	0.107

Tabla A2.7. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los colémbolos Entomobryomorpha entre los sitios abierto y cerrado (*g*=grados de libertad, * diferencias significativas $p < 0.05$).

Entomobryomorpha	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-1.000 ₄₄	0.323	1.000 ₁	0.323
Abril	-1.000 ₄₄	0.323	1.000 ₁	0.323
Mayo	-1.082 ₄₄	0.285	1.002 ₁	0.322
Junio	1.061 ₄₄	0.295	1.690 ₁	0.200
Julio	1.622 ₄₄	0.112	3.002	0.090
Agosto	1.937 ₄₄	0.059	1.332 ₁	0.255
Septiembre	1.557 ₄₄	0.127	2.016 ₁	0.163
Octubre	0.296 ₄₄	0.768	0.0003 ₁	0.986
Noviembre	0.549 ₄₄	0.586	1.068 ₁	0.307
Diciembre	0.374 ₄₄	0.710	0.014 ₁	0.908
Enero	0.000 ₄₄	1.000	0.000 ₁	1.000
Febrero	-1.211 ₄₄	0.232	1.246 ₁	0.270
Marzo09	-1.346 ₄₄	0.185	1.812 ₁	0.185

Tabla A2.8. Prueba de *t* modificada y ANOVAs de una vía para comparar la abundancia mensual de los Hemiptera entre los sitios abierto y cerrado (*g*=grados de libertad, * diferencias significativas $p < 0.05$).

Hemiptera	Prueba de <i>t</i>		ANOVA	
	<i>t</i> _{gl}	<i>p</i>	<i>F</i> _{gl}	<i>p</i>
Marzo08	-	-	0.014 ₁	0.906
Abril	-	-	0.780 ₁	0.394
Mayo	-1.118 ₁₂	0.286	1.893 ₁	0.194
Junio	1.267 ₁₂	0.229	0.028 ₁	0.869
Julio	0.221 ₁₂	0.829	0.592 ₁	0.457
Agosto	-0.479 ₁₂	0.641	0.118 ₁	0.737
Septiembre	1.823 ₁₂	0.093	0.087 ₁	0.773
Octubre	-1.318 ₁₂	0.212	2.371 ₁	0.150
Noviembre	-	-	0.479 ₁	0.502
Diciembre	-	-	0.589 ₁	0.458
Enero	-1.000 ₁₂	0.337	0.326 ₁	0.579
Febrero	-1.585 ₁₂	0.139	6.589 ₁	0.025 *
Marzo09	0.000 ₁₂	1.000	1.339 ₁	0.270

Apéndice 3

Tabla A3.1. Prueba de t modificada y ANOVAs de una vía para comparar la biomasa total mensual entre los sitios abierto y cerrado (gl =grados de libertad, * diferencias significativas $p<0.05$).

Biomasa total	Prueba de t		ANOVA	
	t_{gl}	p	F_{gl}	p
Marzo08	-0.097 ₃₈₀	0.923	0.009 ₁	0.923
Abril	-0.122 ₃₈₀	0.903	0.015 ₁	0.903
Mayo	0.719 ₃₈₀	0.472	0.518 ₁	0.472
Junio	1.222 ₃₈₀	0.223	1.492 ₁	0.223
Julio	0.874 ₃₈₀	0.383	0.764 ₁	0.383
Agosto	-0.418 ₃₈₀	0.676	0.175 ₁	0.676
Septiembre	0.429 ₃₈₀	0.668	0.184 ₁	0.668
Octubre	0.301 ₃₈₀	0.764	0.091 ₁	0.764
Noviembre	-0.587 ₃₈₀	0.558	0.344 ₁	0.558
Diciembre	0.322 ₃₈₀	0.748	0.104 ₁	0.748
Enero	0.868 ₃₈₀	0.386	0.754 ₁	0.386
Febrero	-1.605 ₃₈₀	0.109	2.577 ₁	0.109
Marzo09	-0.242 ₃₈₀	0.809	0.059 ₁	0.809