



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Macroartrópodos edáficos como indicadores de la calidad de suelos  
asociados a cultivos de maíz y frijol en Guanajuato, México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**BLANCA ESTELA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. MARIANA BENÍTEZ KEINRAD**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2019**



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.

1. Datos del alumno

Hernández

Hernández

Blanca Estela

5528923289

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

311164521

2. Datos del tutor

Dra.

Mariana

Benítez

Keinrad

3. Datos del sinodal 1

M. en C.

Alicia

Rojas

Ascencio

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Ana Laura

Wegier

Briuolo

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Martín Leonel

Zurita

García

6. Datos del sinodal 4

Dr.

Atilano

Contreras

Ramos

7. Datos del trabajo escrito

Macroartrópodos edáficos como indicadores de la calidad de suelos asociados a cultivos de maíz y frijol en Guanajuato, México

95 pp

2019

## **Agradecimientos institucionales**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias y al taller de titulación “Análisis Integral de Sistemas Socioambientales”, por su contribución a mi formación académica y humana.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento para el desarrollo y realización del proyecto *Biodiversidad y ecología funcional de suelos: conservación y resiliencia en sistemas naturales, agroecológicos y agroforestales (247672)*, dentro del que se inserta este estudio, así como a todo el equipo que integra el proyecto. En particular, gracias a la Dra. Morena Avitia Cao Romero, a la M. en C. Adriana Uscanga Castillo, a la Dra. Denise Arroyo Lambaer y al biólogo Rodrigo González Chauvet, por su apoyo técnico durante la organización, las colectas de campo y el procesamiento de muestras. A los productores de las localidades Guarapo y La Quemada, en Guanajuato, México, por facilitarnos la obtención de datos en sus parcelas.

Al Taller de Animales I de la Facultad de Ciencias de la UNAM, especialmente a la M. en C. Alicia Rojas Ascencio, por su invaluable ayuda en la identificación taxonómica de los macroartrópodos. Al Laboratorio de Sistemática de Coleópteros del Instituto de Biología UNAM, en especial al Dr. Martín Zurita, por su ayuda en la identificación de coleópteros. A Ariel Quintero, pasante de Biología, por su ayuda en la identificación de colémbolos. A Francisco Reyes Sánchez, pasante de Matemáticas, por todo el apoyo brindado para el análisis estadístico.

A mi comité sinodal, integrado por la M. en C. Alicia Rojas Ascencio del taller de Animales I de la Facultad de Ciencias, la Dra. Ana Wegier del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM, al Dr. Martín Zurita del Instituto de Biología, UNAM y al Dr. Atilano Contreras, también del Instituto de Biología, UNAM, por su tiempo y disposición para revisar esta tesis.

Al Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS) del Instituto de Ecología, UNAM, por facilitarme las herramientas necesarias para realizar este trabajo.

Finalmente, agradezco el apoyo de la beca de titulación otorgada por el proyecto CONACyT con clave 247672.

## Gracias ♥

A mamá. Por todo tu amor, tu paciencia, tu cariño y tu apoyo. Por siempre creer en mí, por luchar junto conmigo, por esas ganas de crecer juntas. Por tu valentía, que nos fortalece. Te amo.

A Viri y Diego. Por ser los dos seres que más me hacen bullying en esta existencia. Por las películas, las risas y lágrimas juntos, por su apoyo incondicional cuando hay que hacer experimentos raros, construir trampas para bichos, o ensayar para presentaciones. Por acompañarme siempre que tengo miedo (y entonces ahora tendremos miedo los tres, pero juntitos), por alegrarme con sus risas, por enseñarme lo simple y precioso de la vida. Les amo.

A Mariani. Por tu apoyo y tu compañía en la academia y muuuucho más allá de ella. Por permitirme trabajar a tu lado, por mostrarme cosas tan bonitas, por todo lo que he aprendido sobre la ciencia y sobre la vida contigo, por la preciosa persona que eres. Jamás podré expresar con palabras lo mucho que te quiero y lo agradecida que estoy con la vida por habernos permitido coincidir.

A *La Parcela*. Por acompañarme en este (largo) proceso con paciencia y cariño. Por las deliciosas comidas y por sus comentarios y sugerencias que enriquecieron este trabajo. Les quiero mucho.

A Yoli. Yoli de mi corazón, gracias por compartir y construir conmigo, porque nunca pensé que podría tener una amistad como la nuestra. Por siempre tenerme paciencia, por todo lo que me has enseñado, por las alegrías, rabias y tristezas compartidas, por responder mis preguntas domingueras. Tu amistad, nuestro florecer juntas, es de lo más bonito del mundo, de mi mundo. Te adoro siempre.

A las compañeras y compañeros del taller AISSA. Por acompañarnos en los primeros pasitos juntos, porque despacito vamos. No es sorpresa para nadie que a veces Yoli y yo lo hacemos mal, así que ella también les quiere decir en este espacio que gracias por todo. Les queremos.

A Dani. Por caminar conmigo siempre, por estar ahí en las crisis que ya sabes, por escucharme, por las tardes tumbadas en el pasto, por tus ánimos en la escritura de la tesis y en las decisiones de la vida. Te quiero tantísimo.

A Fredo. Por ser mi amigo desde aquella mañana en CCH en que nos sentamos en la misma mesa. Por enseñarme a no tomarme la vida tan en serio, por la alegría compartida de sabernos en la misma facultad, por explicarme cosas de matemáticas, por las películas y las clases de baile.

A mis amigas y amigos de la vida. A Susie, Vane, Janeth, Jacquie, Ofé, Eli, Romy, Ariel y Ricardo. Por su amistad sincera, por los momentos compartidos, por sus palabras de aliento y sus porras ante mi desconcierto por la vida adulta.

A Adri, por colorear mi vida con tu magia y tu ser, por siempre inspirarme a trabajar por mis sueños, porque cuando eres libre y feliz dibujando, yo también lo soy. A Alo, por los talleres, las marchas, las clases, las charlas, las papitas, por la rabia y la esperanza compartidas. A Emy, por ser tan valiente y tan sincera, por la energía que irradian siempre. A Helena, por acompañar y retroalimentar mis quejas sobre la vida y la universidad, por nuestros sueños compartidos en esta vida de biólogas. A Mar, por la preciosa persona que eres, por toda tu luz y tu bondad, por hacerme sentir querida desde aquella vez que me regalaste semillas de epazote. Amigas, no podría ahora imaginar la vida sin ustedes, sin su amistad y compañía, sin sus sonrisas. Gracias por creer en mí y en que algún día terminaría la tesis, por todo lo increíbles que son, por la luz que le dan a mi vida. Las amo siempre, con todo mi corazón de bióloga.

A Gerardo Rodríguez y Karen Miranda. Por permitirme trabajar con ustedes y compartir más allá de lo laboral. Por brindarme un lugar en su espacio de trabajo y en sus corazones. Por las comidas, las charlas y las risas. Les quiero mucho.

A Milo. Mi amor bonito, no pudimos cumplir el sueño de ir a correr juntos al campo, pero estás en mi corazón y me acompañas siempre en mi fascinación por la belleza de todas las formas de vida. A Clayton, por ser el más bobito y hermoso del planeta. Muchos dirán que nomás eres un perrito, pero no saben todas las tardes de escritura de tesis en que me acompañaron tus patitas y tu nariz mojada.

A Uriel. Por compartir conmigo desde hace 7 años, por toda tu paciencia y tu cariño. Por siempre estar ahí para ayudarme a pesar de todo, sé que no siempre (nunca) estás de acuerdo con mis posturas y mis decisiones, pero aún así me sostienes y me quieres. Rawr.

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
I. Comunidad bacteriana asociada al suelo	5
II. Comunidad de artrópodos edáficos	7
III. Naturaleza de los indicadores para evaluar la calidad de suelos	8
<b>Problema</b>	<b>9</b>
<b>Justificación</b>	<b>9</b>
<b>Pregunta de investigación</b>	<b>11</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>11</b>
<b>Objetivos</b>	<b>11</b>
<b>Materiales y métodos</b>	<b>12</b>
I. Sitio de estudio y diseño experimental	12
II. Colecta de artrópodos asociados al suelo	14
III. Obtención de datos sobre diversidad microbiana	15
IV. Datos sobre parámetros fisicoquímicos del suelo y aspectos del manejo agrícola	16
V. Identificación taxonómica de la artrópodo-fauna	17
VI. Mediciones de abundancia, riqueza y diversidad	17
VII. Exploración de las relaciones estadísticas entre los grupos de grupos de artrópodos con la comunidad bacteriana y las variables fisicoquímicas del suelo	18
VIII. Correlaciones entre la artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y variables fisicoquímicas del suelo	18
<b>Resultados</b>	<b>19</b>
I. Identificación taxonómica de los artrópodos colectados	19
II. Abundancia absoluta y riqueza de las comunidades de artrópodo-fauna	35
a. Abundancia absoluta de la comunidad de artrópodo-fauna	36
b. Riqueza de la comunidad de artrópodo-fauna en tres niveles taxonómicos distintos	43
III. Índices de riqueza y diversidad de artrópodo-fauna	46
IV. Análisis de agrupamiento para la exploración de relaciones estadísticas entre la comunidad de artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y las variables fisicoquímicas del suelo	54
a. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de orden	54

b. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de familia	56
c. Análisis de agrupamiento de parámetros fisicoquímicos del suelo	59
<b>V. Exploración de relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas de suelo a través de análisis de correlaciones</b>	<b>63</b>
a. Región de San Felipe (Guanajuato norte)	63
b. Región de Guarapo (Guanajuato sur)	65
c. Correlaciones entre comunidades de artrópodo-fauna y bacterianas y la calidad del suelo.	67
<b>Discusión</b>	<b>70</b>
<b>I. Identificación taxonómica de los artrópodos colectados y abundancia absoluta</b>	<b>70</b>
<b>II. Riqueza de las comunidades de artrópodo-fauna</b>	<b>73</b>
<b>III. Diversidad de la comunidad de artrópodos</b>	<b>74</b>
<b>V. Análisis de agrupamiento para la exploración de relaciones estadísticas entre la comunidad de artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y las variables fisicoquímicas del suelo</b>	<b>77</b>
a. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de orden	77
b. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de familia	78
c. Análisis de agrupamiento de parámetros fisicoquímicos del suelo	79
<b>VI. Exploración de relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna edáfica, la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas de suelo a través de análisis de correlaciones</b>	<b>81</b>
a. Región de San Felipe (Guanajuato norte)	82
b. Región de Guarapo (Guanajuato sur)	83
c. Correlaciones entre las comunidades de artrópodo-fauna y bacterianas y la calidad del suelo.	85
<b>VII. Limitaciones del trabajo</b>	<b>88</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>Referencias</b>	<b>92</b>

## Introducción

El suelo es un recurso no renovable que juega un papel de suma importancia dentro de la dinámica de los ecosistemas, los sistemas socioambientales y, en general, en la subsistencia y bienestar de las poblaciones humanas. Entre sus funciones se encuentran la de proveer de nutrientes y sustrato a las plantas, asegurar la recarga de los acuíferos, ser la matriz en donde ocurren diversos procesos biogeoquímicos y realizar una parte del secuestro de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, además de ser el hábitat de una gran cantidad de organismos (Cotler et al. 2007). Por ello, el suelo posee un papel esencial en la conservación de la biodiversidad y en actividades forestales, ganaderas y agrícolas. Sin embargo, la implementación de planes de manejo inadecuados y el uso intensivo de la tierra en estas actividades, particularmente dentro en las agrícolas, ha provocado un incremento en la degradación de los suelos a nivel global (Bender *et al*, 2016). En el caso de México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2007), en su informe final para la línea base nacional de degradación de tierras y desertificación, publicada en 2013, reporta que el 90.7% de los suelos en México presenta algún grado de degradación.

La degradación de los suelos puede ser entendida como “los procesos inducidos por el humano que disminuyen la capacidad actual y futura del suelo para sostener la vida humana” (Oldeman, 1988). Estos procesos traen consigo numerosas consecuencias negativas. Entre las de mayor impacto se encuentra la pérdida de biodiversidad asociada a los mismos. En la actualidad, la degradación de los suelos es una de las problemáticas socioambientales más apremiantes. Tanto es así, que 2015 fue declarado Año Internacional de los Suelos por la Asamblea General de las Naciones Unidas, como un esfuerzo por fomentar la conciencia y educación sobre la importancia de los suelos para lograr la seguridad alimentaria de las poblaciones humanas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en el marco de la Alianza Mundial por el Suelo, ha promovido acciones que permitan entender al suelo como un recurso cuya gestión y mantenimiento debe priorizarse en las agendas internacionales, además de incentivar el desarrollo de estrategias que permitan hacer un uso sustentable del mismo (FAO, 2015).

Ante este panorama, es cada vez más apremiante la necesidad de estudiar los sistemas edáficos, entender mejor su composición, funcionamiento y las interacciones que ocurren dentro de ellos, pues de esa manera es posible diseñar estrategias efectivas para su conservación y uso sustentable.

## I. Comunidad bacteriana asociada al suelo

A grandes rasgos, es posible distinguir dos tipos de componentes del suelo: los abióticos (líquidos, minerales y gases inorgánicos) y los bióticos (organismos vivos y sus metabolitos y desechos). Aunque la fertilidad y calidad del suelo para uso agrícola depende de la interacción de ambos tipos (Uphoff et al., 2006), el componente biológico es de suma importancia en el mantenimiento de la calidad del suelo, al permitir su formación, el reciclaje de nutrientes, su aireación y agregación, la estabilización de propiedades fisicoquímicas y al favorecer la desmineralización, por mencionar sólo algunos aspectos (Collins y Qualset, 1999).

La biodiversidad que alberga el suelo está conformada por bacterias, algas, protozoarios, hongos, plantas y diversos grupos de invertebrados (Uphoff et al., 2006). Entre toda esta diversidad, el componente bacteriano es clave en la dinámica y la ecología funcional de este recurso (Bender et al., 2016); es central en la formación de los suelos, así como en el desarrollo de las condiciones que permitan el establecimiento de otros organismos (Schulz et al., 2013). La enorme diversidad de metabolismos bacterianos hace que tengan una participación activa en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, principalmente en los de nitrógeno y carbono, así como en promover la disponibilidad de nutrientes (Nannipieri, 2003; Aislabie y Deslippe, 2013).

Diversos estudios han documentado el papel ecológico y funcional de la diversidad de bacterias edáficas. Por ejemplo, Girvan y colaboradores (2005) analizaron la resiliencia y estabilidad después de una perturbación de dos tipos de suelo con distintos niveles de diversidad microbiana, y encontraron que el suelo más diverso mostraba una mayor resiliencia y resistencia después de la perturbación.

La diversidad de bacterias edáficas también está relacionada con la productividad del suelo, pues de ella depende la realización de las diferentes etapas de varios ciclos biogeoquímicos. En particular, dentro del ciclo del nitrógeno, la disponibilidad de éste, así como los procesos de denitrificación, dependen de la diversidad de las comunidades bacterianas asociadas (Bender et al., 2016).

Por otra parte, las comunidades bacterianas son muy sensibles a variaciones en el ambiente. Factores como el pH, la temperatura, la lluvia, así como el tipo de suelo y su manejo, tienen gran influencia en la composición de las mismas y de su actividad (Cao et al., 2015). Esto, aunado a su papel ecológico dentro del suelo y su importancia para su resiliencia, ha llevado a considerarlas como potenciales indicadores de la calidad del mismo (Collins y Qualset, 1999) e, incluso, se ha intentado caracterizarlas dentro de sistemas de producción agrícola con diferentes cultivos y tipos de manejo (Wu et al., 2008; Figuerola et al., 2012; Figuerola et al., 2015, Moreno et al., 2018).

Además, la comunidad bacteriana del suelo mantiene importantes interacciones con otros organismos edáficos (Collins y Qualset, 1999) y se encuentra estrechamente relacionada con el óptimo crecimiento de las plantas y su diversidad, pues es la encargada de favorecer la disponibilidad de nutrientes para las mismas (Van der Heijden et al., 2008). Existen también importantes interacciones entre las comunidades bacterianas y organismos de distintos gremios alimenticios y grupos taxonómicos asociados al suelo, como lo demuestra un estudio de Katayama y colaboradores (2003). En él, se encontró que plantas asociadas a comunidades de *Rhizobium* sp., una bacteria fijadora de nitrógeno, alojaban una abundancia y diversidad de especies de organismos herbívoros y detritívoros mayor que las plantas que no estaban asociadas a *Rhizobium* sp., como resultado del incremento en la calidad y cantidad del alimento (plantas) ante la presencia de las bacterias. Lo anterior sugiere la existencia de importantes efectos “*bottom-up*” (e.g. control de herbívoros a través de la regulación de nutrientes) entre las comunidades microbianas y otros organismos, en este caso, con las plantas y la artrópodo-fauna.

El carácter complejo del sistema suelo y su ecología deriva en la existencia de múltiples interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos. Dentro del componente biológico,

las relaciones entre los diferentes elementos que lo integran pueden brindar información sobre la presencia y efectos de un grupo taxonómico sobre otro (Wardle, 2004). En particular, interacciones ecológicas como los efectos *bottom-up* descritos con anterioridad, o las estrategias tróficas adoptadas por los organismos que conforman la biodiversidad edáfica, pueden aportar información acerca de la existencia de una relación entre la composición de la diversidad microbiana y la comunidad de artrópodo-fauna asociada al suelo, siendo ésta última también de carácter imprescindible para la estabilización de muchas de sus propiedades.

## II. Comunidad de artrópodos edáficos

Las comunidades de artrópodos edáficos proporcionan información relevante acerca del estado del suelo y los impactos que las actividades antropogénicas tienen sobre el mismo (Zhang et al., 2014), debido al papel que tienen en su formación y en el mantenimiento de su dinámica. Entre los principales beneficios que ofrece la artrópodo-fauna al suelo destacan el mejoramiento en su calidad (mayor fertilidad) y el reciclaje de nutrientes (Bohlen et al., 1997). Aunado a esto, la gran variedad de estrategias tróficas y formas de vida que presentan (herbívoros, depredadores, saprófagos, detritívoros), les permite tener roles importantes en distintos procesos ecológicos. Particularmente, en los agroecosistemas tienen una participación activa al funcionar como patógenos o como agentes de control biológico de otros organismos que pueden perjudicar la producción agrícola (Zhao et al., 2015).

Por otra parte, existe evidencia de que los artrópodos del suelo mantienen relaciones ecológicas muy importantes con los microorganismos del mismo. Por ejemplo, se sabe que la diversidad de artrópodo-fauna presente en el suelo es influenciada por la estructura y actividad de las comunidades microbianas presentes, por ejemplo, a través de cambios en la disponibilidad de nitrógeno, y, por lo tanto, en la calidad y cantidad de plantas que pueden servir como alimento (Katayama, 2003); o a través de la competencia por nutrientes, en el caso de la descomposición de la materia orgánica. Algunos grupos de artrópodos presentan relaciones de mutualismo con ciertos microorganismos edáficos, que les permiten absorber y degradar compuestos orgánicos que, de otra forma, no podrían asimilar (Lavelle, 1997).

Otros grupos de artrópodos, por su parte, tienen como principal fuente de alimento a los microorganismos edáficos, lo que hace que estas asociaciones sean aún más estrechas (Collins y Qualset, 1999). Además, se tiene evidencia de que la macrofauna, dentro de la que se incluye a los macroartrópodos, es imprescindible para inducir la actividad metabólica de la comunidad microbiana, pues a través de la remoción del suelo provocada por sus movimientos, favorece la colonización de nuevos sustratos que pueden ser usados por los microorganismos (Lavelle et al., 2005)

### III. Naturaleza de los indicadores para evaluar la calidad de suelos

Si bien diversos aspectos de la actividad microbiana o de la artrópodo-fauna se han considerado buenos indicadores de la calidad del suelo, en general el componente inorgánico del suelo es el que suele medirse con mayor frecuencia y profundidad a la hora de evaluar la calidad de los suelos, y es para el que se cuenta con metodologías más estandarizadas. Entre las técnicas usadas para ese propósito se encuentran la cuantificación de nutrientes (N y C, principalmente), la medición del tamaño de los agregados, y la evaluación de la presencia de metales pesados (Bautista, 1998). En años recientes, se ha implementado el uso de indicadores que tienen una relación más directa con el componente biológico del suelo, aunque estos indicadores sólo incluyen aspectos como la medición de la biomasa microbiana, de la actividad enzimática y de sus tasas de respiración, así como la riqueza o abundancia de grupos específicos, entre los que destacan las lombrices de tierra (Annelida: Clitellata) (Navarrete et al., 2011).

La evaluación de la calidad de suelo es fundamental en el proceso de conocer su estado actual, determinar su grado de deterioro y/o degradación, así como en la implementación y monitoreo de estrategias de uso, cuidado y restauración de los sistemas edáficos.

En este sentido, para lograr una evaluación útil e integral de la calidad del suelo y, por consiguiente, un manejo adecuado del mismo, particularmente dentro de los sistemas agroalimentarios, es fundamental contemplar la diversidad biológica asociada y entender los procesos ecológicos que ocurren en él (Bender et al., 2016). Para lograr este objetivo es imprescindible, además, el desarrollo de herramientas de monitoreo y evaluación de la

calidad del suelo que permitan el conocimiento de su estado actual y la implementación de medidas, estrategias y políticas públicas efectivas encaminadas a la conservación y uso sustentable de este recurso. Dentro de estas herramientas, los indicadores integrales de calidad son una opción que permite integrar información de índole física, química y biológica para la evaluación de la calidad del suelo.

## **Problema**

A pesar de la importancia de sus componentes bióticos, y la influencia que tienen sobre su calidad y resiliencia, las metodologías más comúnmente usadas para la evaluación del suelo no consideran (o lo hacen de manera muy indirecta), la diversidad biológica presente ni las interacciones entre los organismos. Para la evaluación de este componente, suelen realizarse mediciones de materia orgánica presente, abundancia de DNA, abundancia de lombrices o la presencia de algunos metabolitos secundarios (Nannipieri, 2003). Los componentes biológicos de los suelos y su diversidad no suelen registrarse como factores centrales y determinantes de su estructura y composición (Uphoff et al., 2006). Aunado a esto, no se toman en cuenta las interacciones ecológicas entre diversos grupos de organismos edáficos ni cómo esas relaciones están asociadas a variables fácilmente medibles que pueden usarse para evaluar la calidad del suelo (pH, materia inerte, nutrientes, porosidad, entre otras), debido, en parte, al carácter complejo que representa el estudio y entendimiento de la ecología de la biota del suelo. Por otra parte, los indicadores de calidad de suelo que se usan con mayor frecuencia suelen ser complicados de entender y de difícil acceso para pequeños agricultores.

## **Justificación**

Tomando en cuenta lo anterior, es importante visualizar al suelo como un sistema, en el que convergen e interactúan propiedades físicas, químicas y biológicas, que deben analizarse de manera integral. La inclusión y el estudio de sus propiedades biológicas es de vital importancia, dado el papel que éstas juegan en el funcionamiento y estructura de este sistema. En particular, el estudio y entendimiento de la diversidad y la ecología de las comunidades bacterianas asociadas a distintos tipos del suelo permitiría tener un mayor

conocimiento sobre los mismos y así desarrollar estrategias encaminadas hacia su uso sustentable.

Dado el papel ecológico y funcional que juega la diversidad microbiana en el mantenimiento de la calidad del suelo, su medición ha llegado a considerarse como un potencial indicador de la calidad del mismo. Se estima que la diversidad microbiana de los suelos es de cerca de 10,000 especies por gramo (Bardgett et al., 2014). Sin embargo, hasta hace poco tiempo sólo se tenía conocimiento de aproximadamente un 3 a 10% de ese total, ya que sólo esta fracción es cultivable (Hawksworth, 1991). En los últimos años, las técnicas de secuenciación, que consisten en la extracción de DNA directa de los organismos microbianos sin necesidad de un cultivo previo, han permitido avanzar considerablemente en la caracterización de las comunidades microbianas del suelo (Bolívar et al., 2004). No obstante, estas técnicas son demasiado costosas, lentas y complicadas para su uso regular en el monitoreo o evaluación del suelo, por lo que es necesario encontrar indicadores indirectos que sean fácilmente medibles y que estén asociados con la diversidad de comunidades bacterianas del suelo que permitan evaluar la calidad del mismo.

En el proyecto *Biodiversidad y ecología funcional de suelos: conservación y resiliencia en sistemas naturales, agroecológicos y agroforestales* (CONACyT 247672), se pretende avanzar en el desarrollo y uso de indicadores biológicos, integrales y accesibles, de la calidad del suelo que recuperen información sobre la estructura y diversidad de las comunidades microbianas. Esto, a través del estudio de la diversidad de estos organismos del suelo y su relación con otros componentes del mismo (hongos, vegetación, artrópodo-fauna), así como con distintos aspectos del manejo agrícola y agroforestal. Así, el objetivo del proyecto es identificar variables de fácil medición asociadas a la comunidad bacteriana edáfica que proporcionen información sobre la calidad del suelo.

En el marco de este proyecto, el estudio de las comunidades de artrópodos y su relación con la estructura de las comunidades bacterianas es central. Tomando en cuenta lo anterior, para fines de esta tesis investigaré si la diversidad de estos organismos tiene alguna relación con la diversidad y estructura de la comunidad bacteriana y con ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, porosidad, cantidad de materia orgánica, contenido de

nutrientes) y, por tanto, puede ser usada como indicador integral de fácil medición de la calidad del mismo.

### **Pregunta de investigación**

¿Es posible hacer uso de la diversidad de artrópodo-fauna edáfica de los agroecosistemas como indicador de la calidad del suelo en función de su relación con la comunidad bacteriana del suelo y con otras variables fisicoquímicas?

### **Hipótesis**

La diversidad de artrópodo-fauna edáfica está relacionada con la estructura y composición de la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas del suelo y, por lo tanto, exhibirá relaciones estadísticamente significativas con éstas, pudiendo ser usada como indicador integral y accesible sobre la calidad del mismo.

### **Objetivos**

#### General

- Explorar relaciones estadísticas entre la diversidad de artrópodo-fauna edáfica y la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas del suelo para aportar a su posible uso como indicador de la calidad de suelos de uso agrícola.

#### Particulares

- Realizar una identificación taxonómica (hasta el nivel de morfoespecies) de los artrópodos presentes en diferentes tipos de cultivo en México.
- Realizar el cálculo de parámetros ecológicos de composición y estructura de las comunidades de artrópodos colectados (mediciones de abundancia, riqueza y diversidad).
- Explorar relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna encontrada con la diversidad de la comunidad bacteriana presente en cada cultivo.

- Explorar relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna encontrada con otros parámetros fisicoquímicos asociados con la calidad del suelo.

## **Materiales y métodos**

### **I. Sitio de estudio y diseño experimental**

Dado que el estudio pretende representar un espectro relativamente amplio de tipos de manejo, usos de la tierra, y condiciones climáticas presentes en México, los muestreos se realizaron en parcelas de dos cultivos anuales (maíz y frijol) distribuidos en dos ecorregiones: selvas templadas y selvas cálido-secas, ambas presentes en el estado de Guanajuato. Los sitios de estudio, además, están sujetos a una amplia diversidad de tipos de manejo, que fueron documentados por otros participantes del proyecto CONACyT (247672), específicamente, por Fabiola Estrada y Víctor Piña (Estrada, 2018; Piña, 2018). Asimismo, se realizaron muestreos en zonas de vegetación primaria (sin ningún tipo de manejo agrícola) en cada uno de los dos sitios de estudio. La selección de sitios de estudio se realizó a partir de los requerimientos de los distintos participantes en el proyecto CONACyT (247672) y, para fines de este trabajo, lo relevante es que constituyen un conjunto de sitios asociados a un espectro amplio de ecorregiones, manejos y tipos de cultivo, lo que se espera que permita identificar relaciones y tendencias generales entre la artrópodo-fauna y otros componentes del suelo.

Los muestreos para los cultivos anuales se realizaron en dos localidades pertenecientes al estado de Guanajuato, México: San Felipe (representa a Guanajuato Norte, semiseco-templado) y Guarapo (representa a Guanajuato Sur, clima semicálido subhúmedo). Además, en cada sitio se realizó un muestreo en un sitio de vegetación primaria, de manera que sea posible tener información sobre un sitio de cada zona de muestreo que en el que no exista ningún tipo de manejo agrícola. Los muestreos se llevaron a cabo durante la época de lluvias (julio-agosto) del año 2016.

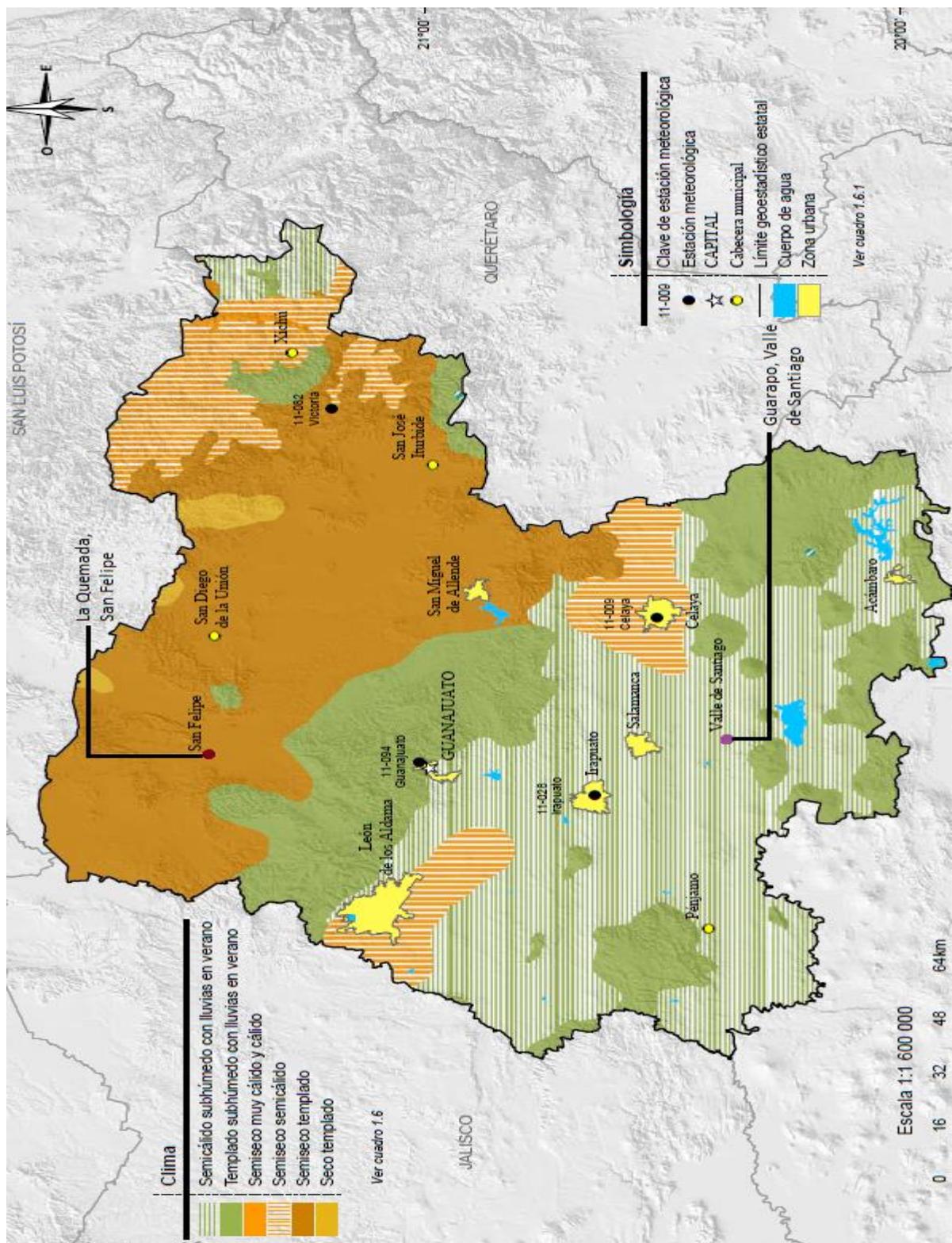


Figura 1. Mapa de los climas del estado de Guanajuato que muestra la zona de estudio de este trabajo. Son notables las diferencias del tipo de clima entre ambas regiones. Modificado de INEGI, 2016.

Las parcelas se seleccionaron de manera que se abarcara un espectro considerable de técnicas de manejo, microclimas y tipos de suelo. La planeación original del estudio contemplaba el muestreo de 5 parcelas de frijol y 5 de maíz en cada región; sin embargo, debido a que no hubo un desarrollo favorable de los cultivos en algunas de las parcelas contempladas, el número de las mismas disminuyó (Tabla 1).

<b>Tabla 1. Resumen de los sitios, cultivos y número de parcelas muestreadas</b>		
<b>Sitio de muestreo (Ecorregión)</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Número de parcelas muestreadas</b>
San Felipe (Guanajuato Norte)	Maíz	5
	Frijol	4
	Sitio conservado	1
Guarapo (Guanajuato Sur)	Maíz	5
	Frijol	6
	Sitio de vegetación primaria	1

## II. Colecta de artrópodos asociados al suelo

Para caracterizar la diversidad de artrópodo-fauna edáfica presente en la parte superficial del suelo se realizaron colectas con trampas pitfall. Las trampas pitfall constituyen uno de los métodos más usados para el muestreo de estos organismos, dada la facilidad para su aplicación y la efectividad con que su implementación permite caracterizar la comunidad de artrópodo-fauna edáfica en distintos ecosistemas. Por otra parte, su uso con fines de evaluación del estado del suelo se encuentra documentado en diversos estudios. Magoba y colaboradores (2015) las utilizaron para medir el efecto de la compactación del suelo en los artrópodos edáficos que habitan la superficie del mismo. Schuldt y colaboradores (2015) usaron esta técnica combinada con otras para medir diversidad de artrópodos y relacionarla con la diversidad de otros taxones en un bosque tropical. En otro estudio, con esta técnica se evaluó su diversidad en cultivos de olivo con diferentes sistemas de manejo agrícola (Gkisakis, 2015), mientras que Rousseau y su equipo (2013) hicieron uso de ellas para colectar artrópodos asociados a la superficie del suelo con el fin de evaluar su uso como

indicadores de calidad de suelo en función de su respuesta ante diversos manejos agrícolas en cultivos de maíz y frijol.

Las trampas pitfall se construyeron con vasos americanos de plástico a los que se agregó una solución 3:1 de alcohol (150 mL) y agua jabonosa (50 mL). Sobre cada vaso, a una altura aproximada de 5 cm, se colocó un plato de plástico con tripié de alambre, que actuó como protección para evitar la entrada de agua de lluvia o de otros animales a las trampas (figura 2).

Se colocaron nueve trampas en cada parcela, con una disposición de tres transectos paralelos con tres trampas cada uno. El tamaño de los transectos, así como la distancia entre trampas, se ajustaron según el área particular de cada parcela, aunque era de aproximadamente 5 a 6 metros. Los vasos se enterraron en el suelo, de manera que la boca de cada uno quedara exactamente al mismo nivel de la superficie del suelo (figura 3). Cada trampa permaneció en cada sitio durante dos días completos (48 horas), después de los cuales los organismos colectados en cada parcela se colocaron en un frasco etiquetado con una clave que indica el cultivo, la localidad y el número de parcela, con el fin de preservarlos para su posterior identificación en el laboratorio.

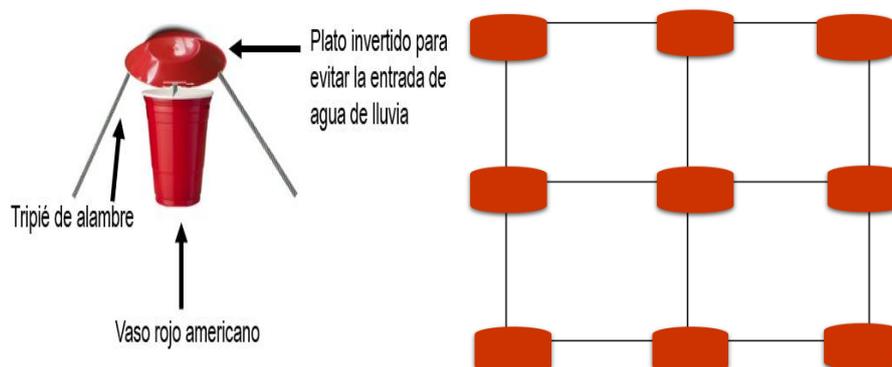


Figura 2. Trampa pitfall (izquierda) y su disposición en cada parcela y sitio de vegetación primaria (derecha). Se realizó una separación entre cada trampa de entre cinco y seis metros.

### III. Obtención de datos sobre diversidad microbiana

Los análisis sobre diversidad microbiana se realizaron a través de secuenciaciones de

material genético para la comunidad bacteriana y fúngica total, como parte del proyecto CONACYT (247672), y estuvieron a cargo del laboratorio de la Dra. Ana Elena Escalante, en el LANCIS-IE de la UNAM. El DNA genómico de cada muestra de suelo se extrajo usando el PowerSoil DNA Isolate Kit™ (MoBio Laboratories, Solana Beach CA, USA) siguiendo las instrucciones del fabricante y con algunas modificaciones: se usaron 0.5 g de suelo para cada extracción y se aumentó el tiempo de incubación a 4°C de 5 a 20 min.

La región V1-V2 del gen 16s rRNA (27F/388R) fue amplificada y secuenciada a partir de DNA genómico usando los servicios de secuenciación del Research and Testing Laboratory (Lubbock, TX, USA) con la plataforma Illumina MiSeq.

El filtrado de calidad de las secuencias y los análisis de las mismas fueron llevados a cabo siguiendo la línea de procesamiento de QIIME 2 (Caporaso et al., 2010). Las secuencias fueron agrupadas en OTUs usando un valor de similitud del 97%.

#### **IV. Datos sobre parámetros fisicoquímicos del suelo y aspectos del manejo agrícola**

Los parámetros fisicoquímicos del suelo se obtuvieron a través del análisis de perfiles y muestras en cada una de las parcelas, que fueron realizados por el Dr. Víctor Peña, del Instituto de Geología, UNAM, como parte de su investigación posdoctoral. Para obtener datos referentes al pH, la conductividad eléctrica, la densidad aparente, la humedad y la capacidad máxima de retención de agua (CMR), se hicieron análisis en el Laboratorio de Edafología Ambiental, del Instituto de Geología, UNAM, a cargo de la M. en C. Kumiko Shimada Miyasaka, mientras que los análisis de nitrógeno, fósforo y carbono total se realizaron en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental, LABFER, del Colegio de Posgraduados, del cual es responsable la M. en C. Juliana Padilla Cuevas. Por último, los datos sobre textura se realizaron en el Laboratorio de Bioquímica Terrestre y Clima, del Instituto de Ecología, UNAM, a cargo del Dr. Julio Campo Alves y del M. en C. Enrique Solís Villalpando. Estos análisis fueron realizados por otros participantes del proyecto CONACYT (247672).

Se realizó la identificación taxonómica de los artrópodos colectados en tres niveles: orden, familia y morfoespecies. Los dos primeros niveles se realizaron en el Taller de Animales I de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, mientras que para el último se recurrió al Laboratorio de Sistemática de Coleópteros del Instituto de Biología (UNAM).

Todos los artrópodos colectados se identificaron hasta nivel de orden (con excepción de los organismos pertenecientes a las clases Acarida y Diplopoda) con asesoría de la M. en C. Alicia Rojas Ascencio. Dentro de la clase Insecta, se escogieron tres órdenes para identificar hasta familia (Coleoptera, Orthoptera y Hemiptera) debido a la heterogeneidad de estrategias alimenticias y de formas de vida que presentan sus integrantes, así como la importancia de los mismos dentro de los agroecosistemas.

Para la identificación taxonómica a nivel de familia se hizo uso de la clave taxonómica propuesta por Triplehorn y Johnson (2006) para los órdenes de Orthoptera y Hemiptera, siendo útil también para algunos ejemplares del orden Coleoptera. Sin embargo, para estos últimos la clave taxonómica propuesta por White (1983) también fue utilizada.

La identificación a nivel de morfoespecies se llevó a cabo únicamente para el orden Coleoptera. Se realizó con base en caracteres de color, forma de los élitros y de las mandíbulas.

Todos los ejemplares se conservaron en alcohol etílico con una concentración del 70%, con excepción de los coleópteros menores a 5 mm, que fueron montados sobre una base de unicol para facilitar su observación e identificación.

**VI. Mediciones de abundancia, riqueza y diversidad**

Con el fin de obtener un primer acercamiento a la estructura de la comunidad de artrópodos, se realizaron las estimaciones de la abundancia, riqueza y diversidad de las

comunidades. Se cuantificó el número de individuos pertenecientes a cada categoría taxonómica considerada (orden, familia y morfoespecie). Se calculó la riqueza absoluta y una estimación de la misma a través del índice de Chao1. Para la diversidad, se calculó el índice de Shannon y se construyeron perfiles de Renyi. Ambos parámetros, diversidad y riqueza, se estimaron para los datos dentro de cada parcela y dentro de cada ecorregión, para todos los niveles taxonómicos identificados. Para calcular todos estos parámetros se hizo uso del software R (versión 1.0.153) y de las paqueterías *vegan* y *BiodiversityR*.

#### **VII. Exploración de las relaciones estadísticas entre los grupos de artrópodos con la comunidad bacteriana y las variables fisicoquímicas del suelo**

Para el análisis de agrupamiento que incluye a la artrópodo-fauna y a los parámetros fisicoquímicos del suelo se realizó un análisis de componentes principales (PCA) haciendo uso de las variables que se midieron para cada una de las parcelas de nuestro estudio. El objetivo de este análisis fue identificar las variables que mejor expliquen la variación entre las parcelas muestreadas y de esta manera, reducir la dimensionalidad del conjunto de variables que se midieron en el estudio. Además, este análisis fue importante para identificar las variables que más aportan a la variación entre parcelas y utilizarlas para realizar análisis más dirigidos, como las pruebas de correlaciones.

#### **VIII. Correlaciones entre la artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y variables fisicoquímicas del suelo**

Las correlaciones se probaron entre variables asociadas a la comunidad de artrópodo-fauna y variables de la comunidad bacteriana, así como a algunos de los parámetros asociados al suelo. Las correlaciones se probaron a través del método de Spearman, puesto que se buscaba explorar si existía algún tipo de relación lineal entre las variables y también debido a que nuestros datos no presentaron normalidad.

## Resultados

### I. Identificación taxonómica de los artrópodos colectados

A continuación, se muestran los listados de órdenes (tablas 2 y 3), familias (tablas 4 y 5) y número de morfoespecies (tablas 6 y 7) de artrópodos encontrados en los cultivos de maíz y frijol de ambas ecorregiones (San Felipe y Guarapo, norte y sur, respectivamente).

**Tabla 2. Órdenes de artrópodos presentes en la región de San Felipe (Guanajuato Norte, GN)**

Parcela	Clase	Orden	Abundancia
MGN1	Acarida	-	12
MGN1	Arachnida	Araneae	4
MGN1	Arachnida	Opiliones	9
MGN1	Arachnida	Solifugae	1
MGN1	Diplopoda	Lithobiomorpha	1
MGN1	Insecta	Coleoptera	3
MGN1	Insecta	Dermaptera	1
MGN1	Insecta	Diptera	1
MGN1	Insecta	Hemíptera	5
MGN1	Insecta	Hymenoptera	304
MGN1	Insecta	Orthoptera	9
MGN2	Acarida	-	9
MGN2	Arachnida	Araneae	7
MGN2	Arachnida	Opiliones	6
MGN2	Arachnida	Solifugae	1
MGN2	Diplopoda	Lithobiomorpha	2
MGN2	Insecta	Coleoptera	10
MGN2	Insecta	Dermaptera	6
MGN2	Insecta	Diptera	5

<b>Parcela</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Abundancia</b>
MGN2	Insecta	Hemíptera	6
MGN2	Insecta	Hymenoptera	305
MGN2	Insecta	Lepidóptera	1
MGN2	Insecta	Orthoptera	1
MGN2	Insecta	Orthoptera	1
MGN3	Acarida	-	2
MGN3	Arachnida	Araneae	6
MGN3	Arachnida	Opiliones	1
MGN3	Insecta	Coleoptera	10
MGN3	Insecta	Diptera	1
MGN3	Insecta	Hemíptera	1
MGN3	Insecta	Hymenoptera	81
MGN3	Insecta	Lepidóptera	1
MGN3	Insecta	Orthoptera	1
MGN4	Acarida	-	2
MGN4	Arachnida	Araneae	7
MGN4	Arachnida	Opiliones	5
MGN4	Diplopoda	Lithobiomorpha	2
MGN4	Hexápoda	Entomobryomorpha	11
MGN4	Insecta	Coleoptera	26
MGN4	Insecta	Dermaptera	22
MGN4	Insecta	Diptera	2
MGN4	Insecta	Hemíptera	3
MGN4	Insecta	Hymenoptera	59
MGN4	Insecta	Lepidóptera	1
MGN4	Insecta	Orthoptera	9
MGN5	Acarida	-	9
MGN5	Arachnida	Araneae	13
MGN5	Arachnida	Opiliones	3
MGN5	Hexápoda	Entomobryomorpha	7

<b>Parcela</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Abundancia</b>
MGN5	Insecta	Dermaptera	2
MGN5	Insecta	Coleoptera	65
MGN5	Insecta	Hemíptera	3
MGN5	Insecta	Orthoptera	8
MGN5	Insecta	Lepidóptera	2
MGN5	Insecta	Diptera	4
MGN5	Insecta	Hymenoptera	210
FGN1	Acarida	-	2
FGN1	Acarida	-	3
FGN1	Arachnida	Opiliones	8
FGN1	Arachnida	Solifugae	2
FGN1	Insecta	Coleoptera	2
FGN1	Insecta	Diptera	3
FGN1	Insecta	Hymenoptera	141
FGN1	Insecta	Orthoptera	5
FGN2	Acarida	-	13
FGN2	Arachnida	Araneae	7
FGN2	Arachnida	Opiliones	21
FGN2	Arachnida	Solifugae	1
FGN2	Insecta	Coleoptera	27
FGN2	Insecta	Dermaptera	3
FGN2	Insecta	Diptera	5
FGN2	Insecta	Hemíptera	9
FGN2	Insecta	Hymenoptera	200
FGN2	Insecta	Orthoptera	4
FGN2	Insecta	Thysanoptera	1
FGN3	Acarida	-	12
FGN3	Insecta	Coleoptera	12
FGN3	Insecta	Dermaptera	5
FGN3	Insecta	Diptera	3

<b>Parcela</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Abundancia</b>
FGN3	Insecta	Hemíptera	3
FGN3	Insecta	Hymenoptera	112
FGN3	Insecta	Orthoptera	7
FGN4	Acarida	-	5
FGN4	Arachnida	Araneae	1
FGN4	Arachnida	Opiliones	1
FGN4	Diplopoda	Lithobiomorpha	1
FGN4	Hexápoda	Entomobryomorpha	13
FGN4	Insecta	Coleoptera	21
FGN4	Insecta	Dermaptera	10
FGN4	Insecta	Diptera	6
FGN4	Insecta	Hemíptera	7
FGN4	Insecta	Hymenoptera	56
FGN4	Insecta	Orthoptera	1
OGN	Acarida	-	11
OGN	Arachnida	Araneae	9
OGN	Arachnida	Opiliones	10
OGN	Arachnida	Pseudoscorpionida	1
OGN	Hexápoda	Entomobryomorpha	51
OGN	Insecta	Coleoptera	3
OGN	Insecta	Coleoptera	2
OGN	Insecta	Diptera	7
OGN	Insecta	Hemíptera	2
OGN	Insecta	Hymenoptera	585
OGN	Insecta	Lepidóptera	6
OGN	Insecta	Orthoptera	7

Tabla 3. Órdenes de artrópodos presentes en la región de Guarapo (Guanajuato Sur, GS)

Parcela	Clase	Orden	Abundancia absoluta
MGS1	Acarida	-	1
MGS1	Arachnida	Araneae	13
MGS1	Arachnida	Pseudoscorpiones	3
MGS1	Diplopoda	-	1
MGS1	Insecta	Coleoptera	28
MGS1	Insecta	Diptera	34
MGS1	Insecta	Hemíptera	1
MGS1	Insecta	Hymenoptera	30
MGS1	Insecta	Larvas	1
MGS1	Insecta	Lepidóptera	1
MGS1	Insecta	Orthoptera	14
MGS2	Acarida	-	1
MGS2	Arachnida	Araneae	25
MGS2	Arachnida	Opiliones	5
MGS2	Arachnida	Pseudoscorpionida	1
MGS2	Hexápoda	Entomobryomorpha	2
MGS2	Insecta	Coleoptera	85
MGS2	Insecta	Diptera	13
MGS2	Insecta	Hemíptera	4
MGS2	Insecta	Hymenoptera	52
MGS2	Insecta	Larvas	5
MGS2	Insecta	Lepidóptera	2
MGS2	Insecta	Orthoptera	62
MGS3	Arachnida	Araneae	8
MGS3	Insecta	Coleoptera	6
MGS3	Insecta	Diptera	4
MGS3	Insecta	Hymenoptera	5
MGS3	Insecta	Isoptera	6
MGS3	Insecta	Orthoptera	18
MGS4	Arachnida	Araneae	11
MGS4	Insecta	Coleoptera	24
MGS4	Insecta	Diptera	40
MGS4	Insecta	Hemíptera	5
MGS4	Insecta	Hymenoptera	25
MGS4	Insecta	Larvas	1
MGS4	Insecta	Orthoptera	2
MGS5	Acarida	-	2
MGS5	Arachnida	Araneae	7
MGS5	Hexápoda	Entomobryomorpha	1

<b>Parcela</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Abundancia absoluta</b>
MGS5	Insecta	Coleoptera	22
MGS5	Insecta	Diptera	12
MGS5	Insecta	Hemíptera	7
MGS5	Insecta	Hymenoptera	16
MGS5	Insecta	Isoptera	1
MGS5	Insecta	Orthoptera	3
FGS1	Acarida	-	15
FGS1	Arachnida	Araneae	6
FGS1	Insecta	Coleoptera	9
FGS1	Insecta	Diptera	14
FGS1	Insecta	Hemíptera	1
FGS1	Insecta	Hymenoptera	8
FGS1	Insecta	Larvas	8
FGS1	Insecta	Lepidóptera	2
FGS1	Insecta	Orthoptera	8
FGS2	Arachnida	Araneae	11
FGS2	Arachnida	Opiliones	1
FGS2	Diplopoda	-	1
FGS2	Insecta	Coleoptera	84
FGS2	Insecta	Diptera	9
FGS2	Insecta	Hemíptera	10
FGS2	Insecta	Hymenoptera	9
FGS2	Insecta	Larvas	1
FGS2	Insecta	Orthoptera	65
FGS3	Arachnida	Araneae	2
FGS3	Diplopoda	-	1
FGS3	Hexápoda	Entomobryomorpha	1
FGS3	Insecta	Coleoptera	20
FGS3	Insecta	Diptera	12
FGS3	Insecta	Hemíptera	2
FGS3	Insecta	Hymenoptera	39
FGS3	Insecta	Larvas	3
FGS3	Insecta	Orthoptera	27
FGS4	Arachnida	Araneae	1
FGS4	Insecta	Coleoptera	4
FGS4	Insecta	Diptera	8
FGS4	Insecta	Hemíptera	1
FGS4	Insecta	Hymenoptera	8
FGS4	Insecta	Orthoptera	3
FGS5	Acarida	-	1
FGS5	Arachnida	Araneae	1
FGS5	Insecta	Diptera	3
FGS5	Insecta	Hemíptera	1

<b>Parcela</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Abundancia absoluta</b>
FGS5	Insecta	Hymenoptera	3
FGS5	Insecta	Orthoptera	1
FGS6	Acarida	-	18
FGS6	Arachnida	Araneae	51
FGS6	Arachnida	Opiliones	1
FGS6	Arachnida	Pseudoscorpionida	1
FGS6	Hexápoda	Entomobryomorpha	4
FGS6	Insecta	Coleoptera	104
FGS6	Insecta	Diptera	16
FGS6	Insecta	Hemíptera	11
FGS6	Insecta	Hymenoptera	74
FGS6	Insecta	Larvas*	3
FGS6	Insecta	Lepidóptera	1
FGS6	Insecta	Orthoptera	33
OGS	Acarida	-	1
OGS	Arachnida	Araneae	16
OGS	Arachnida	Scorpiones	1
OGS	Insecta	Coleoptera	10
OGS	Insecta	Hymenoptera	48
OGS	Insecta	Orthoptera	25

**Tabla 4. Familias de artrópodos de los órdenes Coleoptera, Hemiptera y Orthoptera colectados en los cultivos de maíz (M) y frijol (F) en la región de San Felipe (Guanajuato Norte, GN)**

<b>Parcela</b>	<b>Familia</b>	<b>Abundancia</b>
MGN1	Gryllidae	9
MGN1	Cicadellidae	4
MGN1	Staphylinidae	1
MGN1	Zopheridae	1
MGN1	Curculionidae	1
MGN2	Anthicidae	3
MGN2	Mycetophagidae	2
MGN2	Staphylinidae	4
MGN2	Curculionidae	1
MGN2	Gryllidae	1
MGN2	Cicadellidae	2
MGN2	Acrididae	1
MGN3	Tenebrionidae	2
MGN3	Anthicidae	5
MGN3	Carabidae	1
MGN3	Curculionidae	1
MGN3	Gryllidae	1
MGN3	Melyridae	1
MGN4	Gryllidae	9
MGN4	Tenebrionidae	1
MGN4	Nitidulidae	5
MGN4	Cicadellidae	3
MGN4	Staphylinidae	2
MGN4	Anthicidae	13
MGN4	Chrysomellidae	4
MGN4	Carabidae	1
MGN5	Carabidae	30
MGN5	Cerylonidae	1

<b>Parcela</b>	<b>Familia</b>	<b>Abundancia</b>
MGN5	Trogossitidae	1
MGN5	Cicadellidae	3
MGN5	Gryllidae	6
MGN5	Nitidulidae	4
MGN5	Curculionidae	1
MGN5	Staphylinidae	1
MGN5	Coccinelidae	1
MGN5	Acrididae	1
MGN5	Anthicidae	25
MGN5	Acrididae	1
MGN5	Elateridae	1
FGN1	Coccinelidae	1
FGN1	Staphylinidae	1
FGN1	Gryllidae	4
FGN1	Acrididae	1
FGN2	Tenebrionidae	8
FGN2	Anthicidae	14
FGN2	Coccinelidae	1
FGN2	Carabidae	1
FGN2	Curculionidae	1
FGN2	Gryllidae	2
FGN2	Acrididae	2
FGN2	Aphididae	2
FGN2	Cicadidae	1
FGN2	Cicadellidae	1
FGN2	Pentatomidae	1
FGN2	Heterogastridae	1
FGN2	Cicadidae	2
FGN2	Staphylinidae	1
FGN2	Megalopodidae	1
FGN3	Tenebrionidae	4
FGN3	Elateridae	1

<b>Parcela</b>	<b>Familia</b>	<b>Abundancia</b>
FGN3	Anthicidae	6
FGN3	Gryllidae	4
FGN3	Acrididae	2
FGN3	Tetrigidae	1
FGN3	Thaumastocoridae	3
FGN3	Nitidulidae	1
FGN4	Elateridae	3
FGN4	Curculionidae	2
FGN4	Anthicidae	13
FGN4	Tenebrionidae	1
FGN4	Nitidulidae	2
FGN4	Gryllidae	1
FGN4	Cicadellidae	2
FGN4	Pentatomidae	1
FGN4	Coreidae	1
FGN4	Heteroptera ninfa	3
OGN	Gryllidae	6
OGN	Staphylinidae	3
OGN	Tenebrionidae	1
OGN	Cicadellidae	1
OGN	Cydnidae	1
OGN	Acrididae	1

**Tabla 5. Familias de artrópodos de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera colectados en los cultivos de maíz (M) y frijol (F) en la región de Guarapo (Guanajuato Sur, GS)**

<b>Parcela</b>	<b>Familia</b>	<b>Abundancia</b>
MGS1	Staphylinidae	5
MGS1	Curculionidae	2
MGS1	Nitidulidae	3
MGS1	Mordellidae	1
MGS1	Gryllidae	14
MGS1	Cicadellidae	1
MGS2	Elateridae	1
MGS2	Scarabaeidae	1
MGS2	Carabidae	1
MGS2	Passalidae	1
MGS2	Staphylinidae	72
MGS2	Nitidulidae	1
MGS2	Cicadellidae	3
MGS2	Heteroptera	1
MGS2	Gryllidae	61
MGS2	Tetrigidae	1
MGS3	Scarabaeidae	3
MGS3	Staphylinidae	1
MGS3	Staphylinidae	1
MGS3	Gryllidae	18
MGS4	Staphylinidae	15
MGS4	Carabidae	1
MGS4	Heteroptera	2
MGS4	Cicadellidae	3
MGS4	Gryllidae	2
MGS5	Staphylinidae	17
MGS5	Curculionidae	1
MGS5	Sternorrhyncha	2

<b>Parcela</b>	<b>Familia</b>	<b>Abundancia</b>
MGS5	Heteroptera	2
MGS5	Cicadellidae	3
MGS5	Gryllidae	3
FGS1	Trogidae	5
FGS1	Anthicidae	1
FGS1	Cydnidae	1
FGS1	Gryllidae	8
FGS2	Anthicidae	3
FGS2	Scarabaeidae	4
FGS2	Passalidae	1
FGS2	Staphylinidae	76
FGS2	Cydnidae	5
FGS2	Cicadellidae	2
FGS2	Heteroptera	2
FGS3	Sternorrhyncha	1
FGS3	Acrididae	5
FGS3	Gryllidae	27
FGS3	Scarabaeidae	1
FGS3	Anthicidae	4
FGS3	Staphylinidae	9
FGS4	Anthicidae	1
FGS4	Staphylinidae	2
FGS4	Heteroptera	2
FGS5	Heteroptera	1
FGS5	Gryllidae	1
FGS6	Scarabaeidae	2
FGS6	Anthicidae	2
FGS6	Curculionidae	1
FGS6	Nitidulidae	1
FGS6	Passalidae	1
FGS6	Mordellidae	1
FGS6	Staphylinidae	92

Parcela	Familia	Abundancia
FGS6	Acrididae	3
OGS	Carabidae	2
OGS	Passalidae	1
OGS	Staphylinidae	5
OGS	Gryllidae	21
OGS	Acrididae	5
OGS	Cicadellidae	2

**Tabla 6. Número de morfoespecies del orden Coleoptera identificadas en los cultivos de maíz (M) y frijol (F) en la región de San Felipe (Guanajuato Norte, GN)**

Parcela	Orden	Familia	Morfo	Abundancia
MGN1	Coleoptera	Staphylinidae	M1	1
MGN1	Coleoptera	Zopheridae	M2	1
MGN1	Coleoptera	Curculionidae	M3	1
MGN2	Coleoptera	Curculionidae	M1	1
MGN2	Coleoptera	Mycetophagidae	M2	2
MGN2	Coleoptera	Anthicidae	M3	2
MGN2	Coleoptera	Anthicidae	M4	1
MGN2	Coleoptera	Staphylinidae	M5	1
MGN2	Coleoptera	Staphylinidae	M6	2
MGN2	Coleoptera	Staphylinidae	M7	1
MGN3	Coleoptera	Tenebrionidae	M1	2
MGN3	Coleoptera	Melyridae	M2	1
MGN3	Coleoptera	Anthicidae	M3	5
MGN3	Coleoptera	Carabidae	M4	1
MGN3	Coleoptera	Curculionidae	M5	1
MGN4	Coleoptera	Staphylinidae	M1	2
MGN4	Coleoptera	Anthicidae	M2	13
MGN4	Coleoptera	Carabidae	M3	1
MGN4	Coleoptera	Tenebrionidae	M4	1

<b>Parcela</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Morfo</b>	<b>Abundancia</b>
MGN4	Coleoptera	Nitidulidae	M5	3
MGN4	Coleoptera	Nitidulidae	M6	1
MGN4	Coleoptera	Nitidulidae	M7	1
MGN5	Coleoptera	Carabidae	M1	30
MGN5	Coleoptera	Trogossitidae	M2	1
MGN5	Coleoptera	Staphylinidae	M3	1
MGN5	Coleoptera	Cerylonidae	M4	1
MGN5	Coleoptera	Coccinellidae	M5	1
MGN5	Coleoptera	Chrysomellidae	M6	4
MGN5	Coleoptera	Nitidulidae	M7	4
MGN5	Coleoptera	Elateridae	M8	1
MGN5	Coleoptera	Curculionidae	M9	1
MGN5	Coleoptera	Anthicidae	M10	24
MGN5	Coleoptera	Anthicidae	M11	1
FGN1	Coleoptera	Coccinellidae	M1	1
FGN1	Coleoptera	Staphylinidae	M2	1
FGN2	Coleoptera	Coccinellidae	M1	1
FGN2	Coleoptera	Carabidae	M2	1
FGN2	Coleoptera	Anthicidae	M3	14
FGN2	Coleoptera	Curculionidae	M4	1
FGN2	Coleoptera	Megalopodidae	M5	1
FGN2	Coleoptera	Staphylinidae	M6	1
FGN2	Coleoptera	Tenebrionidae	M7	8
FGN3	Coleoptera	Elateridae	M1	1
FGN3	Coleoptera	Anthicidae	M2	6
FGN3	Coleoptera	Nitidulidae	M3	1
FGN3	Coleoptera	Tenebrionidae	M4	4
FGN4	Coleoptera	Elateridae	M1	3
FGN4	Coleoptera	Anthicidae	M2	12
FGN4	Coleoptera	Anthicidae	M3	1
FGN4	Coleoptera	Tenebrionidae	M4	1
FGN4	Coleoptera	Nitidulidae	M5	1

Parcela	Orden	Familia	Morfo	Abundancia
FGN4	Coleoptera	Nitidulidae	M6	1
FGN4	Coleoptera	Curculionidae	M7	2
OGN	Coleoptera	Tenebrionidae	M1	1
OGN	Coleoptera	Staphylinidae	M2	1
OGN	Coleoptera	Staphylinidae	M3	1
OGN	Coleoptera	Staphylinidae	M5	1
OGN	Coleoptera	Staphylinidae	M6	1
OGN	Coleoptera	Staphylinidae	M7	1

**Tabla 7. Número de morfoespecies del orden Coleoptera identificadas en los cultivos de maíz (M) y frijol (F) en la región de Guarapo (Guanajuato Sur, GS)**

Parcela	Orden	Familia	Morfo	Abundancia
MGS1	Coleoptera	Staphylinidae	M1	1
MGS1	Coleoptera	Staphylinidae	M2	4
MGS1	Coleoptera	Curculionidae	M3	2
MGS1	Coleoptera	Nitidulidae	M4	3
MGS1	Coleoptera	Mordellidae	M11	1
MGS2	Coleoptera	Anthicidae	M1	5
MGS2	Coleoptera	Elateridae	M3	1
MGS2	Coleoptera	Scarabaeidae	M4	1
MGS2	Coleoptera	Carabidae	M5	1
MGS2	Coleoptera	Passalidae	M6	1
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M7	2
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M8	64
MGS2	Coleoptera	Nitidulidae	M9	1
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M10	1
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M11	5
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M12	1
MGS2	Coleoptera	Staphylinidae	M13	1
MGS3	Coleoptera	Scarabaeidae	M1	3

<b>Parcela</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Morfo</b>	<b>Abundancia</b>
MGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M3	2
MGS3	Orthoptera	Staphyllinidae	M4	1
MGS4	Coleoptera	Staphyllinidae	M1	10
MGS4	Coleoptera	Staphyllinidae	M2	4
MGS4	Coleoptera	Staphyllinidae	M3	1
MGS4	Coleoptera	Carabidae	M4	2
MGS4	Coleoptera	Carabidae	M5	1
MGS4	Coleoptera	Anthicidae	M6	1
MGS5	Coleoptera	Curculionidae	M1	1
MGS5	Coleoptera	Staphyllinidae	M6	11
MGS5	Coleoptera	Staphyllinidae	M7	1
MGS5	Coleoptera	Staphyllinidae	M8	1
MGS5	Coleoptera	Staphyllinidae	M9	3
MGS5	Coleoptera	Staphyllinidae	M10	1
FGS1	Coleoptera	Trogidae	M1	5
FGS1	Coleoptera	Curculionidae	M2	1
FGS1	Coleoptera	Anthicidae	M3	1
FGS2	Coleoptera	Anthicidae	M1	1
FGS2	Coleoptera	Anthicidae	M2	1
FGS2	Coleoptera	Anthicidae	M3	1
FGS2	Coleoptera	Scarabaeidae	M4	4
FGS2	Coleoptera	Passalidae	M5	1
FGS2	Coleoptera	Staphyllinidae	M6	63
FGS2	Coleoptera	Staphyllinidae	M7	7
FGS2	Coleoptera	Staphyllinidae	M8	4
FGS2	Coleoptera	Staphyllinidae	M9	1
FGS2	Coleoptera	Staphyllinidae	M10	1
FGS3	Coleoptera	Scarabaeidae	M1	1
FGS3	Coleoptera	Anthicidae	M2	4
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M4	3
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M5	1
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M6	1

Parcela	Orden	Familia	Morfo	Abundancia
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M7	2
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M8	1
FGS3	Coleoptera	Staphyllinidae	M9	1
FGS4	Coleoptera	Anthicidae	M2	1
FGS4	Coleoptera	Staphyllinidae	M3	1
FGS4	Coleoptera	Staphyllinidae	M4	1
FGS6	Coleoptera	Scarabaeidae	M1	2
FGS6	Coleoptera	Anthicidae	M2	2
FGS6	Coleoptera	Curculionidae	M3	1
FGS6	Coleoptera	Nitidulidae	M4	1
FGS6	Coleoptera	Passalidae	M5	1
FGS6	Coleoptera	Mordellidae	M12	1
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M16	85
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M17	2
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M18	1
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M19	1
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M20	1
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M21	1
FGS6	Coleoptera	Staphyllinidae	M22	1

## II. Abundancia absoluta y riqueza de las comunidades de artrópodo-fauna

A continuación, se muestran gráficas de tres parámetros de la comunidad de artrópodo-fauna muestreada, divididas en dos secciones: abundancia absoluta (a) y riqueza (b) (figuras 3-10). Estos parámetros se midieron con el objetivo de explorar la estructura de la comunidad, conocer el número de individuos que se colectaron por zona y por parcela, así como para identificar posibles diferencias entre parcelas, ecorregiones y cultivos. Por lo tanto, las gráficas aportan información sobre el grado de similitud (en términos de abundancia, riqueza y composición) de las parcelas muestreadas, los grupos que se encontraron y que se comparten entre parcelas, cultivos y ecorregiones y los que son distintivos, así como los sitios en los que las abundancias y las riquezas presentan valores altos o bajos.

Las gráficas de composición y abundancia se construyeron usando los datos de abundancia y presencia de grupos taxonómicos de artrópodos (órdenes, familias y morfoespecies) de las parcelas localizadas en las dos ecorregiones (GS y GN) del estado de Guanajuato para ambos cultivos (maíz y frijol), mientras que para las segundas se utilizó la riqueza de cada nivel taxonómico (orden, familia y morfoespecie), que se midió en cada una de las parcelas de las dos ecorregiones muestreadas, también para los dos cultivos.

a. Abundancia absoluta de la comunidad de artrópodo-fauna

En las gráficas de las figuras 3 a 6 se muestra la composición de la comunidad de artrópodo-fauna presente en cada parcela de las dos ecorregiones muestreadas de ambos cultivos, así como la abundancia de individuos de cada grupo encontrado. Las primeras dos gráficas (figuras 3 y 4) muestran dicha composición y abundancia para los órdenes de artrópodos, mientras que las últimas dos (figuras 5 y 6) lo hacen para el nivel de familias.

Para el orden de Hymenoptera se decidió hacer gráficas independientes al resto de los órdenes (figuras 7 y 8) debido a que son el orden que presenta una mayor cantidad de individuos en ambas regiones y debido a ello, impedían una buena visualización de la abundancia de los demás órdenes. La mayor parte de los individuos colectados del orden Hymenoptera pertenecen a la familia Formicidae, por lo que se decidió realizar la distinción entre estos individuos y el resto de los himenópteros.

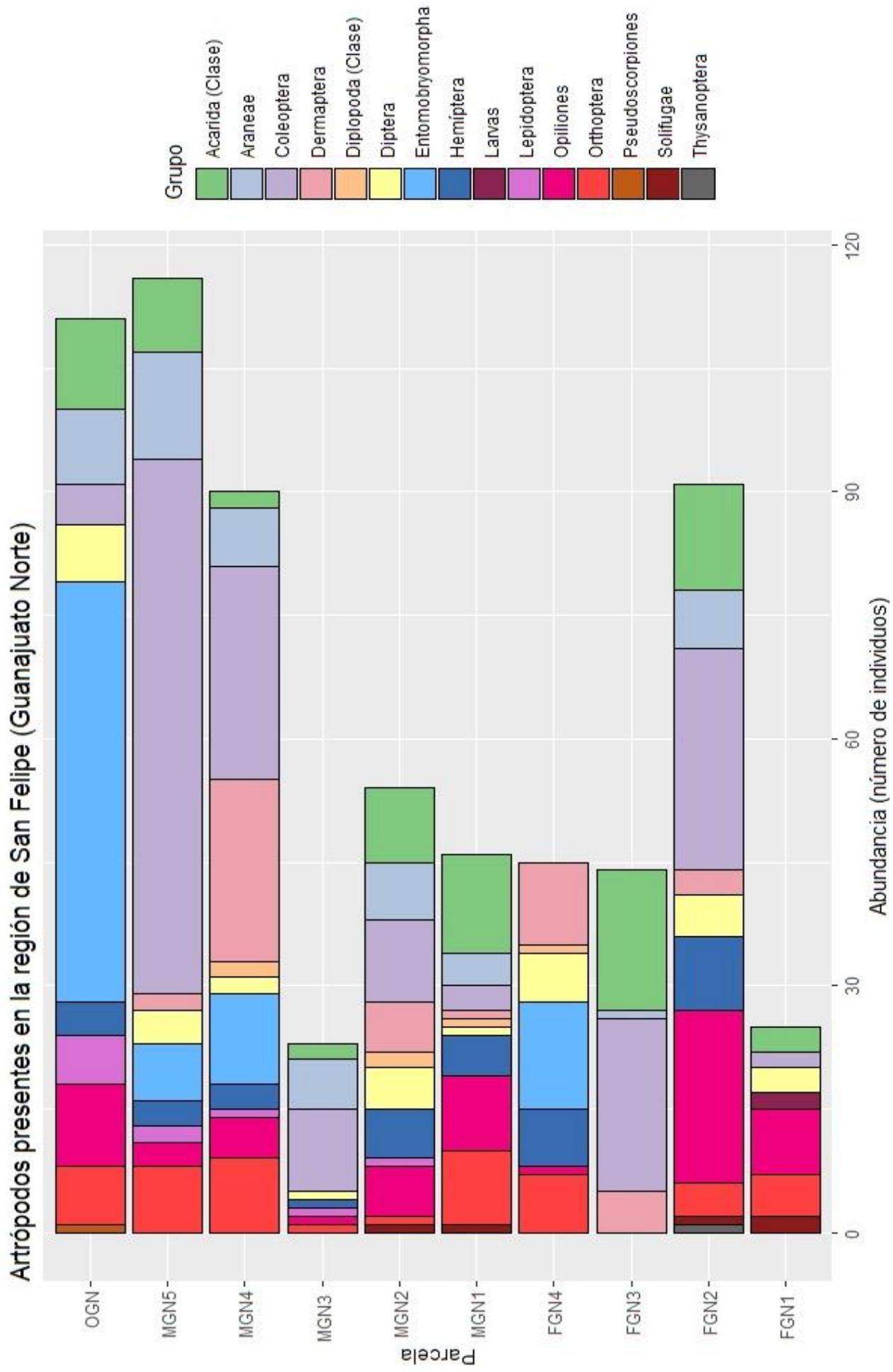


Figura 3. Artrópodos presentes en los cultivos de maíz, frijol y en el sitio de vegetación primaria en San Felipe, Guanajuato.

### Artrópodos presentes en la región de Guarapo (Guanajuato Sur)

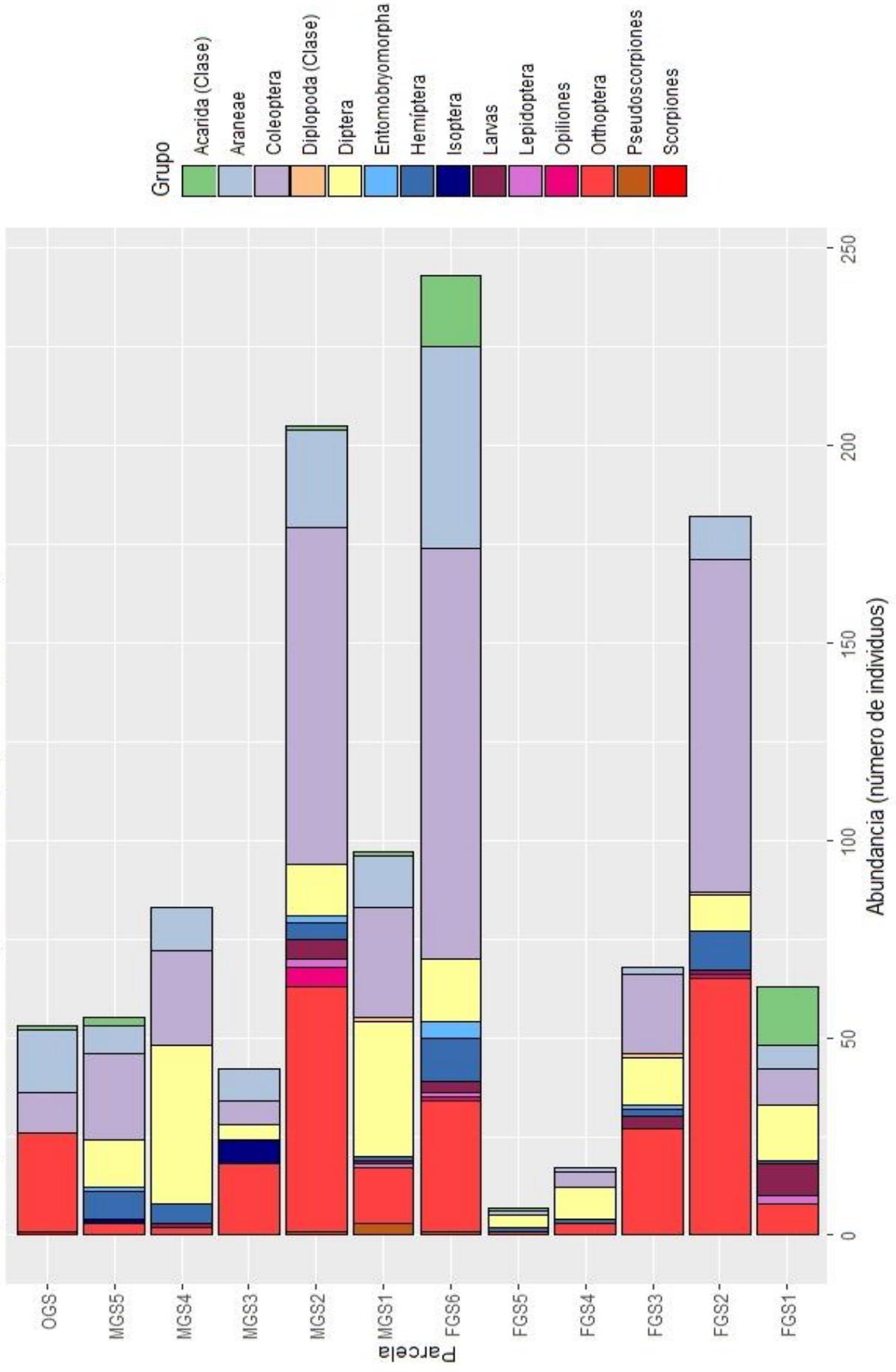


Figura 4. Artrópodos presentes en los cultivos de maíz, frijol y en el sitio de vegetación primaria en Guarapo, Guanajuato.

### Familias de artrópodos presentes en la región de San Felipe (Guanajuato Norte)

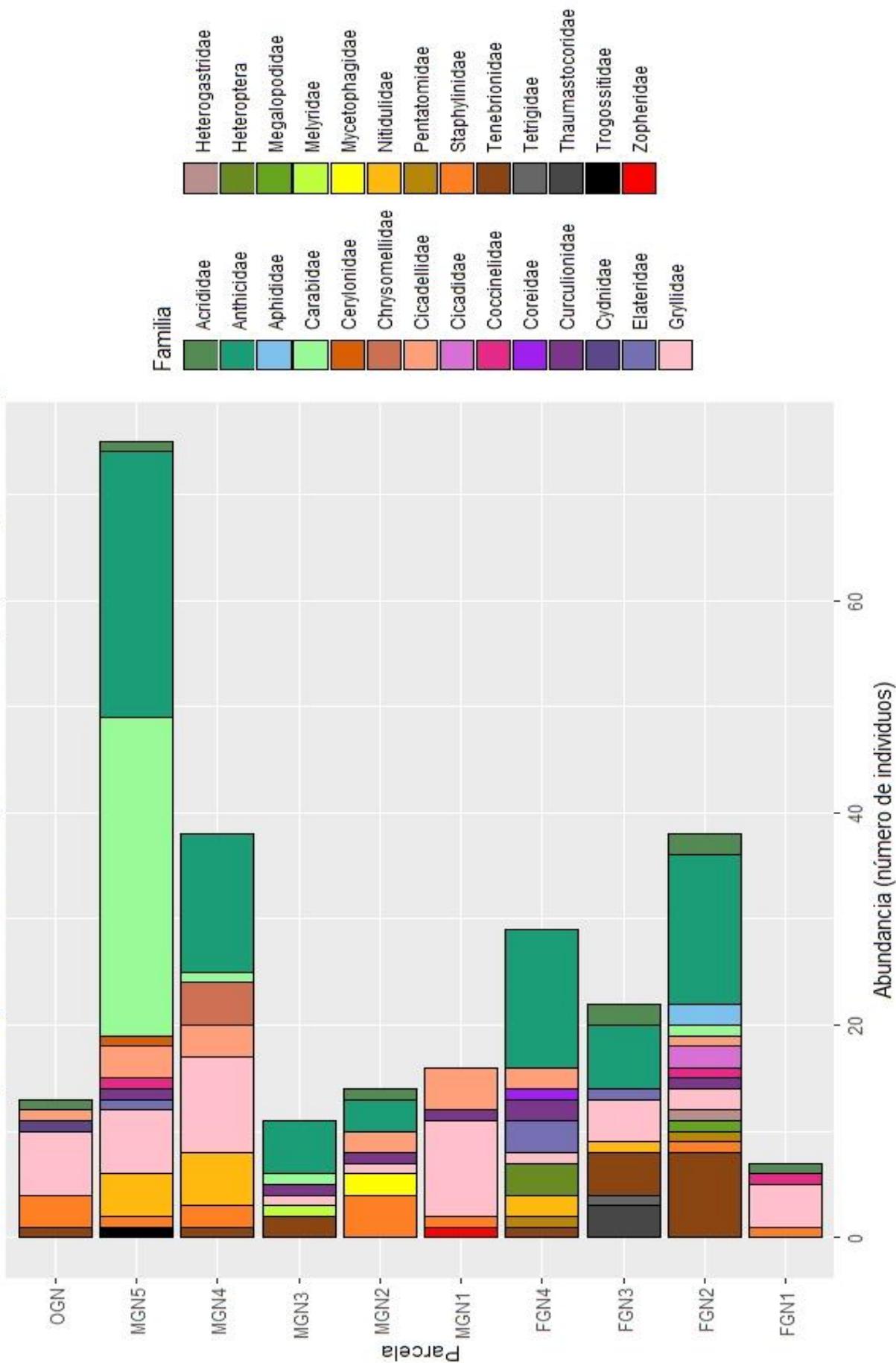


Figura 5. Familias de artrópodos presentes en los cultivos de maíz, frijol y en el sitio de vegetación primaria en San Felipe, Guanajuato.

### Familias de artrópodos presentes en la región de Guarapo (Guanajuato Sur)

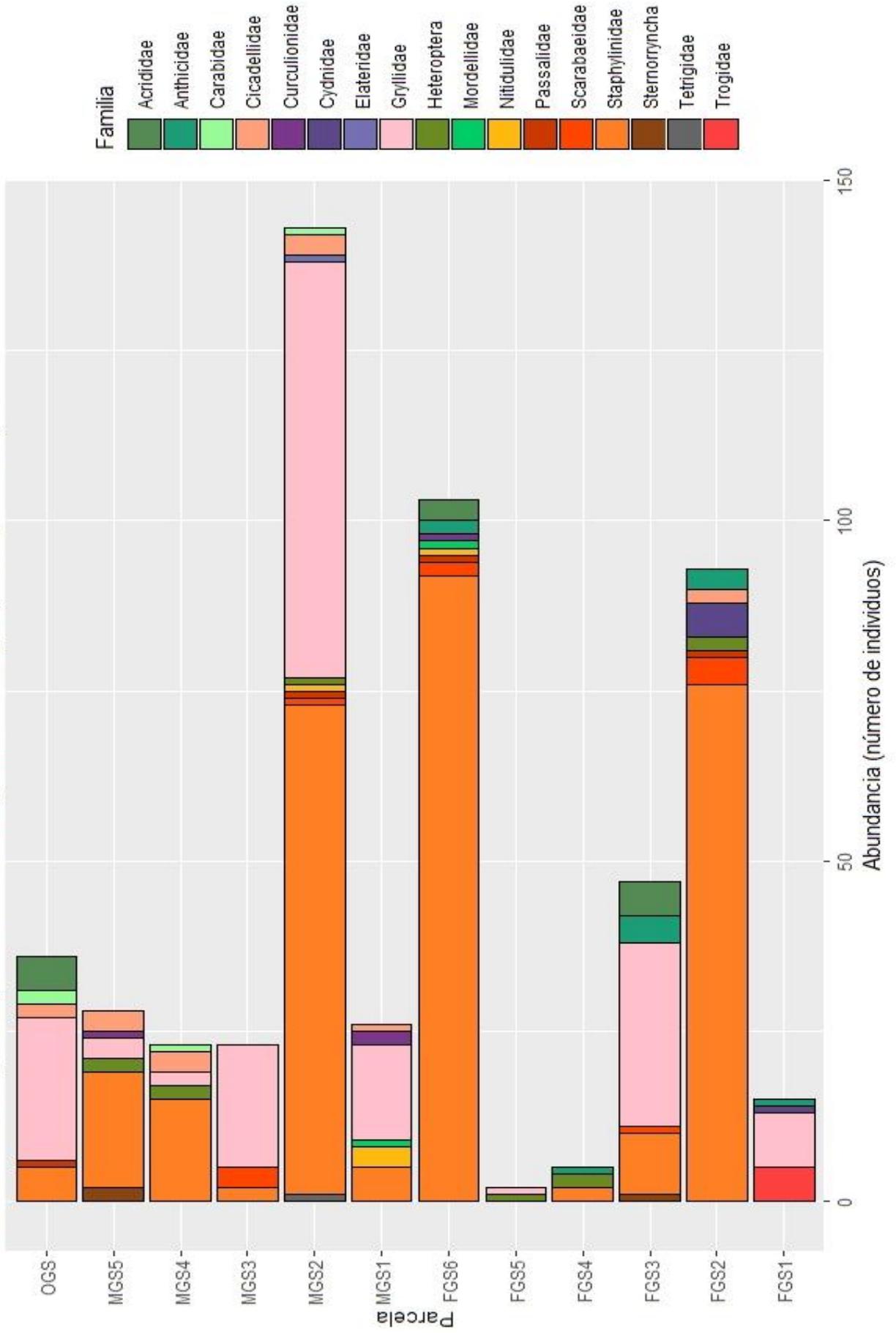


Figura 6. Familias de artrópodos presentes en los cultivos de maíz, frijol y en el sitio de vegetación primaria en Guarapo, Guanajuato.

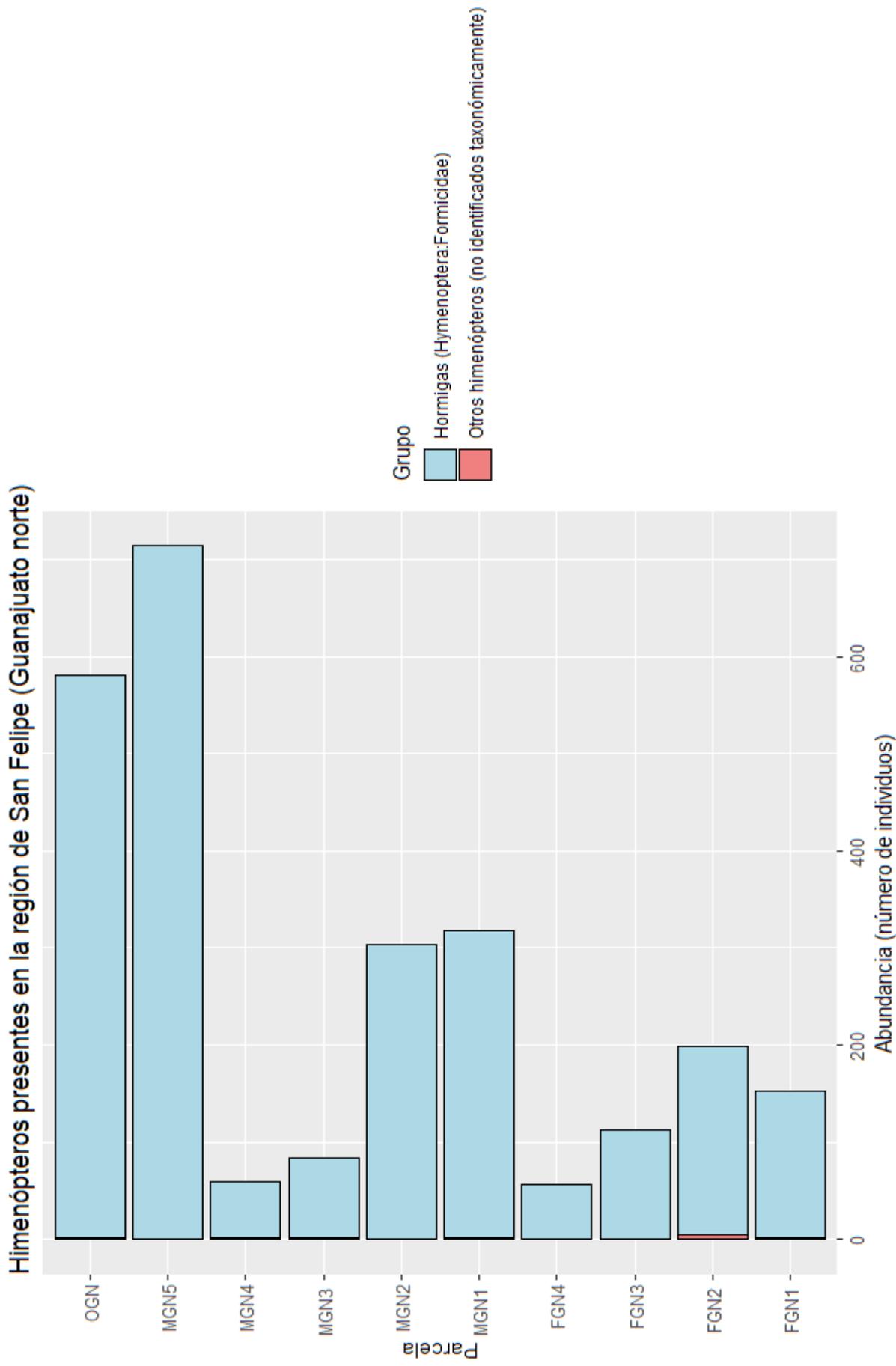


Figura 7. Abundancia del orden Hymenoptera en las parcelas muestreadas en San Felipe, Guanajuato

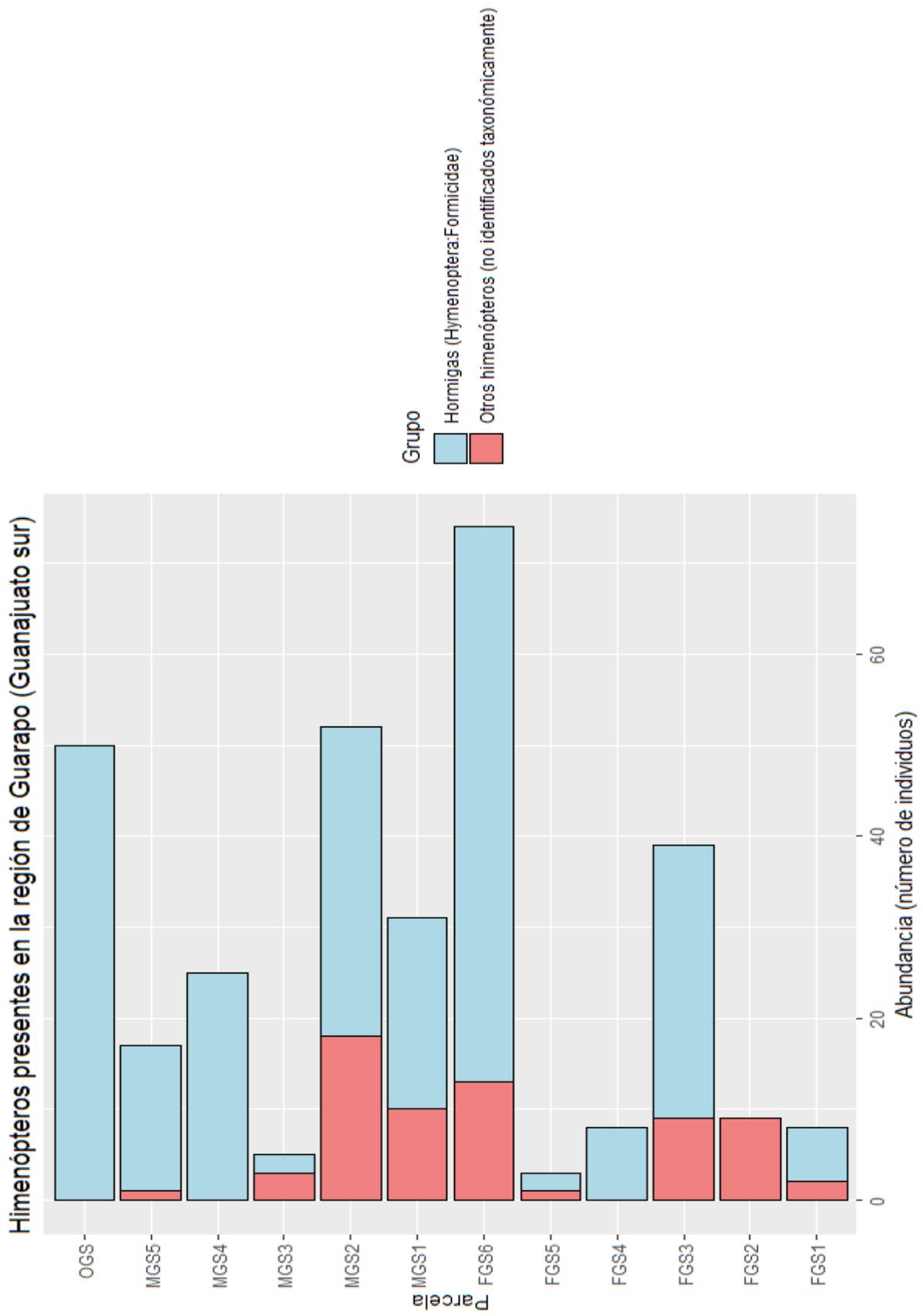


Figura 8. Abundancia del orden Hymenoptera en las parcelas muestreadas en Guarapo, Guanajuato

## b. Riqueza de la comunidad de artrópodo-fauna

Las siguientes gráficas muestran la riqueza de los tres niveles taxonómicos que se identificaron (orden, familia y morfoespecie), en cada parcela de maíz y frijol y en ambas ecorregiones. La primer gráfica corresponde a la región de San Felipe (Guanajuato norte) (figura 9), mientras que la segunda corresponde a la región de Guarapo (Guanajuato sur) (figura 10). Estas gráficas fueron construidas usando los datos que se obtuvieron al medir la riqueza de cada nivel taxonómico después de la identificación de los artrópodos.

En las gráficas, es posible comparar la riqueza de cada parcela en los tres niveles al mismo tiempo (orden, familia y morfoespecies) y observar diferencias entre las parcelas por cultivo y por regiones.

Riqueza de artrópodos a nivel de Orden, Familia y Morfoespecie en la región de San Felipe (Guanajuato Norte)

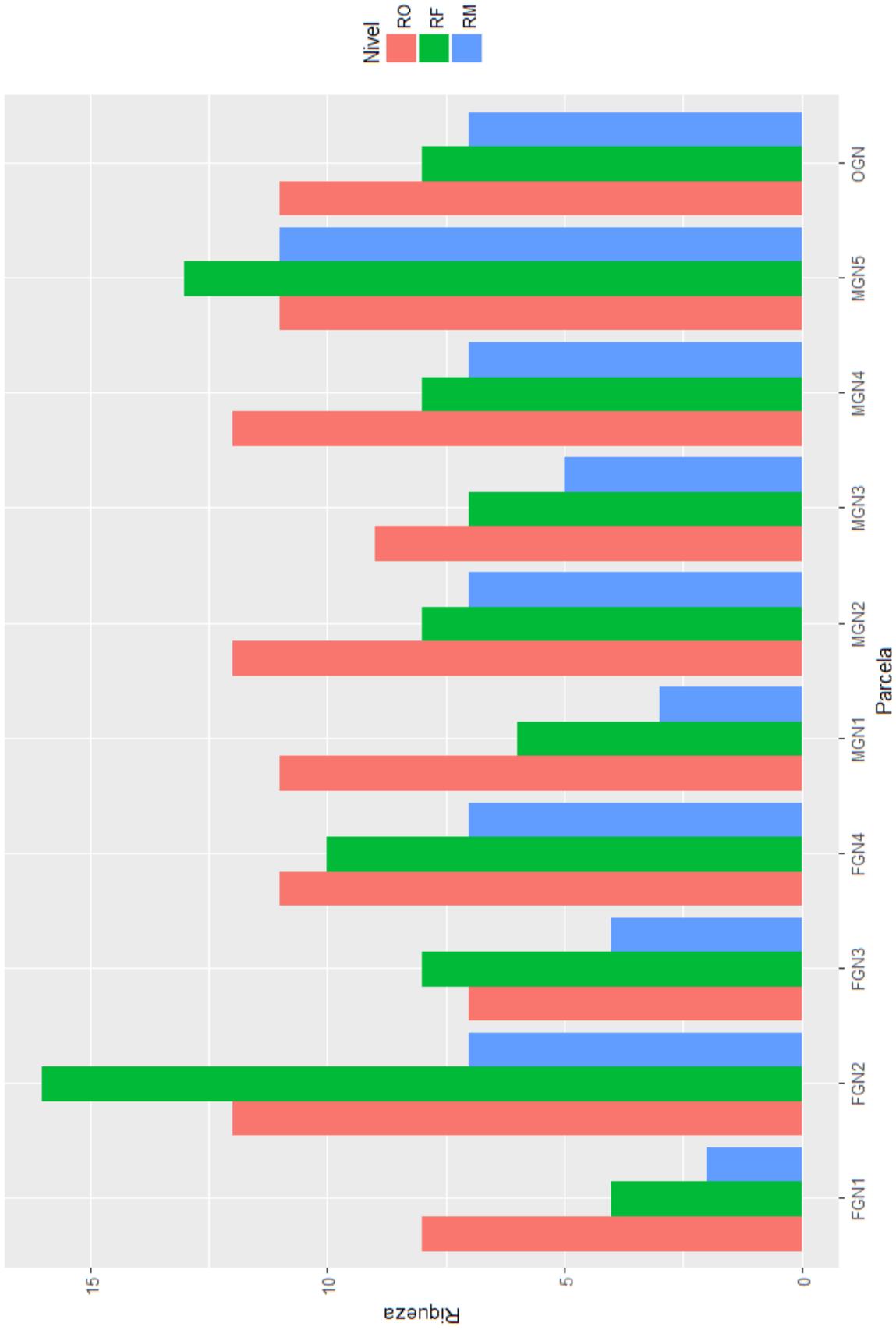


Figura 9. Riqueza a nivel orden (RO), familia (RF) y morfoespecies (RM) en San Felipe, Guanajuato.

Riqueza de artrópodos a nivel de Orden, Familia y Morfoespecie en la región de Guarapo (Guanajuato Sur)

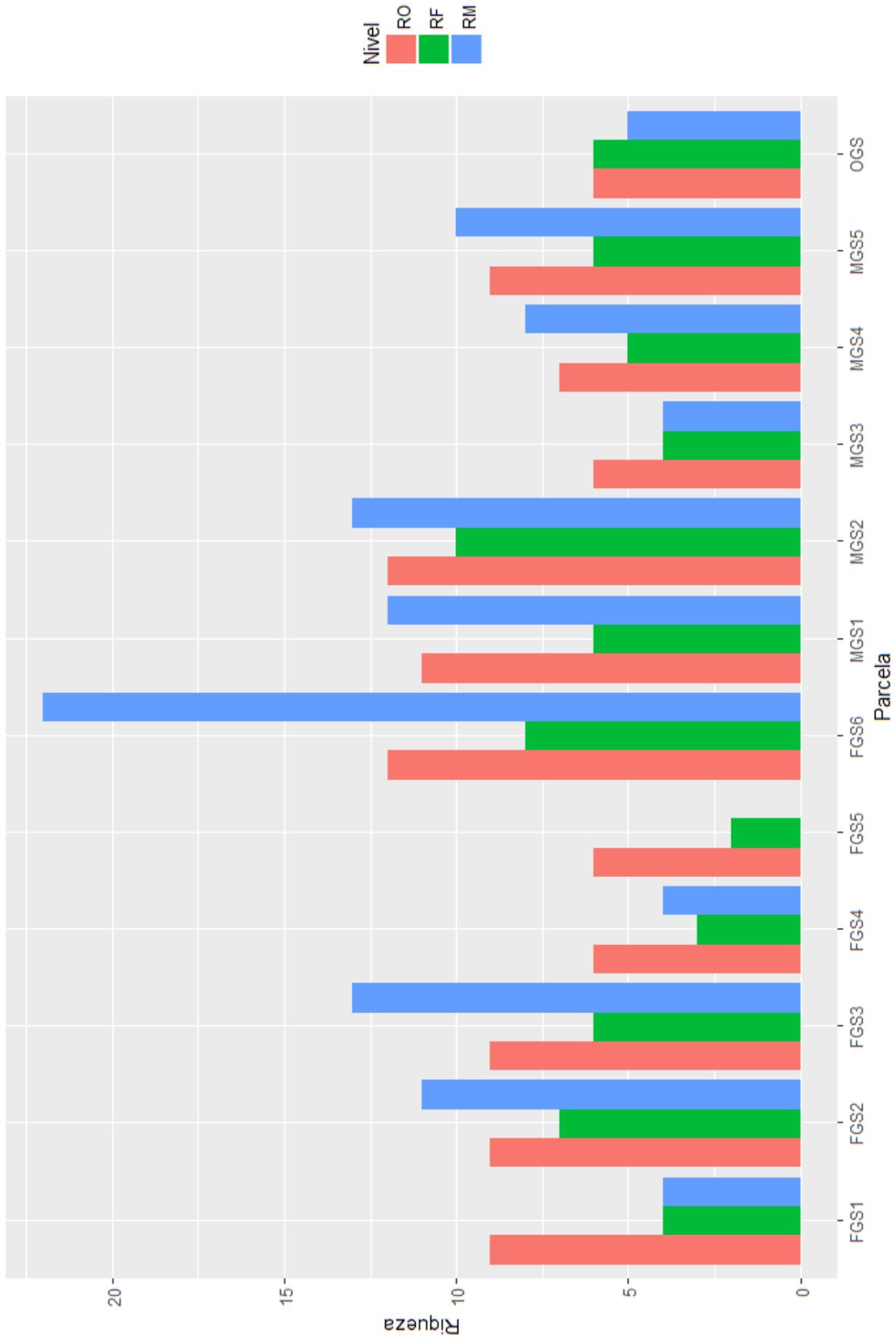


Figura 10. Riqueza a nivel orden (RO), familia (RF) y morfoespecies (RM) en Guarapo, Guanajuato.

### III. Índices de riqueza y diversidad de artrópodo-fauna

Se realizó el cálculo de la riqueza absoluta, el índice de Chao1 y el índice de Shannon para las categorías taxonómicas de orden y familia, mientras que para el nivel de morfoespecies se calculó únicamente la riqueza absoluta. Estos valores se usaron posteriormente para realizar los análisis de agrupamiento (PCA).

**Tabla 8. Índices de riqueza y diversidad estimados para los tres niveles taxonómicos considerados (orden, familia y morfoespecie)**

Parcela	Riqueza absoluta (orden)	Chao1 (Orden)	Shannon (Orden)	Riqueza absoluta (Familia)	Chao1 (Familia)	Shannon (Familia)	Riqueza absoluta (morfoespecies)
MGN1	11	17	0.64	6	6	2.29	3
MGN2	12	12	0.76	8	3	2.93	7
MGN3	9	14	0.88	7	5	2.42	5
MGN4	12	12	1.85	8	6	2.39	7
MGN5	11	11	1.2	13	30	2.28	11
FGN1	8	8	0.69	4	3	2.69	2
FGN2	12	12	1.21	16	17	2.32	7
FGN3	7	7	1.03	8	5	2.22	4
FGN4	11	17	1.7	10	4	2.22	7
OGN	11	11	0.72	8	2	2.56	7

**Tabla 9. Índices de riqueza y diversidad estimados para los tres niveles taxonómicos considerados (orden, familia y morfoespecie)**

Parcela	Riqueza absoluta (Orden)	Chao1 (Orden)	Shannon (Orden)	Riqueza absoluta (Familia)	Chao1 (Familia)	Shannon (Familia)	Riqueza absoluta (morfoespecies)
MGS1	11	21	1.78	6	5	2.48	12
MGS2	12	12	1.74	10	16	2.34	13
MGS3	6	6	1.64	4	4	2.95	4
MGS4	7	7	1.53	5	2	2.23	8
MGS5	9	9	1.81	6	2	2.28	10
FGS1	9	9	2.01	4	4	2.74	4
FGS2	9	12	1.41	7	4	2.4	11
FGS3	9	9	1.61	6	3	2.83	13
FGS4	6	7	1.53	3	2	2.63	4
FGS5	6	12	1.64	2	0	2	0
FGS6	12	15	1.97	8	9	2.42	22
OGS	6	6	1.56	6	3	2.9	5

Por otra parte, la comparación de la diversidad entre parcelas y regiones se realizó haciendo un análisis de perfiles de Renyi con ayuda de la paquetería BiodiversityR en el software R. Los perfiles se construyeron usando los datos obtenidos para los niveles taxonómicos de orden y familia.

Se construyeron 12 gráficas en total. Las primeras dos (figuras 11 y 12) muestran los perfiles de Renyi a nivel de orden para ambos cultivos, la primera corresponde a San Felipe y la segunda pertenece a Guarapo. Las siguientes (figuras 13 y 14) muestran los perfiles para el nivel de familia, cada una perteneciente a una ecorregión y con ambos cultivos. Las figuras 15 y 16 muestran los perfiles a nivel de orden en San Felipe, la primera lo hace para el cultivo de maíz, mientras que la segunda corresponde al frijol. Lo mismo se muestra en los perfiles de las figuras 17 y 18, que pertenecen a la ecorregión sur, Guarapo. Finalmente, las figuras 19 a 22 muestran los perfiles a nivel de familia, al igual que las anteriores, para cada cultivo dentro de cada ecorregión. En todos los análisis se excluyó al sitio de vegetación primaria de cada ecorregión.

Perfiles por ecorregión de ambos cultivos a nivel de orden. San Felipe (Guanajuato norte) y guarapo (Guanajuato sur)

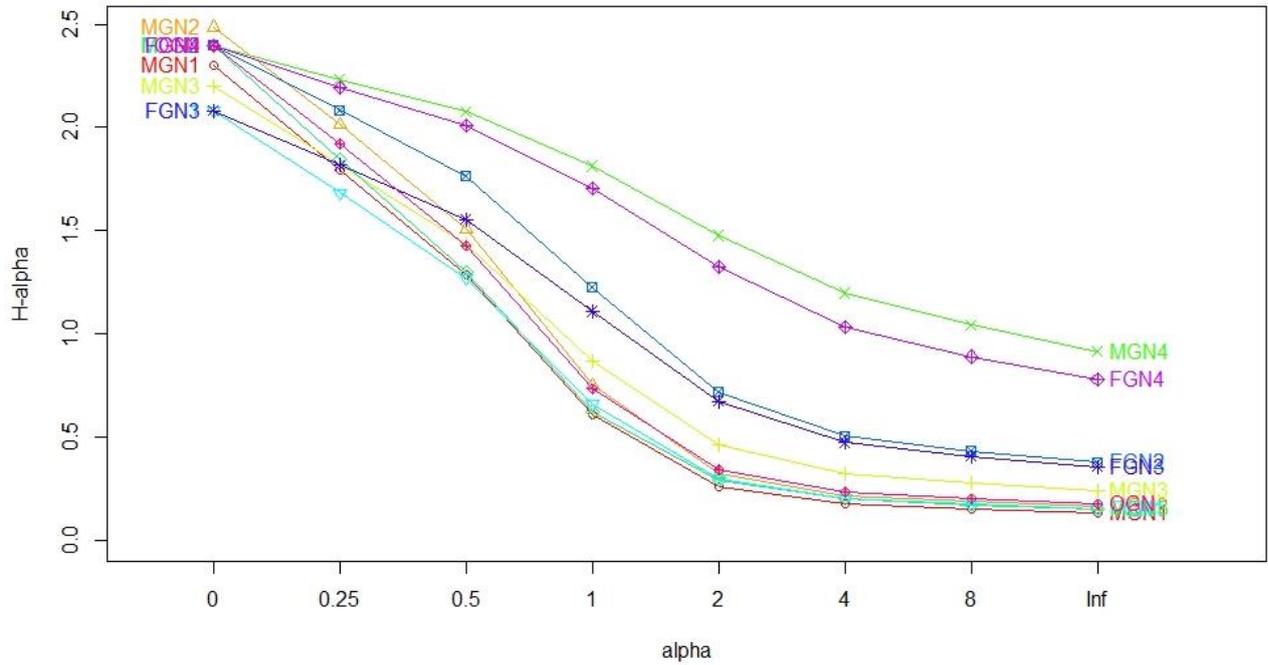


Figura 11. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en los cultivos de maíz y frijol en San Felipe (Guanajuato Norte)

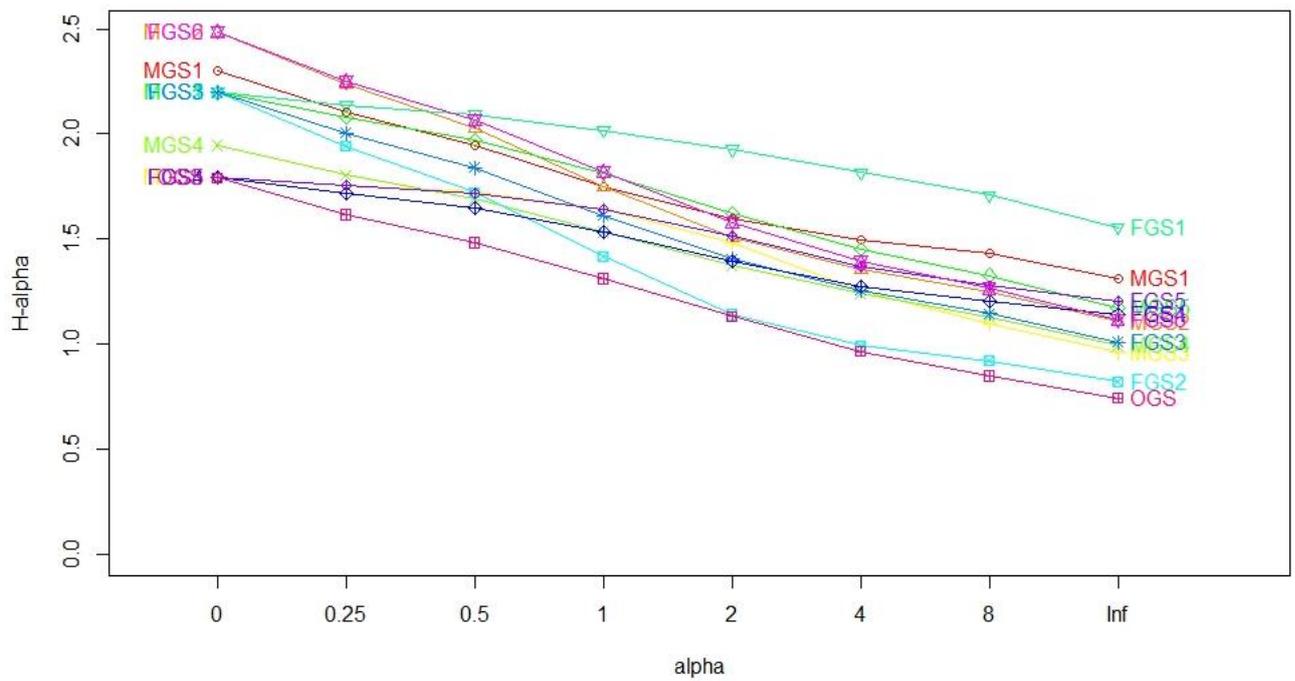


Figura 12. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en los cultivos de maíz y frijol en Guarapo (Guanajuato Sur)

Perfiles por ecorregión de ambos cultivos a nivel de familia. San Felipe (Guanajuato norte) y Guarapo (Guanajuato sur)

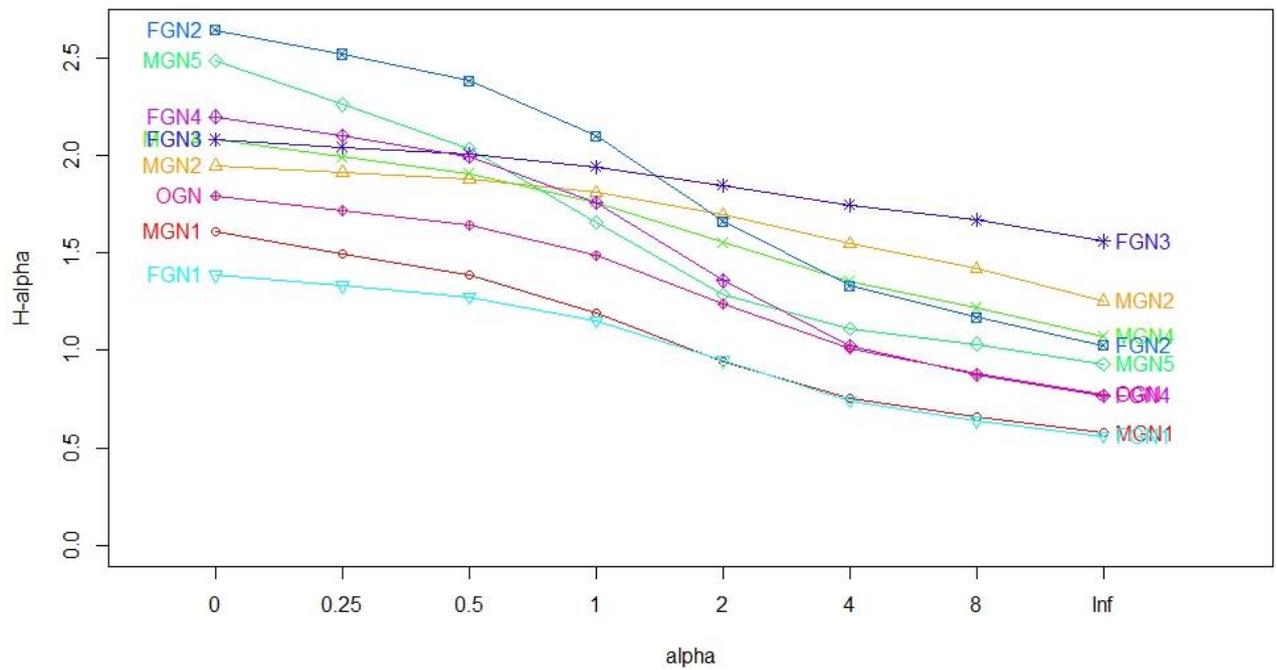


Figura 13. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de maíz y frijol en San Felipe (Guanajuato Norte)

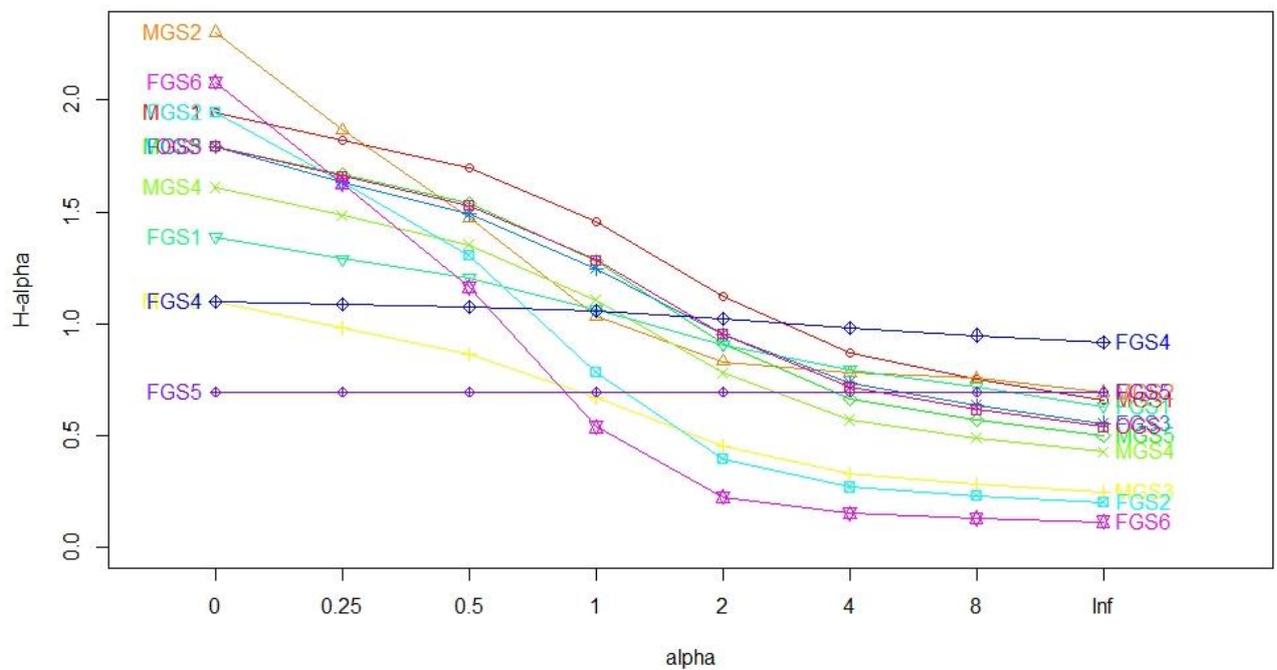


Figura 14. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de maíz y frijol en Guarapo (Guanajuato Sur)

Perfiles por ecorregión y cultivo a nivel de orden. San Felipe (Guanajuato norte)

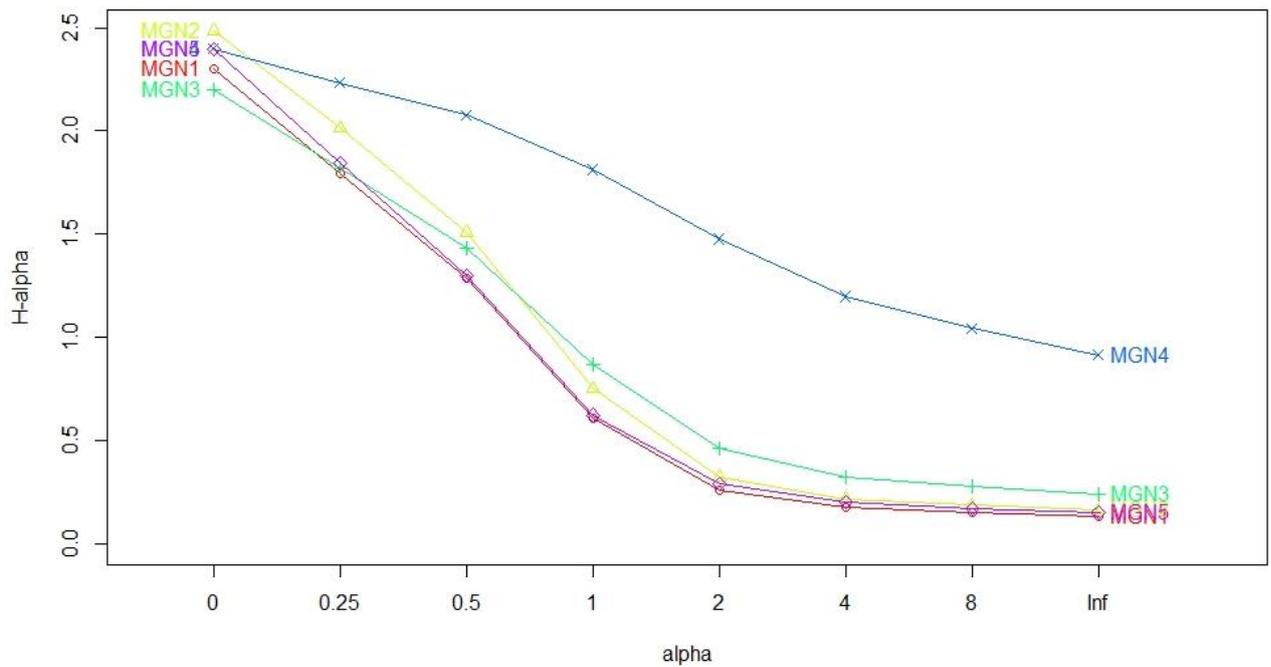


Figura 15. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en las parcelas de maíz en San Felipe (Guanajuato Norte)

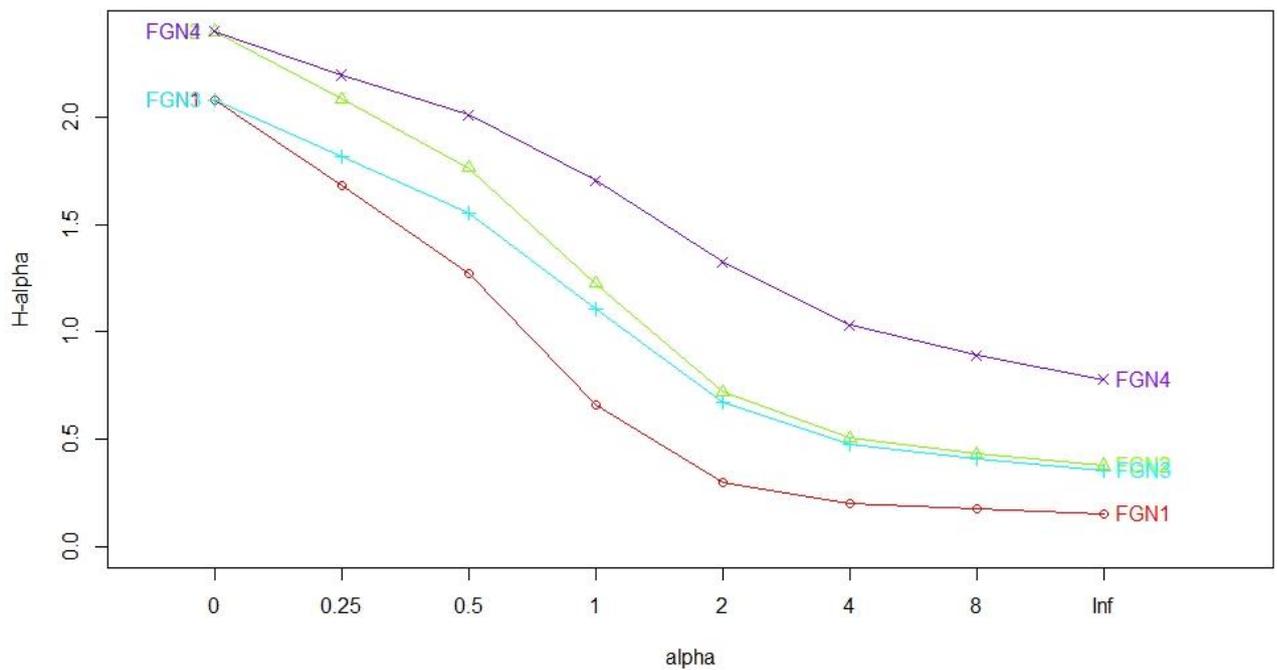


Figura 16. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en las parcelas de frijol en San Felipe (Guanajuato Norte)

Perfiles por ecorregión y cultivo a nivel de orden. Guarapo (Guanajuato sur)

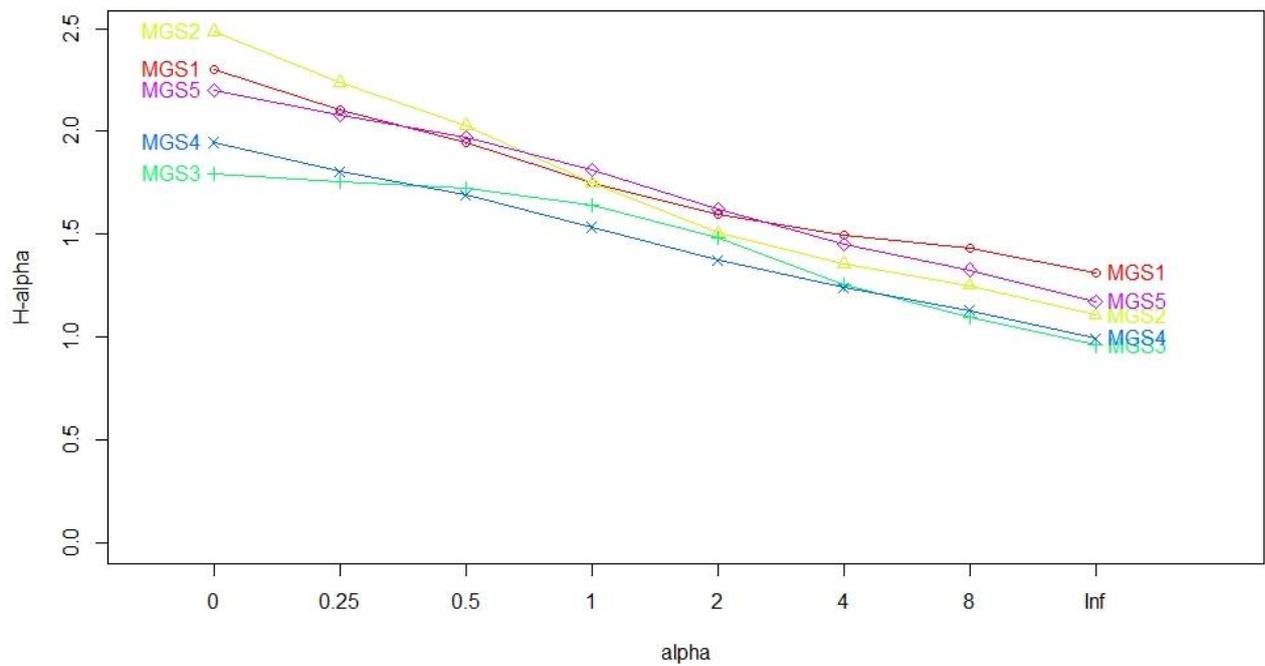


Figura 17. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en las parcelas de maíz en Guarapo (Guanajuato Sur)

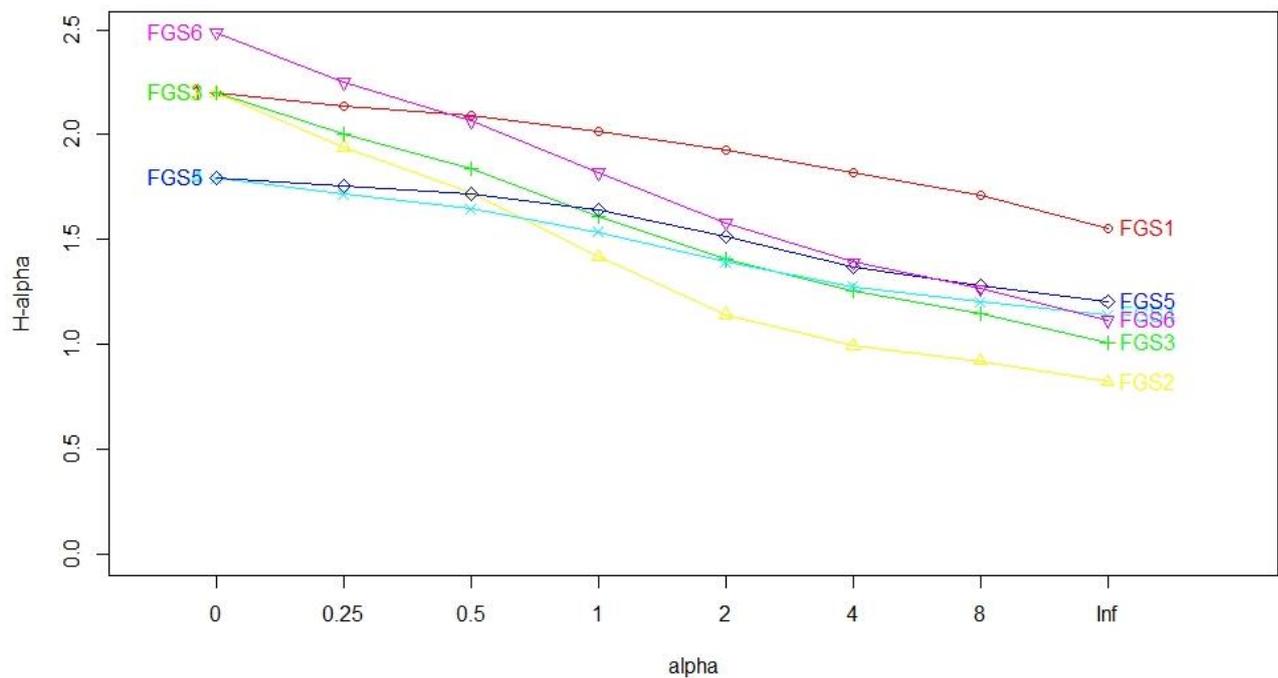


Figura 18. Perfiles de Renyi de la diversidad de órdenes en las parcelas de frijol en Guarapo (Guanajuato Sur)

Perfiles por ecorregión y cultivo a nivel de familia. San Felipe (Guanajuato norte)

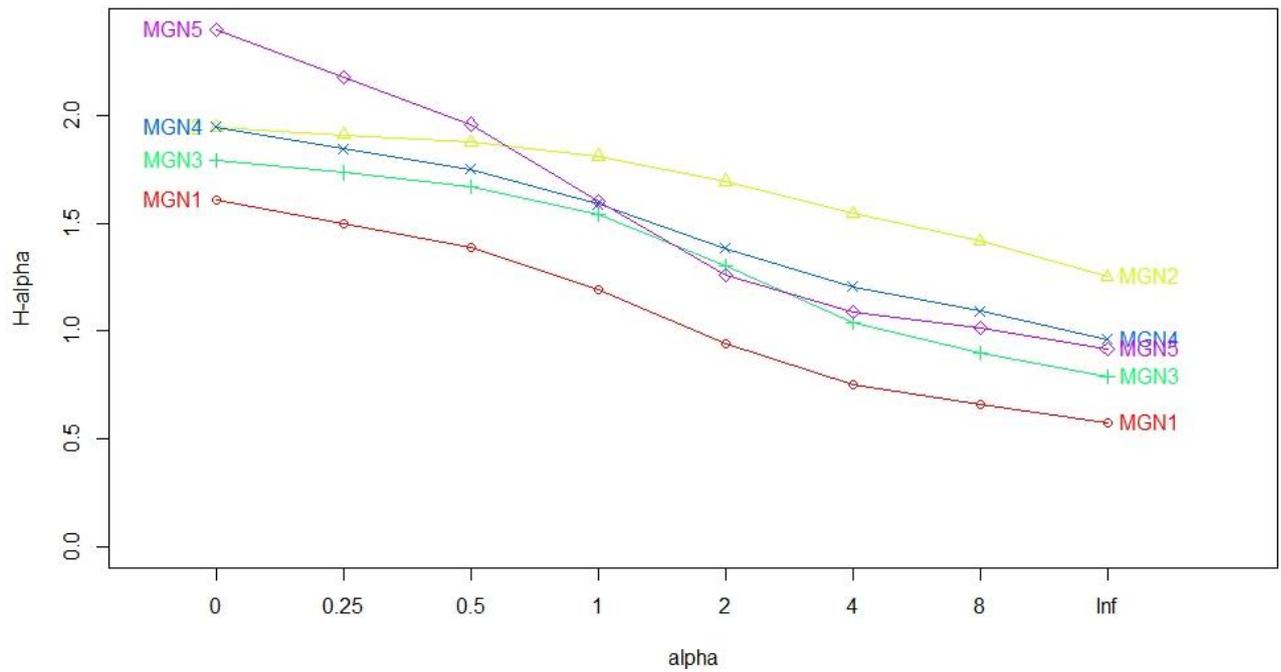


Figura 19. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de maíz en San Felipe (Guanajuato Norte)

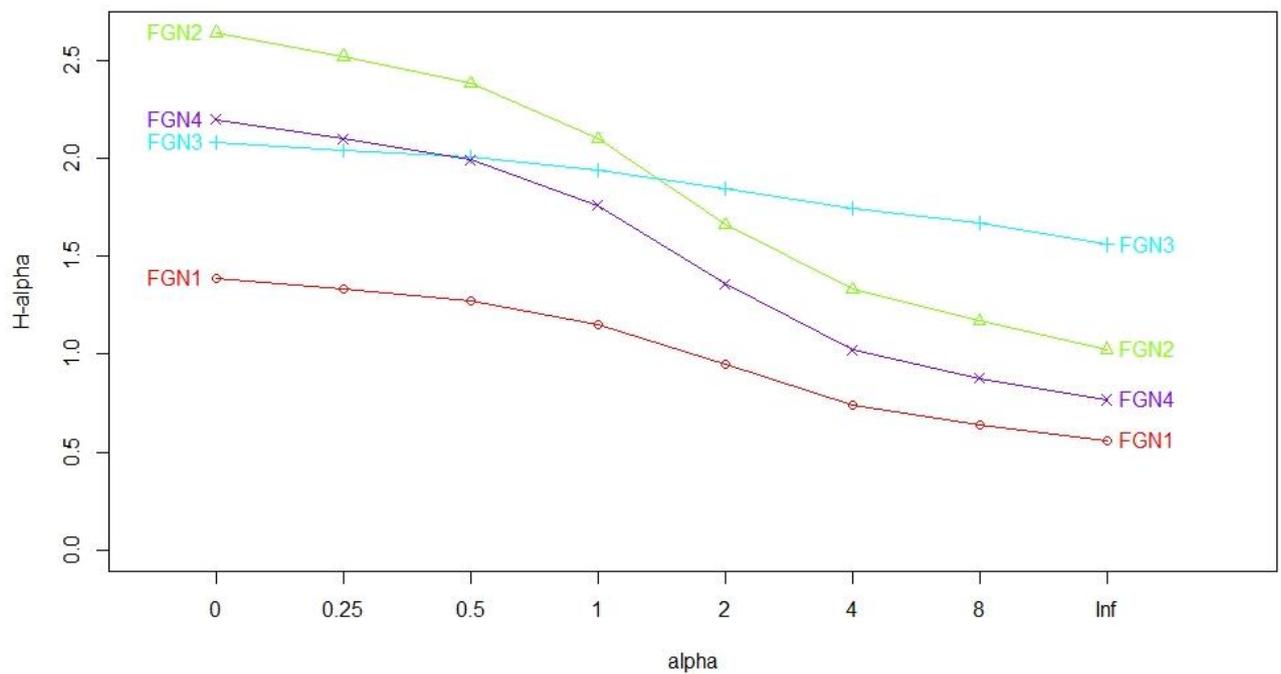


Figura 20. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de frijol en San Felipe (Guanajuato Norte)

Perfiles por ecorregión y cultivo a nivel de familia. Guarapo (Guanajuato sur)

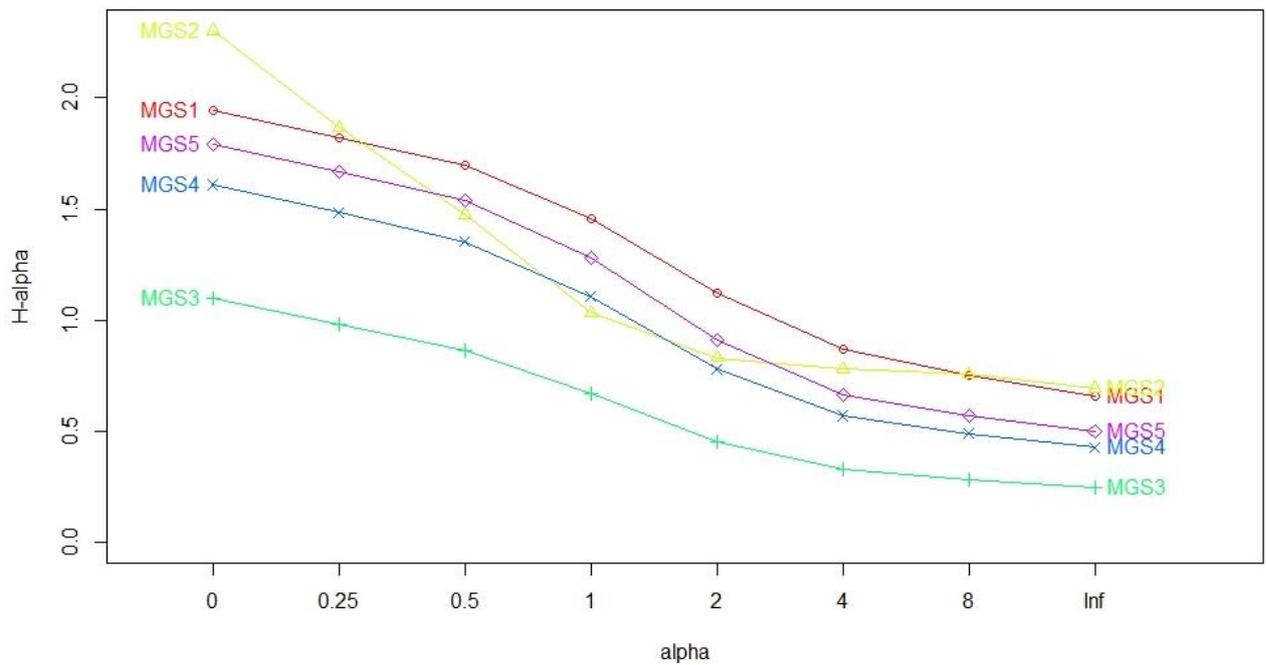


Figura 21. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de maíz en Guarapo (Guanajuato Sur)

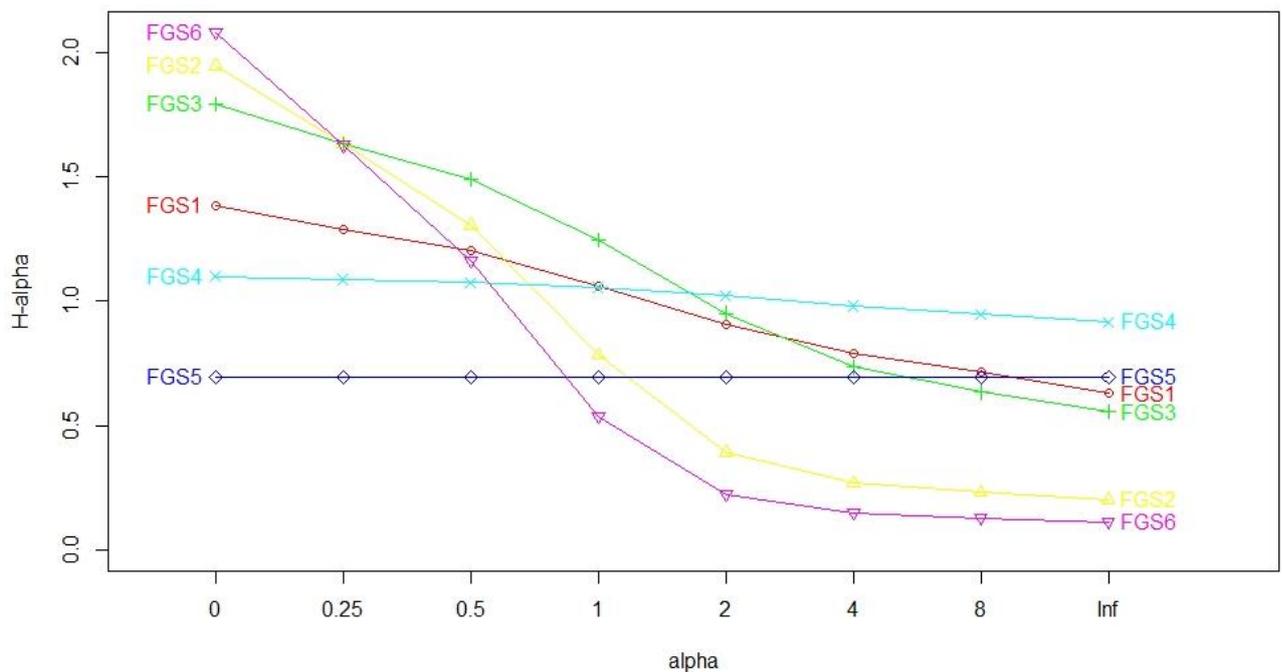


Figura 22. Perfiles de Renyi de la diversidad de familias de los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera en los cultivos de frijol en Guarapo (Guanajuato Sur)

#### IV. Análisis de agrupamiento para la exploración de relaciones estadísticas entre la comunidad de artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y las variables físico-químicas del suelo

A continuación, se muestran los análisis de componentes principales (PCA) que se realizaron con el objetivo de identificar variables con las cuales trabajar en los análisis posteriores, reduciendo la dimensionalidad del espacio de las mismas en este trabajo (tanto exclusivas del suelo como de la comunidad de artrópodos). Además, la ejecución de este análisis buscó aportar una visualización de la agrupación de las parcelas de acuerdo a las distintas variables medidas.

##### a. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de orden

Los PCA que se muestran en las figuras 23 y 24 se construyeron usando los datos de abundancia de tres órdenes: Coleoptera, Hymenoptera y Orthoptera. El primero contiene los datos para las parcelas de maíz en ambas ecorregiones, el segundo lo hace para el frijol. Debido a que los análisis de PCA son sensibles a las bases de datos con muchos ceros (ter Braak y Smilauer, 2015) se decidió omitir a la mayoría de los órdenes puesto que presentaban muchas ausencias en una u otra región, quedando en el PCA únicamente los órdenes que se identificaron hasta familia (Coleoptera, Hemiptera y Orthoptera). Se agregaron, además, los datos de riqueza para el total de órdenes encontrados, así como el índice de Chao1 y el de Shannon calculados para cada parcela. También se añadieron los datos de diversidad (medida como índice de Shannon) y riqueza (representada por el índice de Chao1) de la comunidad de microorganismos encontrados en las muestras tomadas de las parcelas. Asimismo, el análisis contempla variables de suelo (promedio de humedad, promedio de materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo y la cantidad de arcillas, limos y arenas y pH).

Para el PCA de la figura 23, el primer componente del PCA aporta un 32% de la variación, mientras que el segundo lo hace en un 17%. Las variables que más contribuyen al primer componente son el porcentaje de arcilla, el promedio de humedad y la cantidad de materia

orgánica. Para el segundo componente, las variables que más aportaron fueron la riqueza de órdenes de artrópodos, el pH y la abundancia de Orthoptera.

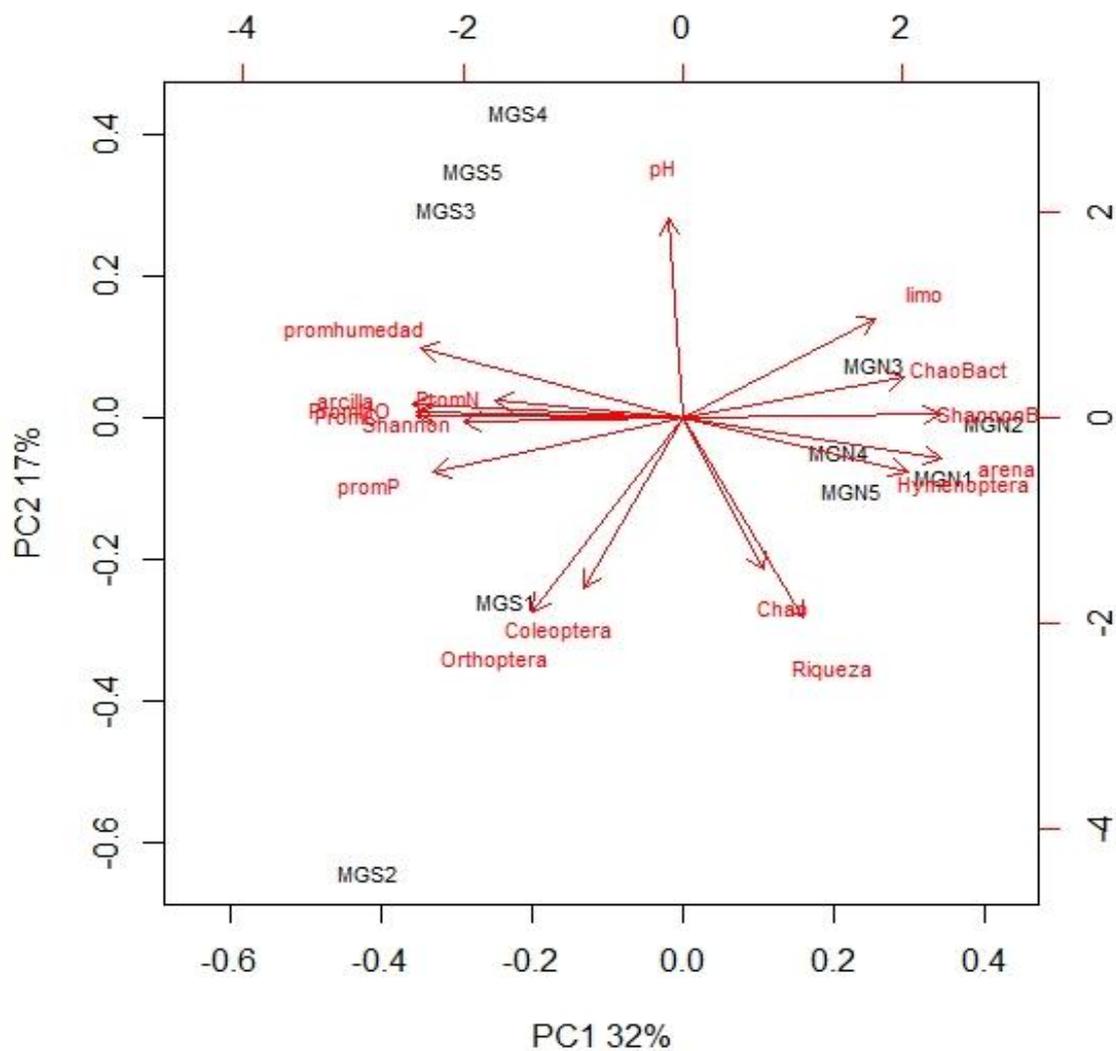


Figura 23. Análisis de componentes principales de los tres órdenes de artrópodos más abundantes (Coleoptera, Hymenoptera y Orthoptera), así como de diversidad de artrópodos y bacterias en parcelas de maíz de ambas ecorregiones (n=21). La variación explicada por ambos componentes es del 49%

Por su parte, en el PCA de parcelas de frijol (figura 24) se tiene que el primer componente explica un 29% de la variación y el segundo lo hace en un 18%. Las variables que más aportan al primer componente son la cantidad de arcilla, de arenas, el promedio de humedad y el promedio de materia orgánica. Para el segundo componente, las variables que más aportan son el promedio de fósforo, la abundancia de coléoptera y la riqueza de órdenes

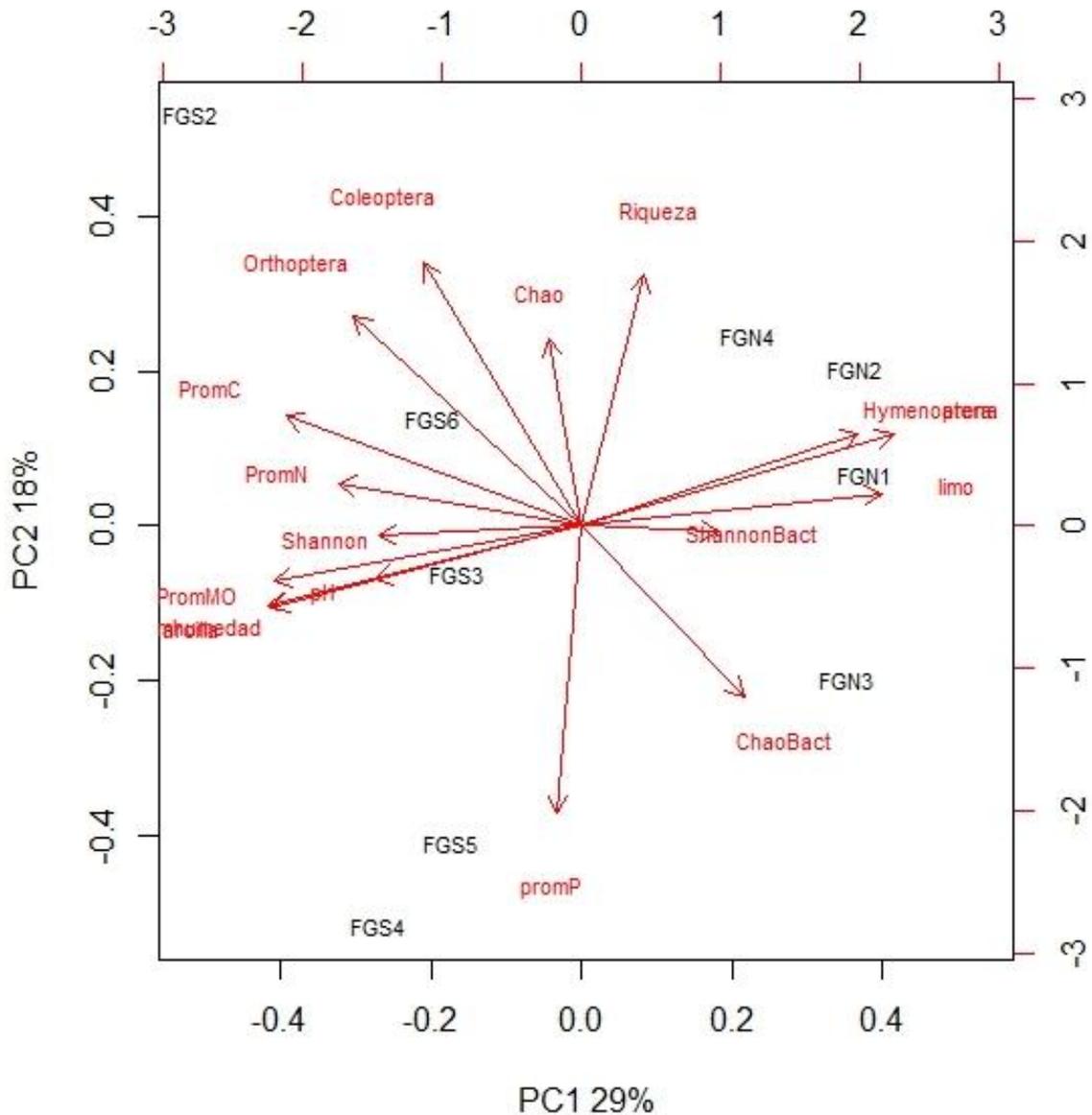


Figura 24. Análisis de componentes principales de los tres órdenes de artrópodos más abundantes (Coleoptera, Hymenoptera y Orthoptera), así como de diversidad de artrópodos y bacterias en parcelas de frijol de ambas ecorregiones (n=21). La variación explicada por ambos componentes es del 47%

b. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de familia

Las figuras 25 y 26 muestran los PCA de los datos de abundancia de cuatro familias de coleópteros (Anthicidae, Nitidulidae, Scarabaeidae y Staphylinidae), junto con los mismos

parámetros de suelo que se usaron para los PCA anteriores. La figura 24 muestra el PCA de las parcelas de maíz para ambas ecorregiones, la 25 lo hace para las parcelas de frijol. Las familias con las que se realizó este análisis se escogieron en función del número de parcelas en las que estuvieron presentes. Su presencia en la mayoría de los sitios muestreados puede observarse en las figuras 5 y 6. Asimismo se añadieron los datos de diversidad y riqueza (índice de Shannon e índice de Chao) calculados para el nivel de familia de artrópodo-fauna y para la comunidad bacteriana.

Para el PCA del cultivo de maíz, el primer componente del PCA aporta un 29% de la variación, mientras que el segundo lo hace en un 17%. Las variables que aportan más al primer componente son la cantidad de arenas, la cantidad de arcillas, el promedio de carbono, el promedio de materia orgánica y el promedio de humedad. Para el segundo componente, la variable de riqueza de familias aporta considerablemente, seguida por el índice de Chao1 y finalmente por la abundancia de la familia Anthicidae.

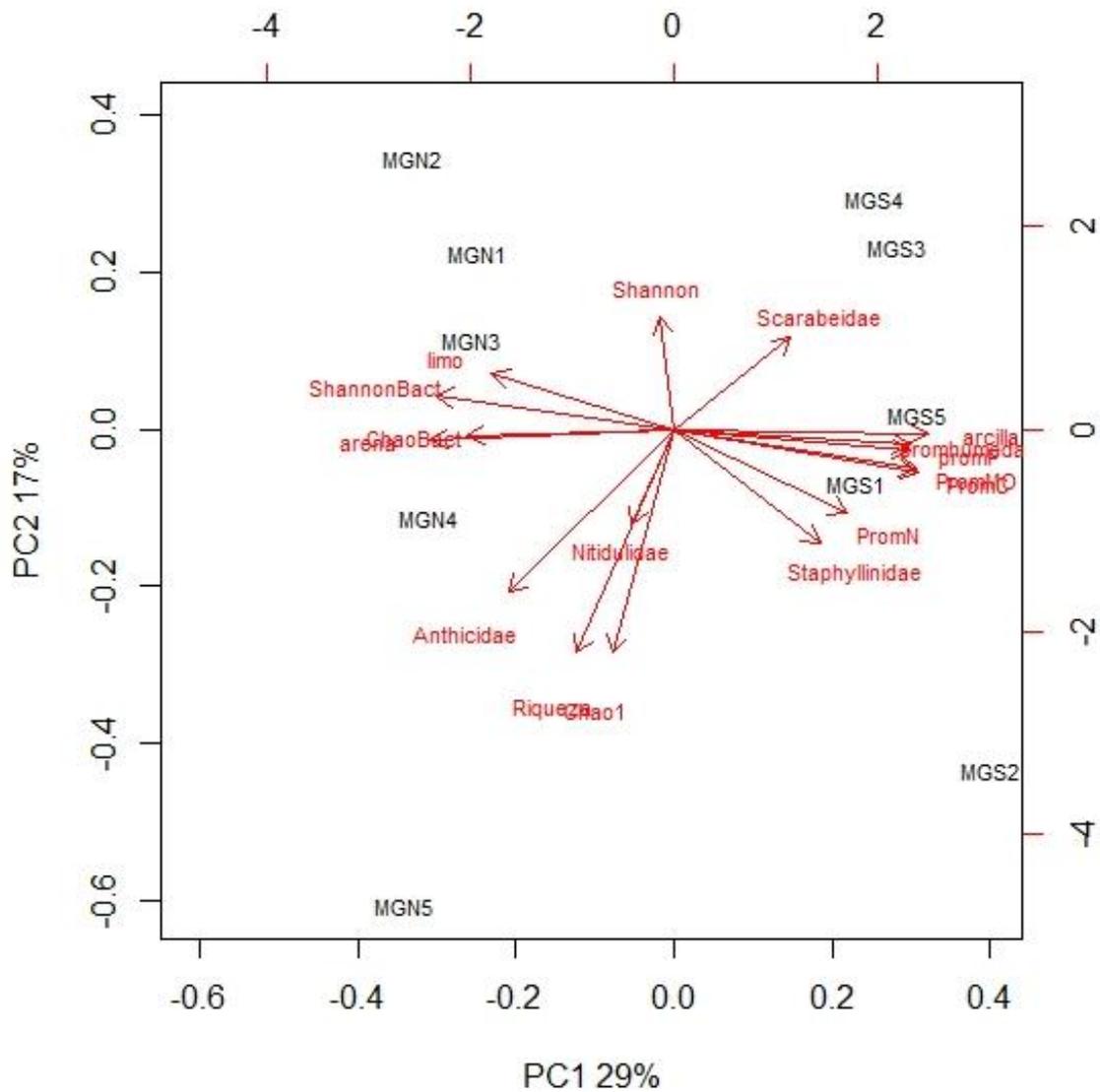


Figura 25. Análisis de componentes principales de cuatro familias de artrópodos pertenecientes al orden Coleoptera (Nitidulidae, Staphylinidae, Anthicidae y Scarabaeidae) en los cultivos de maíz de ambas ecorregiones. La variación explicada por ambos componentes es del 46% (n=21).

Por otra parte, para el PCA asociado a los datos de familias para el cultivo de frijol en ambas ecorregiones, el primer componente explica 27% de la variación, mientras que el segundo lo hace en un 17%. Las variables que más aportan al primer componente son la cantidad de arcilla, el promedio de humedad y la cantidad de limo. Para el segundo componente, las variables con mayor aporte son la riqueza de familias, el índice de Chao1 y la abundancia de Staphylinidae.

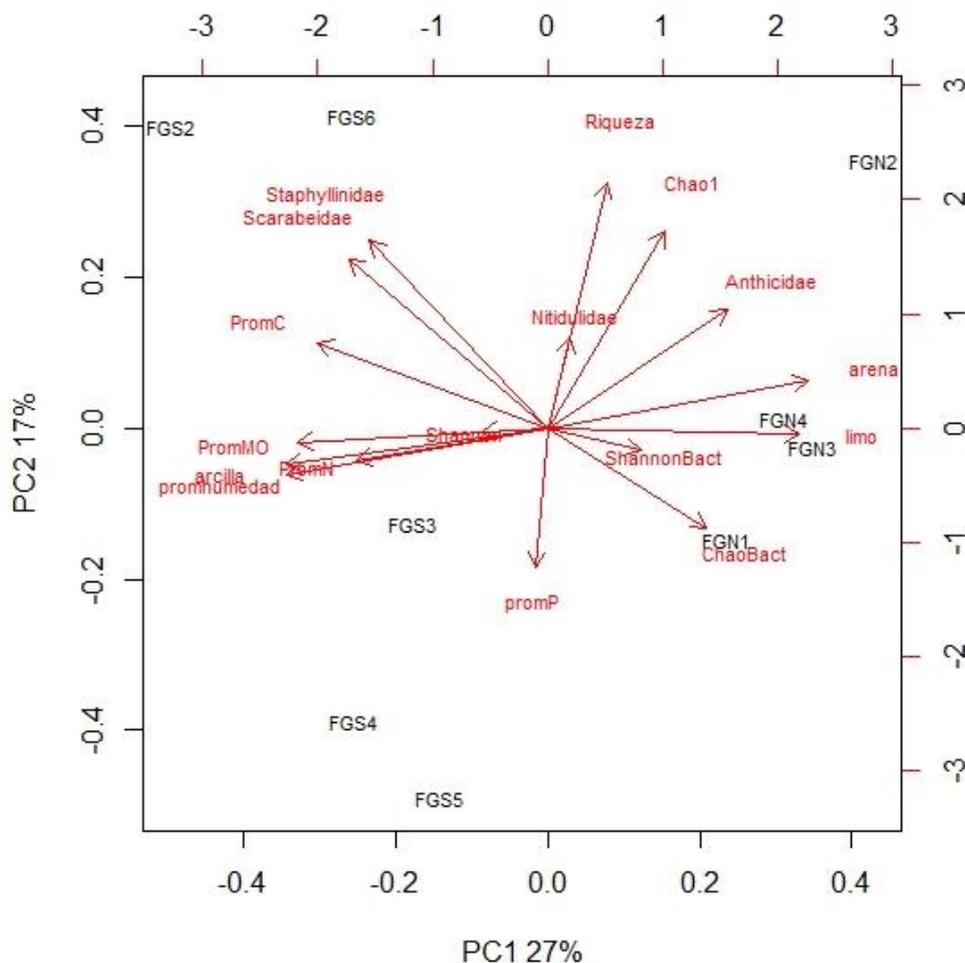


Figura 26. Análisis de componentes principales de cuatro familias de artrópodos pertenecientes al orden Coleóptera (Nitidulidae, Staphylinidae, Anthicidae y Scarabaeidae) en los cultivos de frijol de ambas ecorregiones. La variación explicada por ambos componentes es del 44% (n=21).

### c. Análisis de agrupamiento de parámetros fisicoquímicos del suelo

Se realizaron dos PCA exclusivamente sobre características fisicoquímicas del suelo, uno por cada cultivo (figuras 27 y 28). Se hizo uso de los datos obtenidos por el equipo encargado de la evaluación de parámetros exclusivos del suelo (promedio de humedad, promedio de

materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo y la cantidad de arcillas, limos y arenas y pH). Este análisis tenía el objetivo de explorar la agrupación de nuestras muestras respecto a variables fisicoquímicas de suelo, así como explorar la posibilidad de usar uno de los componentes principales como un valor sintético que hable del tipo o calidad de suelo.

La figura 27 muestra la gráfica de los dos primeros componentes del análisis de PCA para el cultivo de maíz de ambas ecorregiones. El primer componente explica el 44% de la variación, mientras que el segundo componente lo hace con un 18%. Las variables que más aportaron al primer componente son el pH, la cantidad de arcillas, el promedio de carbono, el promedio de materia orgánica y el promedio de humedad. Para el segundo componente, las variables con mayor aporte son el pH y la cantidad de limo. En la figura 27 es posible distinguir la separación de las parcelas en función de la ecorregión a la que pertenecen. Esto es, de lado derecho, en la dirección positiva del primer componente, se observan las parcelas pertenecientes a la región norte (San Felipe). En la parte izquierda de la gráfica, en la dirección negativa del primer componente, se encuentran las parcelas ubicadas en la región sur (Guarapo).

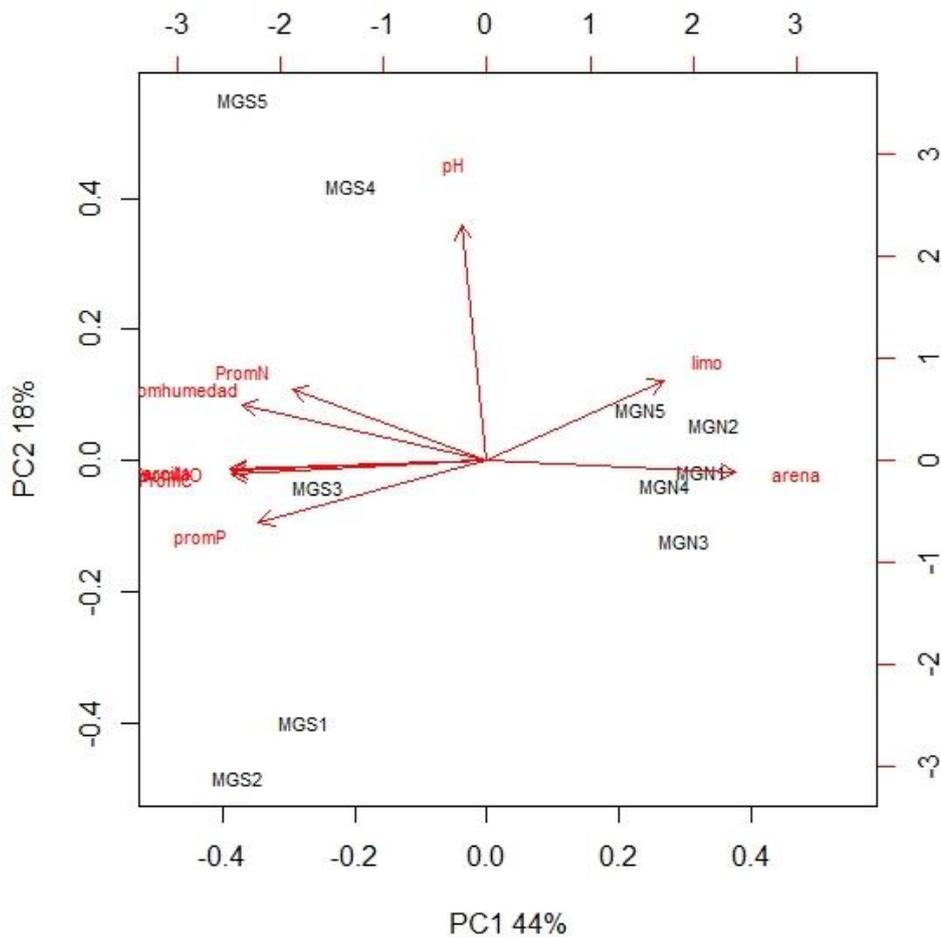


Figura 27. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables fisicoquímicas de suelo para el cultivo de maíz de ambas ecorregiones (n=21). La variación explicada por ambos componentes es del 62%

Por su parte, la figura 28 muestra los dos primeros componentes del análisis de PCA para el cultivo de frijol de ambas ecorregiones. El primer componente explica el 42% de la variación, mientras que el segundo componente lo hace con un 19%. Las variables que más aportan al primer componente son la cantidad de arcillas, la cantidad de arenas, la cantidad de limo y el promedio de materia orgánica. Para el segundo componente, las variables con mayor aporte son el promedio de fósforo y el promedio de carbono. La figura 28 muestra una clara separación entre las parcelas de frijol de cada región. En el lado derecho, en la dirección positiva del primer componente, se observan las parcelas pertenecientes a la región norte (San Felipe). En la parte izquierda, en la dirección negativa del primer componente, se encuentran las parcelas ubicadas en la región sur (Guarapo).

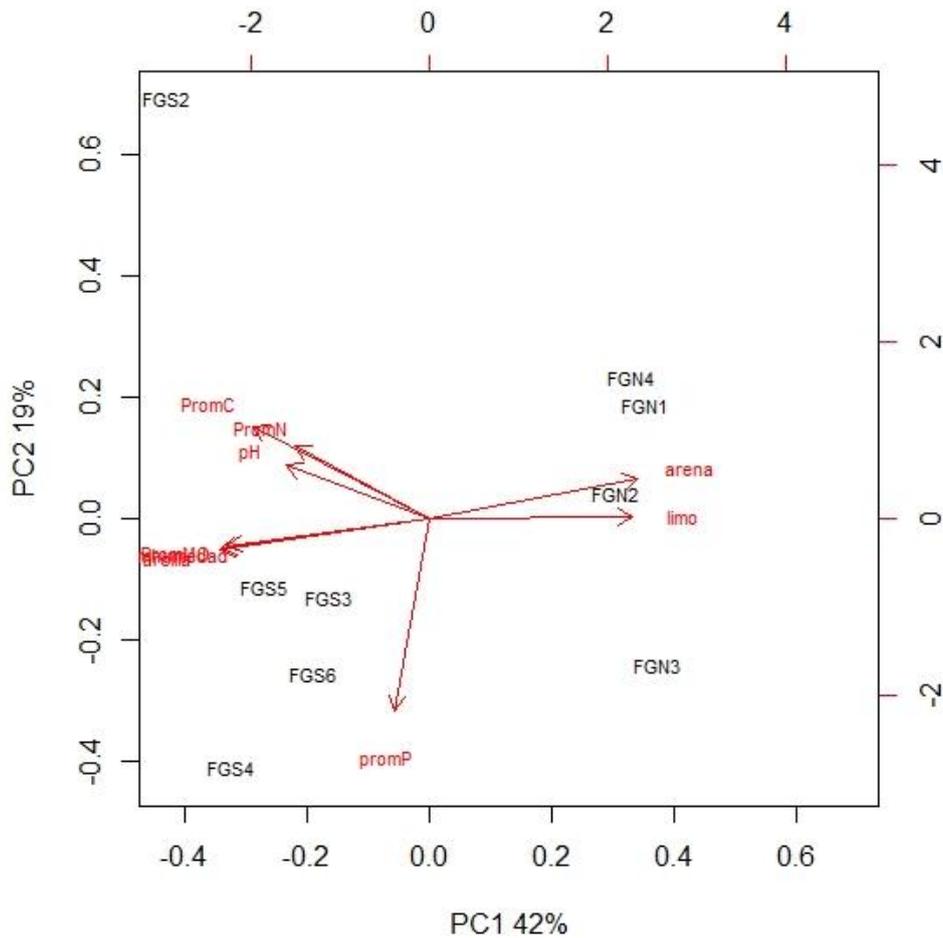


Figura 28. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables fisicoquímicas de suelo (n=21) para el cultivo de frijol de ambas ecorregiones. La variación explicada por ambos componentes es del 61%

Las variables que más aportan al primer componente de ambos PCA están asociadas al pH, a la cantidad de arenas y a la cantidad de arcillas, es decir, al tipo de suelo. Este primer componente sugiere una agrupación de las parcelas por ecorregión, según el tipo de suelo. En este sentido, el primer componente resulta útil para realizar la exploración de las correlaciones entre la comunidad de artrópodo-fauna, la de bacterias y el tipo de suelo.

## V. Exploración de relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas de suelo a través de análisis de correlaciones

A partir del panorama general que aportan los perfiles de Renyi de las comunidades y los PCA y con el fin de explorar posibles relaciones entre la comunidad bacteriana, los parámetros fisicoquímicos del suelo y la estructura de la comunidad de macroartrópodos, se realizaron análisis de correlaciones usando el método de Spearman. Este método se eligió por la naturaleza de los datos, que no presentan una distribución normal. Posteriormente, a las correlaciones se les aplicó la prueba de Bonferroni, para minimizar el error derivado de realizar varias pruebas simultáneamente. El procedimiento se realizó para las dos zonas que comprende este estudio.

### a. Región de San Felipe (Guanajuato norte)

Para las correlaciones de esta región se hizo uso de parámetros fisicoquímicos del suelo (promedios de humedad, carbono, nitrógeno, fósforo y materia orgánica, cantidades de arcilla, limo y arena, pedregosidad, la densidad aparente, el pH y la capacidad máxima de retención de agua). Para los artrópodos se usaron los datos de riqueza, diversidad (índice de Shannon) y el índice de Chao 1, todos medidos para los niveles de orden y familia. Además, también se incluyeron en las correlaciones las abundancias de los órdenes Orthoptera, Coleoptera e Hymenoptera, así como las abundancias de las familias Anthicidae y Nitidulidae; sin embargo, se omitió la abundancia de la familia Scarabaeidae, ya que este grupo no apareció en ninguna parcela de la zona norte. Por último, se agregaron el índice de Chao1 y de Shannon estimados para la comunidad bacteriana. En la figura 29 se presenta una matriz de correlaciones de los datos anteriormente descritos.

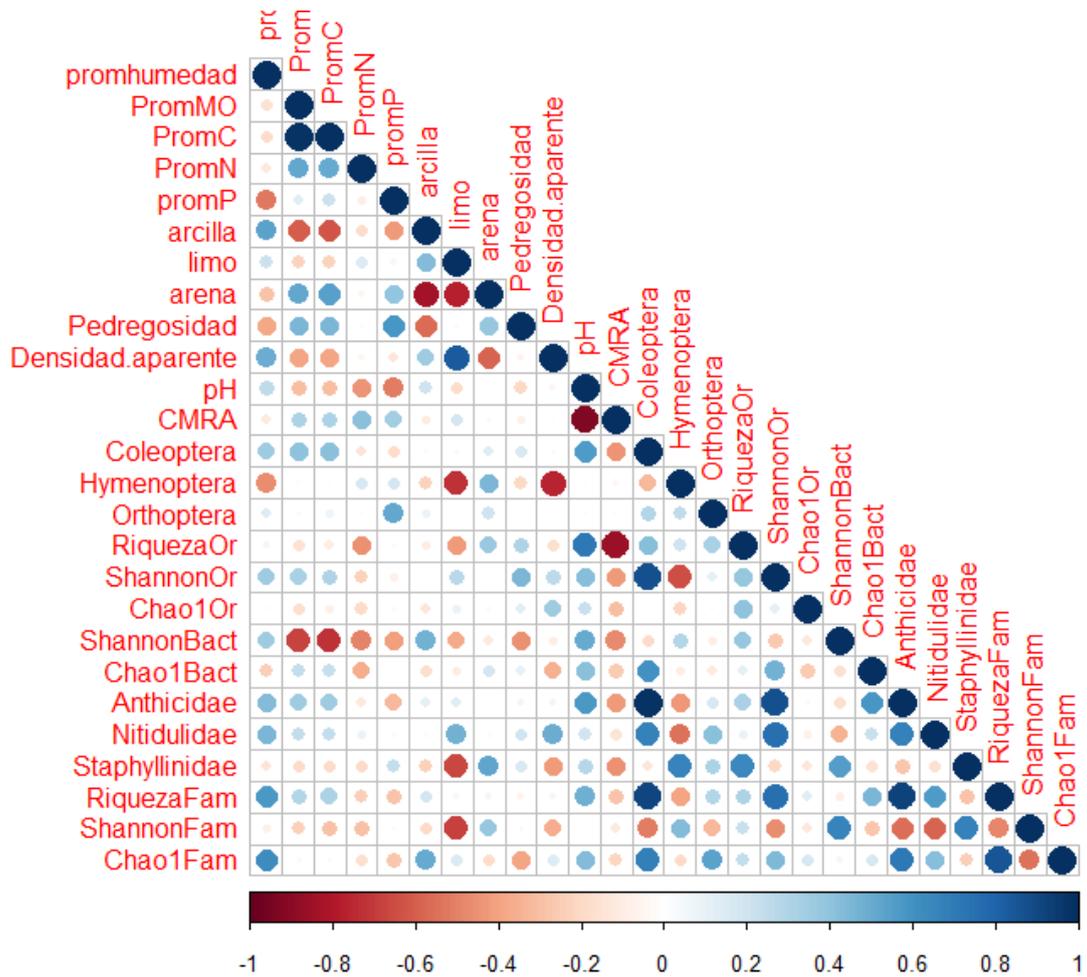


Figura 29. Matriz de correlaciones para la región de San Felipe, Guanajuato, que incluye datos sobre parámetros fisicoquímicos del suelo, así como de la comunidad de bacterias y artrópodos.

En la siguiente tabla se enlistan las correlaciones significativas según la corrección de Bonferroni. Se tomaron en cuenta, además, las correlaciones que tuvieran un valor de Ro mayor a 0.7, así como que mostraran una relación entre las comunidades biológicas (bacterias y/o artrópodos) y parámetros fisicoquímicos del suelo.

<b>Tabla 10. Correlaciones (Spearman, <math>p &lt; 0.0019</math>) y valores de <math>R_o</math> para los cultivos de maíz y frijol en San Felipe, Guanajuato</b>	
<b>Correlaciones significativas</b>	<b><math>R_o</math></b>
CMRA - Riqueza de órdenes)	-0.85
Densidad aparente - Hymenoptera	-0.76
Limo - Hymenoptera	-0.72
promC - Shannon Bacterias	-0.72

b. Región de Guarapo (Guanajuato sur)

Al igual que para la región norte, se realizó una matriz de correlaciones de los datos obtenidos para Guarapo. Para probar las correlaciones en esta región se usaron parámetros medidos para el suelo: promedios de humedad, carbono, nitrógeno, fósforo y materia orgánica, cantidades de arcilla, limo y arena, pedregosidad, la densidad aparente, el pH y la capacidad máxima de retención de agua. En cuanto a los parámetros biológicos se utilizaron los índices de diversidad (índice de Shannon) y de Chao tanto para artrópodos como para bacterias. También, se usó la riqueza de artrópodo-fauna medida para orden y familia, así como la abundancia de los órdenes Coleoptera, Hymenoptera y Orthoptera y las abundancias de las familias Anthicidae (excepto para el maíz, porque esa familia no se encontraba presente), Nitidulidae, Scarabaeidae y Staphylinidae. Las familias fueron elegidas en función de su presencia en las parcelas (figuras 5 y 6) y por los procesos ecológicos del suelo a los que se les asocia en diversos estudios (Ruiz y Lavelle, 2008; Botinelli et al., 2015; Bagyaraj et al., 2016; Pompeo et al., 2017; González, 2018). La matriz de correlaciones puede observarse en la figura 30.

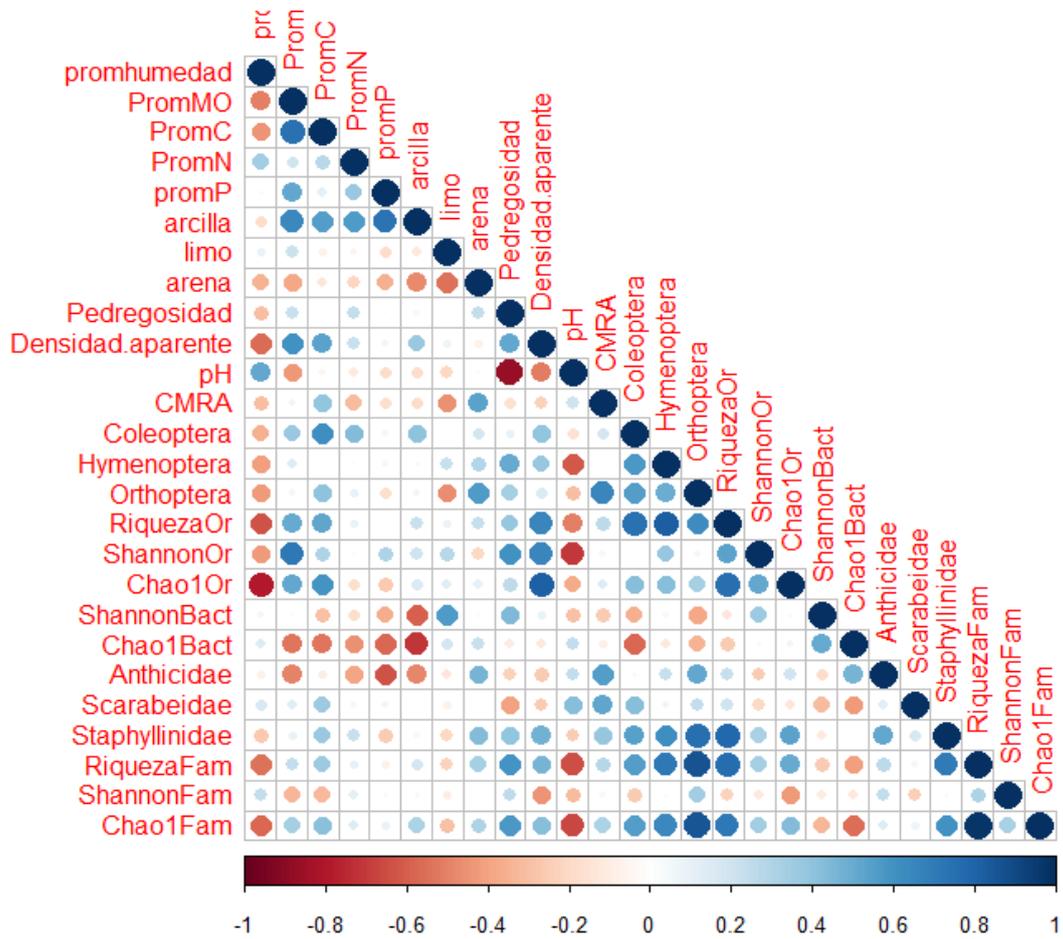


Figura 30. Matriz de correlaciones para la región de Guarapo, Guanajuato, que incluye parámetros fisicoquímicos del suelo y de la comunidad de artrópodos y bacterias de suelo

En la siguiente tabla se enlistan las correlaciones significativas según la corrección de Bonferroni. Se tomaron en cuenta, además, las correlaciones que tuvieran un valor de Ro mayor a 0.7, así como que mostraran una relación entre las comunidades biológicas (bacterias y/o artrópodos) y parámetros fisicoquímicos del suelo.

**Tabla 11. Correlaciones (Spearman,  $p > 0.0019$ ) y valores de  $R_o$  para los cultivos de maíz y frijol en Guarapo, Guanajuato**

<b>Correlaciones significativas</b>	<b><math>R_o</math></b>
Densidad aparente vs índice de Chao1 (orden)	0.8
Promedio de humedad vs índice de Chao1	-0.79
Arcilla vs ChaoBacterias	-0.71
pH vs índice de Shannon (orden)	0.70
pH vs Hymenoptera	-0.61

c. Correlaciones entre comunidades de artrópodo-fauna y bacterianas y la calidad del suelo.

Para explorar las relaciones entre las comunidades de artropofauna y bacteriana y las variables asociadas al suelo, se decidió probar las correlaciones entre el primer componente (PC) obtenido de los PCA de suelo realizados para cada cultivo (figuras 27 y 28) y parámetros de la comunidad de artrópodos y bacterias. Se decidió hacer uso de los primeros componentes de los PCAs construidos para variables del suelo porque parecen agrupar a las muestras por ecorregión y tipo de suelo. Además, este resultado coincide con la caracterización de los tipos de suelo realizada por el Dr. Víctor Peña, del Instituto de Ecología, UNAM para los suelos de este estudio y que se encuentran reportados en la tesis de Vázquez (2018).

En la figura 31 se observa la matriz de correlaciones realizada para el cultivo de maíz de ambas ecorregiones, con el primer componente del PCA de variables fisicoquímicas del suelo, realizado también para el cultivo de maíz (figura 27). Este primer componente se correlacionó con otras variables como son la abundancia de ordenes Hymenoptera, Coleoptera y Orthoptera. Se incluyeron también las medidas de riqueza y diversidad para orden y familia en términos de riqueza absoluta, índice de Chao1 e índice de Shannon (para ambas comunidades, artrópodo-fauna y bacterias). Asimismo, se añadieron las abundancias de tres familias de coleópteros presentes en mayor abundancia y frecuencia en todas las

muestras (Anthicidae, Nitidulidae y Staphylinidae), así como la riqueza absoluta de las morfoespecies.

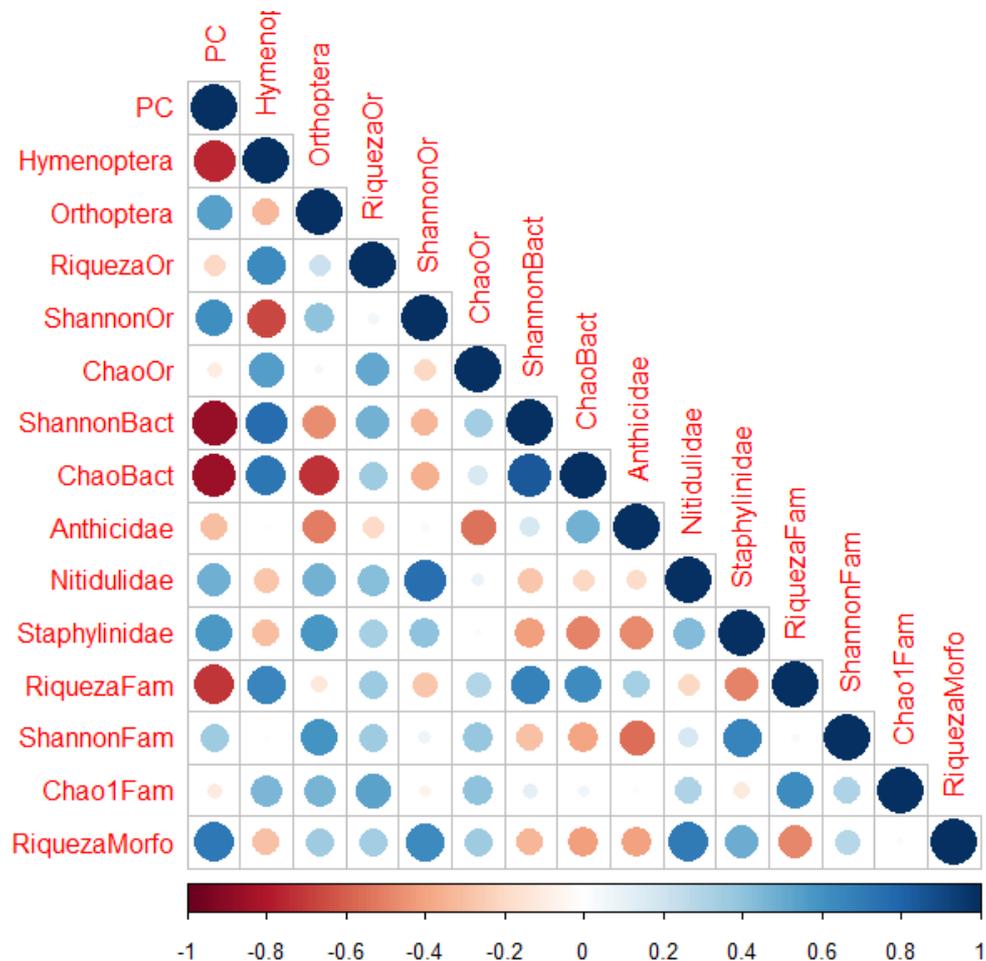


Figura 31. Matriz de correlaciones del primer componente de suelo (PC) con la estructura de la comunidad de artrópodos de suelo muestreados en el cultivo de maíz de ambas ecorregiones.

Por su parte, la figura 32 muestra las correlaciones entre el primer componente del PCA construido para variables fisicoquímicas del suelo en las parcelas de frijol (figura 28) y algunas variables biológicas (la abundancia de ordenes Hymenoptera, Coleoptera y Orthoptera, las medidas de riqueza y diversidad para orden y familia en términos de riqueza absoluta, índice de Chao1 e índice de Shannon para las comunidades de artrópodo-fauna y bacterias). Se agregaron también las abundancias de Anthicidae, Nitidulidae y Staphylinidae, además de la riqueza absoluta de las morfoespecies.

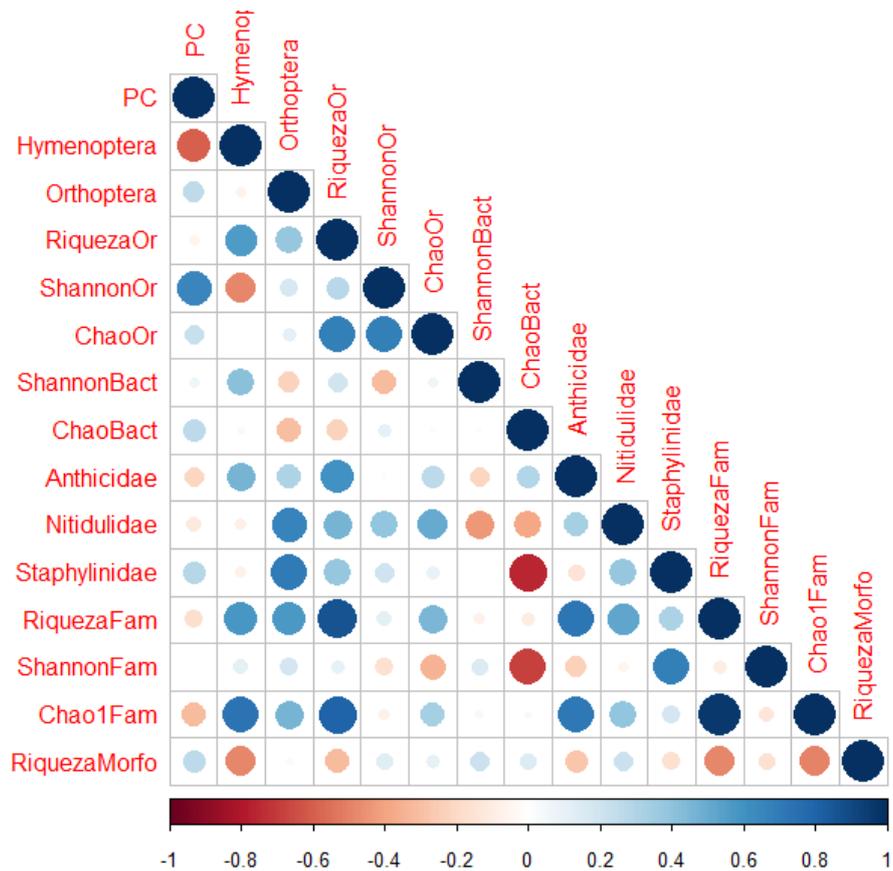


Figura 32. Matriz de correlaciones del primer componente de suelo (PC) con la estructura de la comunidad de artrópodos de suelo muestreados en el cultivo de frijol de ambas ecorregiones.

En la siguiente tabla se presentan las correlaciones significativas entre artrópodos, bacterias y parámetros físicoquímicos del suelo.

**Tabla 12. Correlaciones (Spearman,  $p > 0.003$ ) y valores de  $R_o$  para los cultivos de maíz y frijol en ambas regiones, entre el primer componente del PCA de variables de suelo y las comunidades de artrópodos y bacterias**

Cultivo	Correlaciones significativas	$R_o$
Maíz	Hymenoptera-PC	-0.8
Maíz	Índice de Shannon para bacterias-PC	-0.9
Maíz	Índice de Chao1 para bacterias-PC	-0.9
Frijol	No hubo ninguna correlación significativa	-

## Discusión

El objetivo de este trabajo fue explorar descriptores de la comunidad o de grupos de artrópodos que brindaran información acerca de otras variables asociadas a la calidad de suelos de uso agrícola, particularmente en cultivos de maíz y frijol. Para lograrlo, se buscó explorar las relaciones entre la comunidad de artrópodo-fauna edáfica y la bacteriana, así como entre la primera y los diversos parámetros fisicoquímicos que se midieron para caracterizar el tipo y la calidad de los suelos. Para conocer la estructura de la comunidad de artrópodos se realizaron muestreos con trampas pitfall, después se llevó a cabo la identificación taxonómica de los individuos colectados (a nivel de orden, familia y morfoespecie) y, posteriormente, se procedió a hacer los análisis ecológicos y estadísticos correspondientes. A continuación, se presenta una síntesis de los resultados y de las tendencias generales que se encontraron.

### I. Identificación taxonómica de los artrópodos colectados y abundancia absoluta

La presencia y actividad biológica de los artrópodos ha sido utilizada de diversas maneras como un indicador directo o indirecto de algunos atributos asociados al suelo, dada su importancia en el ciclaje de nutrientes y el flujo de energía dentro de los ecosistemas. Además, su misma presencia y actividad pueden derivar en la diferenciación de distintos tipos de suelo (Ruiz y Lavelle, 2008). Es por ello que en este estudio se realizó un análisis exploratorio con el fin de conocer los grupos de artrópodo-fauna y su diversidad en distintos suelos de uso agrícola. Este análisis fue dividido por zonas (Norte, San Felipe y Sur, Guarapo) y por nivel de grupos taxonómicos analizados (orden, familia y morfoespecie).

#### *Órdenes*

Para la región de San Felipe, la zona norte, se encontraron un total de 13 órdenes de artrópodos y dos clases (Acarida y Diplopoda). Para esta región el orden más abundante fue el de Hymenoptera, alcanzando hasta 714 individuos.

En el caso de Guarapo, la zona sur, se identificaron un total de 12 órdenes de artrópodos y 2

clases (Acarida y Diplopoda). El orden de insectos más abundante fue el de Coleoptera, alcanzando hasta 104 individuos.

El número de órdenes encontrados en cada región es muy similar y aunque hay ciertos grupos que se comparten entre ambas zonas, también hay algunos que son distintivos de cada región, o cuyos individuos se encontraron en mayores o menores cantidades en determinada zona. Los órdenes que se comparten entre ambos sitios son nueve: Araneae, Coleoptera, Diptera, Entomobryomorpha, Hymenoptera, Hemíptera, Lepidóptera, Opiliones, Orthoptera y Pseudoscorpionida. Entre ambas ecorregiones se comparte también la clase Acarida, así como algunas larvas, que no se clasificaron taxonómicamente.

Para la región norte se encontraron tres órdenes distintivos: Dermaptera con 49 individuos, Solifugae con 5 individuos y Thysanoptera con 1 individuo. Asimismo, es notable que en la región norte las trampas lograron coleccionar hasta 714 hormigas (Hymenoptera: Formicidae), mientras que para la región sur alcanzaron una abundancia máxima de únicamente 80 individuos.

Los órdenes que sólo se encontraron en la zona sur, es decir, en Guarapo, son Isoptera y Scorpionidae; sin embargo, las abundancias de los dos grupos fueron muy pequeñas (7 y 1 individuos respectivamente).

En las figuras 7 y 8 se presenta la abundancia de los individuos pertenecientes al orden Hymenoptera. En color azul se encuentran representados los individuos que pertenecen a la familia Formicidae, mientras que en color rosa se encuentran las abundancias del resto de los Hymenoptera (avispa, principalmente, que no se identificaron taxonómicamente más allá del nivel de orden). La separación de este grupo en las gráficas se debe a su alta abundancia con respecto a la del resto de los artrópodos, pues alcanza alrededor de 700 individuos en la región norte. La gran abundancia de este grupo impedía una buena visualización de las abundancias de los demás órdenes, por lo que se decidió separarlos.

Las gráficas permiten observar que, aunque en la región sur la familia Formicidae es abundante, en el norte lo es mucho más. Asimismo, el resto de los individuos de

Hymenoptera es muy escaso para ambas regiones.

### *Familias*

Por otra parte, para la región norte se identificaron un total de 26 familias, también pertenecientes a los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera. Para este sitio, se identificaron quince familias pertenecientes al orden Coleoptera, ocho pertenecientes al orden Hemíptera y tres del orden Orthoptera.

Para la región sur se encontró un total de 16 familias pertenecientes a los órdenes Coleoptera, Hemíptera y Orthoptera. Se obtuvieron un total de diez familias pertenecientes a Coleoptera, tres a Hemíptera y tres a Orthoptera, siendo Staphylinidae la familia más abundante en esta región, seguida de Gryllidae.

Al igual que en la categoría de orden, hay grupos que se comparten entre ambas regiones y otros que son únicos de cada sitio. Asimismo, las abundancias son diferentes. Aunque en la región norte hay un mayor número de familias, las abundancias son menores, sin considerar la abundancia de Formicidae.

También, es notable que la mayor cantidad de familias pertenece al orden Coleoptera, es por ello que se decidió tomar este grupo como base para explorar las morfoespecies presentes en cada zona.

### *Morfoespecies*

Para el nivel de morfoespecie no se realizó gráfico de comparación debido a que las morfoespecies no se compararon entre sí, pues únicamente se identificó dentro de cada parcela cuántos morfos diferentes había dentro de cada familia de coleópteros. Sin embargo, sí se cuantificó la riqueza de morfoespecies dentro de cada parcela.

La caracterización exploratoria que se realizó en esa etapa del análisis fue útil para conocer

cuales grupos se encontraban presentes en la zona, cuáles eran los más abundantes y cuáles se compartían en las zonas o las diferenciaban. Este primer acercamiento fue útil para decidir posteriormente qué grupos se tomarían en cuenta para realizar las correlaciones y los análisis de agrupamiento.

## II. Riqueza de las comunidades de artrópodo-fauna

Para cada parcela se midió la riqueza absoluta presentada en los tres niveles taxonómicos (orden, familia y morfoespecies, estos dos últimos niveles únicamente realizados para Coleoptera). Cada gráfica describe la riqueza de estos niveles para cada parcela de los dos cultivos que se muestrearon. Al igual que el análisis anterior, la riqueza de artrópodo-fauna se midió para ambas regiones, a los tres niveles taxonómicos (orden, familia y morfoespecie).

Para la región de San Felipe se halló un total de 13 órdenes, 26 familias y hasta 11 morfoespecies. El número de morfospecies en esta región fue mucho menor que el encontrado en la zona sur, y en este caso, el mayor número de morfoespecies se concentró en las familias Anthicidae, Nitidulidae y Staphylinidae. De igual manera, si se observa cada parcela, se notará que el nivel taxonómico con mayor riqueza en casi todas las parcelas es el de orden, seguido del de familia y, por último, como el nivel con la menor riqueza, el de morfoespecie.

En el caso de la región sur, se encontró un total de 12 órdenes, 16 familias y una riqueza dentro de cada parcela de hasta 22 morfoespecies. Por ello, es posible aseverar que el nivel taxonómico en el que encontramos mayor riqueza a nivel de región es el de morfoespecie. Las familias de coleópteros que presentaron una mayor riqueza de morfoespecies fueron Staphylinidae y Anthicidae. Por otra parte, si se observa la riqueza a nivel de parcela, se notará que en general el nivel de morfoespecie es el que continúa presentando una mayor riqueza, seguido de orden y finalmente, el nivel de familia es el que presenta una riqueza más baja.

Dada la descripción anterior, es posible decir que la región sur mostró una riqueza mayor en

cuanto a morfoespecies, aunque ésta se concentró en únicamente dos familias, mientras que la región norte mostró una mayor riqueza en cuanto a familias.

Al igual que con los datos de abundancia, el análisis de la riqueza de artrópodo-fauna permitió identificar patrones y realizar comparaciones exploratorias sobre las parcelas y/o regiones; sin embargo, la resolución taxonómica puede variar de manera importante, tal como se aprecia en los datos que se describieron anteriormente.

### III. Diversidad de la comunidad de artrópodos

La diversidad de las comunidades de artrópodo-fauna encontrada se estimó realizando el cálculo del índice de Shannon, para los niveles de orden y familia. También se calculó el índice de Chao 1 para ambos niveles taxonómicos. Estos valores se usaron únicamente para realizar los PCA que involucraban parámetros de la comunidad de artrópodos y para probar las correlaciones con la comunidad bacteriana y con las variables fisicoquímicas del suelo.

Para comparar la diversidad de órdenes y familias encontrados en las parcelas que se muestrearon, se realizaron perfiles de Renyi haciendo uso de la paquetería BiodiversityR en el software de análisis estadístico R (versión 1.1.456). Los perfiles de Renyi permiten que sea sencillo realizar la comparación entre parcelas/regiones, en términos de poder determinar cuáles son más diversas o cómo se encuentra determinada la diversidad en cada sitio (Kindt y Coe 2005). Facilitan la visualización de la relación entre la riqueza ( $\alpha=0$ ), el índice de Shannon ( $\alpha=1$ ), el logaritmo recíproco del índice de Shannon ( $\alpha=2$ ) y el índice de Berguer-Parker ( $\alpha=\text{inf}$ ) (Thóthmérész, 1995).

Kindt y Coe (2005) explican que la inclinación de las líneas en las gráficas otorga información sobre la equitatividad con que están distribuidas las especies en determinado sitio, es decir, si la abundancia de los organismos presentes es similar en cada categoría taxonómica, o si, por el contrario, sólo ciertas categorías concentran la mayor cantidad de los individuos colectados. Cuando hay intersección entre las líneas, las comunidades no son comparables (Kindt y Coe, 2005).

Los perfiles de Renyi se encuentran representados en las figuras 11 a 22. Las figuras 11 y 12 muestran los perfiles de Renyi construidos para el nivel de orden en la región de San Felipe y Guarapo, respectivamente. Cada uno muestra las parcelas de maíz y frijol. En ambas figuras es evidente que los perfiles se cruzan entre sí, indicando que las comunidades no son comparables. Lo mismo sucede en los perfiles realizados para el nivel de familia, en ambas ecorregiones (figuras 13 y 14). Por lo anterior, se construyeron otros perfiles de Renyi separando por ecorregión y por cultivo, pues al hacerlo es posible observar mejor las diferencias. Estas gráficas pueden observarse en las figuras 15 a 22.

La figura 15 muestra los perfiles de Renyi para el cultivo de maíz a nivel de orden en San Felipe, mientras que la 16 lo hace para el frijol en la misma ecorregión. En la primera es posible observar que la comunidad de la parcela MGN3 cruza con otras líneas, lo que impide su comparación con las mismas. Por otra parte, los perfiles para el cultivo de frijol muestran a la parcela de FGN4 como la más diversa, y a la parcela FGN1 como la menos diversa. Los perfiles para Guarapo con los datos a nivel de orden muestran muchos más cruces que los construidos para San Felipe, tanto para maíz (figura 17) como para frijol (figura 18) por lo que no se puede aseverar sobre la diversidad de órdenes de las comunidades de ambos cultivos en la región sur.

Las figuras 19 y 20 muestran los perfiles para el nivel de familia en la región de San Felipe, norte. La figura 19 muestra los perfiles de maíz y la 20 los de frijol. En el caso de la primera, la parcela MGN5 es la única que se intersecta con las demás líneas, por lo que no se puede comparar con ellas. En ese sentido, según los perfiles, la parcela MGN2 es la más diversa, mientras que MGN1 es la menos diversa. En cuanto a la figura 20, la intersección de la parcela FGN3 con FGN2 y FGN4 no permite su comparación. Sin embargo, al comparar las parcelas FGN3, FGN2 y FGN4 se observa que la más diversa según los perfiles es FGN2, a diferencia de lo observado para el nivel de orden. FGN1 aparece como la menos diversa, resultado similar al obtenido en los perfiles realizados para orden.

Por su parte, los perfiles de las figuras 21 y 22 corresponden al nivel de familia de la región sur, Guarapo, para los cultivos de maíz y frijol, respectivamente. En la figura 21 se observa que la parcela de MGS2 es la única que se intersecta con las demás, por lo que no se puede

comparar con las otras parcelas. También, es posible notar que la parcela MGS1 es la más diversa, mientras que MGS3 es la menos diversa. Por último, la figura 22 muestra a casi todos los perfiles intersectándose entre sí, con excepción de las parcelas FGS4 y FGS5.

La construcción de los perfiles permitió visualizar las diferencias entre las comunidades de artrópodos de cada ecorregión y de cada cultivo. Los perfiles de Renyi por ecorregión muestran que la comunidad de artrópodos de maíz y la de frijol no son comparables entre sí, por lo que era necesario separar los cultivos para observar mejor la diversidad entre parcelas y entre ecorregiones. El nivel de orden de artrópodos, tanto para maíz como para frijol en San Felipe, fue el que mostró perfiles con menos cruces, permitiendo distinguir las parcelas con mayor y menos diversidad. Los perfiles a nivel de orden en Guarapo, por otra parte, muestran bastantes cruces en ambos cultivos, lo que indica que los órdenes y las abundancias de artrópodos de maíz y frijol en esta región son muy diferentes entre sí. El nivel de familia, por otra parte, muestra un par de cruces en ambos cultivos en la región de San Felipe y un cruce en Guarapo para el cultivo de maíz. Sin embargo, para el cultivo de frijol en Guarapo se observa que casi todas las líneas se intersectan, indicando que los datos de familia para este cultivo y ecorregión en particular no son comparables. En este sentido, la comunidad de artrópodo-fauna de la comunidad de Guarapo parece ser bastante diferente entre parcelas.

Por otra parte, los perfiles para ambas ecorregiones y cultivos se encuentran inclinados, lo que indica que la distribución de los individuos no es equitativa, es decir, hay ciertos órdenes dentro de las parcelas que cuentan con un mayor número de individuos que los demás. Sin embargo, aunque esta inclinación es evidente en los perfiles de las dos regiones, los de la zona de Guanajuato Norte correspondientes al nivel de orden se ven aún más inclinados que los de la zona sur, mostrando que hay algún orden que posee abundancias mucho mayores que las de los demás y que esta diferencia es aún más abrupta que la que pueden presentar los órdenes de la región Guanajuato Sur. Aunque la construcción de los perfiles de Renyi no permite mostrar qué órdenes están siendo más abundantes que otros, se sabe por las gráficas de abundancia que en el caso de Guanajuato Norte el orden más abundante es el de Hymenoptera, específicamente debido a la familia Formicidae.

Esta diferencia en la inclinación de los perfiles en cada ecorregión no es notable en las gráficas que corresponden a las familias, debido a que no hay ningún grupo que tenga una cantidad de individuos tan alta como es el caso de los himenópteros en el nivel de orden.

La comparación de la diversidad encontrada en cada sitio tenía como objetivo identificar si existía alguna característica que pudiera mostrar a una zona o parcela más diversa que la otra, como podía ser el tipo de cultivo (maíz o frijol), la región (Guarapo o San Felipe) o el nivel taxonómico (orden o familia). De acuerdo a las descripciones anteriores, ninguno de estos parámetros mostró alguna agrupación de las parcelas muestreadas, sin embargo, sí fue posible observar la diferencia entre los datos de las ecorregiones y los cultivos.

**V. Análisis de agrupamiento para la exploración de relaciones estadísticas entre la comunidad de artrópodo-fauna, la comunidad bacteriana y las variables fisicoquímicas del suelo**

El análisis de PCA permitió realizar una visualización de los datos y su agrupación, así como una síntesis del papel de las variables que se midieron. Asimismo, permitió explorar si las parcelas se agrupaban siguiendo algún parámetro en particular (características del suelo, comunidad de artrópodos y/o bacterias, ecorregión, tipo de cultivo).

a. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de orden

Con el fin de explorar la relación entre la estructura de la comunidad de artrópodo-fauna, la diversidad bacteriana y la calidad del suelo, se realizaron dos PCAs (uno para cada cultivo) usando los datos de riqueza (simple y medida con el índice de Chao1) y diversidad (índice de Shannon) para los órdenes que se encontraron, así como el índice de Chao1 y el de Shannon para la comunidad bacteriana. En el primer PCA (figura 23) que corresponde al cultivo de maíz en ambas ecorregiones, se tiene que el primer componente aporta un 32% de la variación, mientras que el segundo aporta un 17%. Las variables que mejor explican el primer componente son el porcentaje de arcilla, el promedio de humedad y la cantidad de materia orgánica. Por su parte, el segundo componente se encuentra explicado por los órdenes de artrópodos, el pH y la abundancia de Orthoptera. La variación total es del 49%.

Así, es notable que el primer componente se encuentra asociado únicamente a variables del suelo, mientras que el segundo lo está a parámetros de la comunidad de artrópodos y uno de suelo. En este sentido, en la figura 23 se observa una separación de las parcelas por la ecorregión a la que pertenecen (norte o sur). En el primer componente, en su dirección negativa, se encuentran las parcelas que pertenecen a la región sur (Guarapo), mientras que en la dirección positiva están ubicadas las parcelas de la región norte (San Felipe). Esta separación se encuentra dada por la diferencia en las características de los suelos de ambos lugares.

En el caso del PCA para el cultivo de frijol de ambas ecorregiones (figura 24), el primer componente explica un 29%, mientras que el segundo explica 18%, sumando un total de 47%. Las variables que más aportan al primer componente son la cantidad de arcillas, de arenas, el promedio de humedad y el promedio de materia orgánica. Por otra parte, el segundo componente se encuentra explicado por el promedio de fósforo, la abundancia del orden Coleóptera y la riqueza de órdenes. Al igual que para el cultivo de maíz, el primer componente se encuentra asociado a variables de calidad del suelo y el segundo a parámetros de la comunidad de artrópodos y de suelo. Además, hay una separación entre las parcelas de acuerdo a la región a la que pertenecen, estando en la dirección negativa del primer componente las parcelas que pertenecen a la región sur (Guarapo), mientras que en la dirección positiva se encuentran las parcelas de la región norte (San Felipe).

b. Análisis de agrupamiento de la comunidad bacteriana y la composición y diversidad de la comunidad de artrópodo-fauna edáfica a nivel de familia

Para el nivel de familia también se construyeron dos PCA, uno para cada cultivo. En el caso del PCA para maíz (figura 25), el primer componente aporta el 29% de la variación, mientras que el segundo lo hace en un 12%, sumando un total de 32%. Las variables que aportan más al primer componente son la cantidad de arcillas, la cantidad de arenas, el promedio de materia orgánica y el promedio de humedad. Para el segundo componente, la variable de riqueza de familias aporta considerablemente, seguida por el índice de Chao1 y finalmente por la abundancia de la familia Anthicidae. En este PCA el primer componente se encuentra asociado mayoritariamente a variables relacionadas con el tipo de suelo, el segundo

componente es al que aportan más variables de la estructura de la comunidad de artrópodos, particularmente, las medidas de riqueza y diversidad, así como la abundancia de integrantes de la familia de coleópteros Anthicidae. Por otra parte, en la representación gráfica del PCA no se observa una agrupación clara de las parcelas con respecto a alguno de los dos componentes.

Respecto al PCA de familias para los cultivos de frijol de ambas ecorregiones (figura 26), se tiene que el primer componente explica el 27% de la variación, mientras que el segundo lo hace en un 17%. Al igual que en los casos anteriores, el primer componente se encuentra asociado a variables fisicoquímicas del suelo (cantidad de arcillas, promedio de humedad y cantidad de limo), mientras que el segundo lo está a medidas de la comunidad de artrópodos (riqueza de familias, índice de Chao y abundancia de Staphylinidae). En la figura 26 es notable una ligera separación de las parcelas: en la dirección negativa del primer componente se encuentran las parcelas que pertenecen a la región sur (Guarapo), mientras que en la dirección positiva se encuentran las parcelas de la región norte (San Felipe), al igual que ocurre en los PCA anteriores.

En este sentido, puede decirse que para los dos niveles taxonómicos para los que se hicieron PCAs, el primer componente se asocia a variables del suelo y puede ocurrir una separación de las parcelas en función del mismo, mientras que el segundo lo hace para variables sobre la comunidad de artrópodos, separando ligeramente a las parcelas de cada región y cultivo entre ellas.

### c. Análisis de agrupamiento de parámetros fisicoquímicos del suelo

Haciendo uso únicamente de variables asociadas a la calidad del suelo, se realizaron dos PCAs, uno para el cultivo de maíz y el otro para el cultivo de frijol (figuras 27 y 28). Con la construcción de cada PCA, se obtuvo una separación bastante clara de las parcelas según la ecorregión.

En el caso del PCA de maíz (figura 27) se tiene que el primer componente aporta un 44% de la variación mientras que el segundo aporta 18%, sumando un total de 62%. Las variables

que más aportan al primer componente son el pH, la cantidad de arcillas, el promedio de carbono, el promedio de materia orgánica y el promedio de humedad, mientras que para el segundo componente las variables con mayor aporte son el pH y la cantidad de limo. Para este análisis, es evidente la separación de las parcelas en función de la región a la que pertenecen. De lado izquierdo, en la dirección negativa del componente se encuentran las parcelas asociadas a Guarapo (Guanajuato sur). Por su parte, la dirección positiva agrupa a las parcelas de la región de San Felipe (Guanajuato norte), de la misma manera que ocurrió en los PCA anteriores.

En el PCA del cultivo de frijol (figura 28) el primer componente explica el 42% de la variación, mientras que el segundo componente lo hace en un 19%. Las variables que más aportan al primer componente son la cantidad de arcillas, la cantidad de arenas, la cantidad de limo y el promedio de materia orgánica. Para el segundo componente, las variables con mayor aporte son el promedio de fósforo y el promedio de carbono. Se aprecia también una clara separación entre las parcelas de frijol de cada región. En el lado derecho, en la dirección positiva del primer componente, se observan las parcelas pertenecientes a la región norte (San Felipe). En la parte izquierda, en la dirección negativa del primer componente, se encuentran las parcelas ubicadas en la región sur (Guarapo).

En los PCAs de las variables fisicoquímicas del suelo, las parcelas se agruparon en función de la ecorregión a la que pertenecen (norte o sur). Por ello, es posible inferir que el primer componente nos habla de una diferencia por zonas que responde a las características particulares del suelo de cada región. De manera más específica, las variables que más aportaron al primer componente que permite la separación son el pH, el promedio de arcillas y el promedio de arenas, por lo que es posible inferir que los suelos de ambas regiones difieren en cuanto al carácter de esas tres variables, que están fuertemente asociadas al tipo de suelo. Este resultado coincide con los perfiles de suelo de las parcelas de este estudio reportados por Vázquez (2018). En ellos, se describe la composición y tipo de suelo para cada parcela, mostrando que la región de Guarapo posee vertisoles y pheozems, mientras que San Felipe tiene cambisoles y fluvisoles. La descripción de los perfiles de suelo de cada parcela indica que los suelos de la zona sur (Guarapo) presentan un porcentaje de arcillas mayor que los suelos de la zona norte (San Felipe). Además, los

suelos de la zona norte presentan mayores cantidades de arena. En este sentido, el primer componente de ambos PCAs se encuentra asociado al tipo de suelo de cada región, y agrupa a las parcelas en función de ese parámetro. Para el segundo componente, las variables que más aportaron fueron el pH y el promedio del contenido de fósforo y carbono.

Aunque las parcelas de maíz y frijol con las que se trabajó en este estudio se encontraban adyacentes entre sí, las comunidades de artrópodos presentes en cada cultivo fueron suficientemente diferentes para requerir PCAs separados, tal como lo mostraron los perfiles de Renyi. Sin embargo, las diferencias no lograron mostrar una tendencia que permitiera identificar un atributo particular sobre la comunidad de artrópodos que mostrara una agrupación o separación de las parcelas, sino que ésta ocurrió en función del tipo de suelo de la ecorregión.

La exploración de los datos haciendo uso de PCA fue muy útil, en el sentido de que permitió obtener una primera visualización de los mismos, una reducción de variables y una exploración de los parámetros que podrían agrupar las parcelas, elemento que permitiría después elegir las variables para realizar las correlaciones. Además, mostró que hay una agrupación de las parcelas en función de las regiones a las que pertenecen según el tipo de suelo, no tanto por parámetros biológicos, pues en todos los análisis el primer componente estuvo asociado a variables de la calidad del suelo.

#### **VI. Exploración de relaciones estadísticas entre la artrópodo-fauna edáfica, la comunidad bacteriana y algunas variables fisicoquímicas de suelo a través de análisis de correlaciones**

El objetivo de poner a prueba las correlaciones fue buscar relaciones estadísticas significativas entre las distintas variables de suelo y los parámetros que se midieron de las comunidades biológicas (bacterias y artrópodos), para de esta manera saber si existen grupos de artrópodos específicos que se relacionen con algún parámetro físico, químico o biológico del suelo.

#### a. Región de San Felipe (Guanajuato norte)

Para la región norte la correlación con el valor más alto (-0.85) fue entre la capacidad máxima de retención de agua (CMRA) y la riqueza absoluta de órdenes. La CMRA da información sobre la disponibilidad de agua para las plantas en el suelo (Domingo et al., 2006). La correlación que obtuvimos fue negativa. Se sabe que el establecimiento, abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de artrópodos dependen en gran medida de la cantidad de agua presente en el suelo, específicamente, de la humedad en el ambiente, ya que ésta es un factor limitante para el desarrollo de los diversos estadios de los artrópodos, y, por tanto, de sus poblaciones (Bagyaraj, 2016, Chang et al., 2008, Norhisham et al., 2013). Aunque la CMRA se encuentra asociada principalmente a las plantas, dentro de un agroecosistema la cantidad de agua disponible también influye en la estructura de las comunidades de otros organismos en el suelo, además de afectar de manera importante las interacciones que ocurren entre la biota presente, por ejemplo, el aumento en la tasa de herbivoría (Walter, 2018). Específicamente para el suelo, se ha reportado una relación directa entre microartrópodos como ácaros, colémbolos y algunos miriápodos (Chikoski et al., 2006, Tsiafouli et al., 2005 Lloyd y Crotty, 2017) y la humedad edáfica, no así para medidas como la riqueza de la comunidad de artrópodos, como es el caso de este trabajo.

Otras correlaciones altas y significativas que se obtuvieron son entre parámetros de suelo (densidad aparente y cantidad de limo) y las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) con valores de -0.76 y -0.72, respectivamente. Además de lo descrito anteriormente sobre el papel de las hormigas en el suelo, Cabrera (2012) las reconoce como organismos que afectan considerablemente las propiedades edáficas, principalmente a través de la perturbación y modificación del suelo y menciona que son particularmente importantes en contextos agrícolas, ya que es un grupo que prevalece en estos ambientes a pesar de la gran variabilidad que puedan presentar los agroecosistemas, resultado de las propias prácticas agrícolas.

Finalmente, se encontró una correlación entre el promedio de carbono y la diversidad de bacterias (medida a través del índice de Shannon), con un valor de -0.72. En general se

reconoce que existen estrechas relaciones entre la cantidad de carbono del suelo y la diversidad de microorganismos. Estas relaciones ocurren a través de procesos como el ciclo biogeoquímico del carbono, la cantidad de materia orgánica presente o la actividad enzimática de los microorganismos ante la variación de la cantidad de materia orgánica (Fortuna, 2012; Mohammadi et al., 2011; Lavelle y Ruiz, 2008; Powlson, 2001). En ese sentido, el resultado obtenido en este trabajo coincide con lo reportado anteriormente en otros estudios.

En esta región tampoco se hallaron correlaciones entre la comunidad de artrópodo-fauna y la bacteriana. Además, es importante notar que la resolución taxonómica (la identificación a nivel de familia y morfoespecie) parece no haber influido en las correlaciones obtenidas, es decir, no se obtuvo ninguna relación entre algún grupo de familia o la riqueza de morfoespecies y parámetros del suelo y/o comunidad bacteriana. Sin embargo, tampoco las hubo entre esos mismos parámetros y el grupo de coleópteros.

#### b. Región de Guarapo (Guanajuato sur)

Para la región sur se encontraron correlaciones entre algunos parámetros sobre la estructura de las comunidades de artropofauna, de bacterias y algunos parámetros de las características del suelo. Se obtuvo una correlación entre la densidad aparente del suelo y la riqueza de órdenes encontrados (medida con el índice de Chao1), el valor de esta correlación fue de 0.8, la más alta obtenida para este sitio. La densidad aparente es una propiedad del suelo que se considera cuando se evalúa el estado del suelo, principalmente porque brinda información sobre otras propiedades del mismo como son la capacidad de retención de agua, la porosidad, la disponibilidad de nutrientes, cantidad de materia orgánica e incluso la actividad microbiana (NRCS, s.f). Se sabe que la artrópodo-fauna y su actividad biológica tiene influencia considerable sobre esos parámetros y, por lo tanto, puede tenerla sobre la densidad aparente del suelo (Ruiz y Lavelle, 2008; Bagyaraj et al., 2016). Por otra parte, Abbott (1989) menciona que organismos como los macroartrópodos pueden cambiar la textura del mismo, al hacer decrecer la densidad aparente debido a su capacidad para remover el suelo y mezclar los horizontes del mismo. Aunque la correlación

no es directa con algún grupo taxonómico de artrópodos, sí lo es con la riqueza simple que se encontró en la comunidad de artrópodo-fauna, por lo que es posible pensar que los artrópodos presentes podrían estar influyendo de alguna manera en esta propiedad del suelo. En ese sentido, este resultado es congruente con los hallazgos que se reportan en trabajos y estudios anteriores.

También se obtuvo una correlación con valor de -0.79 para el promedio de humedad y el índice de Chao1 para los órdenes encontrados. Ruiz y Lavelle (2008) explican que la presencia de la artropofauna influencia y es influenciada a su vez por la cantidad de humedad que contiene el suelo. Debido a que en este trabajo se muestreó únicamente la temporada de lluvias, no es posible realizar un análisis comparativo con la temporada de secas. De realizarse, podría verse si es posible atribuir esta relación a la disponibilidad de humedad, necesaria para el establecimiento de las comunidades de artropofauna edáfica. Lo anterior es importante puesto que los ciclos de vida de este grupo de organismos dependen en gran medida de las condiciones del suelo (Showalter, 2018). Por otra parte, este resultado coincide con los resultados obtenidos por Shakir y Ahmed (2014), quienes obtuvieron una correlación negativa entre la abundancia de artrópodos de suelo y la humedad relativa, aunque la mayor parte de dicha abundancia en su estudio se conformaba por microartrópodos (ácaros y colémbolos). La tercera correlación alta y significativa que se obtuvo fue entre arcilla y el índice de Chao1 para bacterias y fue negativa (-0.71). En este caso la correlación no tiene relación directa con la artropofauna, sino con la comunidad de bacterias, que, se sabe, influencia y es influenciada a su vez por la textura del suelo (Fortuna, 2012; Lavelle y Ruiz, 2008).

Se encontró también una correlación entre el pH del suelo y el índice de Shannon para los órdenes de artrópodos, que presentó un valor de 0.70. Straalen y Verhoef (1997) encontraron que ciertos grupos de artrópodos (colémbolos, ácaros y cochinillas) pueden servir como indicadores de la calidad de suelo porque son muy sensibles a las variaciones de pH y tiene preferencias ante ciertos intervalos de acidez. Aunque en este trabajo no se consideró de manera específica a los microartrópodos ni se obtuvo una correlación con algún grupo en específico, sí obtuvimos una correlación alta entre este parámetro de suelo y la diversidad de órdenes de artrópodos. Finalmente, la correlación entre pH e Hymenoptera

arrojó un valor de -0.60. Aunque este grupo de organismos, particularmente las hormigas, se suelen asociar a modificaciones en el suelo de tipo físicas (mezcla, aireación, porosidad) (Lavelle y Ruiz, 2008), Laakso y Setälä (1997) encontraron que ciertos tipos de hormigas, como las hormigas rojas de la madera, pueden modificar propiedades del suelo como el pH.

Para este sitio tampoco se obtuvo ninguna correlación entre la comunidad de artropofauna y la bacteriana, ni con los organismos que se identificaron a nivel de familia, únicamente para órdenes. Sin embargo, aunque en este trabajo no se hayan encontrado correlaciones significativas con bacterias, hay una vasta literatura que reconoce la importancia de esta comunidad para diversas propiedades del suelo como el pH, la cantidad de materia orgánica o el contenido de nutrientes (Rousk et al., 2010; Cui y Holden, 2015; Lavelle y Ruiz, 2008).

c. Correlaciones entre las comunidades de artrópodo-fauna y bacterianas y la calidad del suelo.

Finalmente, se realizó un análisis de correlaciones de Spearman con los primeros componentes de los PCAs que se construyeron con los datos asociados a la calidad del suelo (promedio de humedad, promedio de materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo y la cantidad de arcillas, limos y arenas y pH), uno para el cultivo de maíz y otro para el de frijol. Las correlaciones se realizaron con variables biológicas como abundancias de órdenes y familias, e índices de riqueza y diversidad de artrópodo-fauna y comunidad bacteriana.

En el caso del cultivo de maíz, se obtuvo una correlación entre el primer componente y el grupo de Hymenoptera que está conformado únicamente por individuos de la familia Formicidae. La correlación tuvo un valor de -0.8 y sugiere que este grupo presenta alguna relación con variables que se encuentran asociadas al tipo y calidad del suelo. Es el único grupo taxonómico específico de artrópodos que se asoció con el primer componente de dicho PCA. Además, se obtuvieron otras dos correlaciones que asocian el componente sobre calidad de suelo con la comunidad bacteriana ( $R_o = -0.9$ ), sugiriendo relaciones significativas entre ella y las variables del suelo. Por su parte, las correlaciones probadas entre el cultivo de frijol y el primer componente de su PCA no arrojaron ninguna relación significativa.

Es importante mencionar que todas las correlaciones que arrojó el análisis de Spearman y que se describieron anteriormente arrojan diversos valores, y también describen si la relación es negativa o positiva. Sin embargo, en este punto no es posible realizar aseveraciones sobre la naturaleza de la correlación, es decir, si la relación entre ambas variables es de carácter lineal o de algún otro tipo.

Por otra parte, es notable que para todos los análisis de que se realizaron, el único grupo taxonómico de artrópodos que presentó correlación con variables asociadas a la calidad de suelo fue Hymenoptera, específicamente, la familia Formicidae, además de ser el grupo taxonómico más dominante en San Felipe (Guanajuato norte) y el segundo en la región de Guarapo (Guanajuato sur).

Debido a que una vasta literatura propone a los coleópteros como indicadores de diversos parámetros asociados a la calidad del suelo, así como de gradientes de intensificación de manejo agrícola (González, 2018; Pompeo et al, 2017; Koivula, 2011; Bardgett y van der Putten, 2014; Lavelle y Ruiz, 2008), en este trabajo se decidió realizar mayor énfasis en ese grupo de artrópodos, razón por la que se identificaron a nivel de familia y morfoespecie. Sin embargo, los resultados no mostraron ninguna tendencia particular asociada a los coleópteros, ni correlaciones con las variables del suelo o la comunidad bacteriana, aunque sí resultó ser el grupo de artrópodos edáficos dominante en la región sur. En cambio, se obtuvieron correlaciones con parámetros asociados a calidad del suelo con el grupo de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) que, además, como se describió en los párrafos anteriores, han sido documentadas en otros estudios, aunque no con las regiones, cultivos y objetivos que se abordaron en este trabajo.

Las hormigas han sido propuestas por distintos autores como un grupo bioindicador que puede brindar información en diversos contextos (agricultura, zonas de actividad minera, sitios bajo restauración ecológica, entre otros) sobre el estado del suelo, la biodiversidad asociada, el estado de conservación o la tasa de recuperación de determinado sitio (Andersen y Meyer, 2004; Perfecto y Vandermeer, 2002; Lobry de Bruyn, 1999). Dentro de este estudio, obtuvimos varias correlaciones que asocian a este grupo de artrópodos con variables específicas que se miden para determinar la calidad y tipo de suelo (pH, densidad

aparente y cantidad de limo) y, de manera un poco menos directa, con el primer componente del PCA que agrupa variables asociadas a una descripción sintética de los suelos muestreados en este estudio.

La familia Formicidae es considerada ingeniera del ecosistema (Lavelle, 2005, Bagyaraj et al, 2016), pues sus integrantes son organismos capaces de modificar en gran medida el ambiente en el que habitan, cambiando las condiciones bióticas y abióticas y, por tanto, modificando la disponibilidad de recursos para los organismos que coexisten con ellos (Jones et al., 1994). De manera específica, las hormigas tienen un impacto considerable en el suelo porque, al ser ingenieras ecosistémicas, modifican su estructura, su aereación y su retención de agua, además de provocar la mezcla de los distintos horizontes del suelo al construir túneles y nidos en él (Bagyaraj et al., 2016). Particularmente para este estudio, las correlaciones y la dominancia que se encontraron coinciden con lo reportado anteriormente y refuerzan la evidencia que se tiene sobre el papel de las hormigas y su importancia en las dinámicas del suelo.

Es importante mencionar que, a pesar de que un gran número de estudios reconoce la importancia de este grupo en los procesos de formación y mantenimiento del suelo, en ocasiones los agricultores pueden percibirlos como plagas, debido a lo numerosas que llegan a ser sus colonias y a que tienen hábitos alimenticios herbívoros (Lavelle y Ruiz, 2008). En algunas localidades de México, como es Zapotitlán, Puebla, los agricultores reconocen en particular a las hormigas del género *Atta*, y las nombran como “hormigas arrieras” (Piña, 2018), considerándolas nocivas para su producción agrícola. Por otra parte, una revisión realizada por Farji y Tadey (2009) describe la importancia particular de este género de hormigas en el mantenimiento de la fertilidad de suelos, a través de procesos como la modificación de su porosidad o el almacenamiento de material vegetal en sus nidos. En ese sentido, se considera importante realizar una caracterización taxonómica más detallada sobre la estructura particular de esta familia de artrópodos, dado que el carácter exploratorio de este trabajo no contempló la profundización para este grupo en particular, y dicha información podría aportar de manera importante sobre la ecología de las hormigas en los suelos agrícolas de México, además de retroalimentar el conocimiento local de los agroecosistemas.

## VII. Limitaciones del trabajo

En este trabajo, se obtuvieron varias correlaciones significativas entre variables asociadas a la comunidad de artrópodo-fauna y parámetros fisicoquímicos del suelo, aunque ninguna entre la comunidad de artrópodo-fauna y la bacteriana, por lo que no es posible realizar ninguna conclusión respecto a la posible utilidad de la artrópodo-fauna como indicador de la calidad de suelo en función de su relación con las bacterias de suelo. Lo anterior puede atribuirse a que, debido al carácter exploratorio de este trabajo, no se muestrearon de forma dirigida organismos de los grupos Collembola o Acarida, que son los grupos para los que estudios anteriores reportan relaciones estrechas con bacterias, principalmente a través de interacciones de depredación (Creamer et al., 2015., Bagyaraj et al., 2016). (Bedano et al., 2006, Bedano et al. 2011) y son sensibles a condiciones abióticas que afectan la calidad del suelo, como es la cantidad de humedad presente (Chikoski et al., 2006). Estos grupos, además, se han usado para evaluar la degradación de suelos. Sin embargo, la mesofauna no puede observarse y caracterizarse fácilmente, por lo que puede ser útil conocerla en términos de saber qué información puede aportar sobre la dinámica del suelo, pero no tanto para una evaluación exploratoria y rápida, sin demasiada precisión, del estado del suelo. Además, la colecta dirigida de estos grupos habría de requerido de mayor tiempo en campo, de equipamiento especial para procesar las muestras y de un tiempo mayor de identificación de los organismos. Por lo anterior, se sugiere que los estudios de este tipo deben considerar a la mesofauna presente en el sitio y realizar esfuerzos de muestreo complementarios (toma de muestras de suelo, distintos tipos de trampas) que permitan explorar todos los grupos de organismos presentes en un agroecosistema. También, se sugiere considerar las diversas técnicas de muestreo que se utilizan para caracterizar comunidades de artrópodos edáficos. El uso de únicamente una técnica puede provocar sesgo en los datos hacia un grupo taxonómico particular debido a las diferencias en la capacidad de movimiento, tamaño y los hábitos de todos los organismos que viven en el suelo (Woodcock, 2005).

En este trabajo se hizo uso de trampas pitfall debido a que se buscaba un método de

muestreo que fuera fácil de implementar y de bajo costo, tomando en cuenta que se deseaba que la caracterización de los artrópodos se llevara a cabo de manera rápida y accesible; sin embargo, las trampas pitfall pueden no ser del todo eficientes para caracterizar la artrópodo-fauna edáfica. Por ejemplo, González (2018) hizo uso de dos técnicas, colecta con trampas pitfall y colecta con redes de golpeo, para caracterizar la comunidad de artrópodos presentes en cultivos de maíz en el Valle de Zaachila, Oaxaca en dos tipos de manejo agrícola (agroecológico e intensivo), encontrando diferencias significativas con los datos obtenidos en el muestreo con red, pero no con los de trampas pitfall. En ese sentido, es necesario considerar los posibles errores derivados del uso de las trampas pitfall como único método de muestreo al realizar conclusiones con los datos obtenidos.

Por otra parte, los resultados que arroja este trabajo deben ser considerados con cautela, puesto que el estudio abarca sólo una temporada (de lluvias) en un año en particular (2016), por lo que no considera la variación que puede sufrir la comunidad de artrópodo-fauna debido a la temporalidad, tanto de estaciones como de años.

Este estudio se realizó con apoyo de productores agrícolas en el estado de Guanajuato, quienes permitieron que se realizara la toma de datos en sus parcelas. Esta forma de trabajo es muy valiosa porque permite obtener los datos directamente en el sitio en el que están ocurriendo los procesos ecológicos. Sin embargo, también presenta desventajas y complicaciones. En el caso de este trabajo, ocurrió que, por situaciones propias de las prácticas agrícolas, el número de sitios que se había planteado originalmente en el estudio se redujo, pasando de ser 11 parcelas para cada región (norte y sur) a ser de 12 en Guarapo y 10 en San Felipe, reduciendo el número de muestras que estarían disponibles para el estudio. No obstante, al realizar los análisis se procuró que los datos pudieran ser manejados correctamente. Por lo anterior, se recomienda que en estudios de este tipo se considere que pueden ocurrir eventualidades que modifiquen el diseño experimental e intentar tener un control sobre la mayor cantidad de variables posibles, por ejemplo, mediante la toma de muestras en muchas más parcelas o el uso de parcelas experimentales.

Para el proyecto *Biodiversidad y ecología funcional de suelos: conservación y resiliencia en*

*sistemas naturales, agroecológicos y agroforestales*, en el que se enmarca esta tesis, el principal aporte de este trabajo ha sido la caracterización de los grupos de artrópodos presentes en los agroecosistemas de los dos cultivos que se estudiaron, en dos de las regiones en las que se realizó el estudio y sus relaciones con el estado del suelo, así como la exploración de las asociaciones entre los macroartrópodos presentes y la comunidad bacteriana. Aunque para este último aspecto no obtuvimos resultados como los que se hipotetizaban, sí es posible hacer sugerencias para futuros estudios, como son intentar caracterizar otros grupos de artrópodos, no únicamente los que viven en la parte superficial del suelo, y hacer uso de diversas técnicas y métodos para lograrlo. Por otra parte, el estudio general buscaba reflejar y entender mejor la heterogeneidad de condiciones geográficas, de cultivos y de manejo agrícola que se encuentran presentes en México. En este sentido, este trabajo encontró que sí existe una diferencia en la composición de la comunidad de artrópodos dentro de cada región. De hecho, aunque ambas zonas pertenecen al mismo estado político, se han ubicado en regiones agroecológicas distintas (Contreras et al., 2012). Aunque a nivel de orden los grupos que se encontraban eran similares, a nivel de familia la composición era distinta; sin embargo, no se encontraron diferencias asociadas al tipo de cultivo (maíz y frijol), más allá de sus diferencias en los perfiles de diversidad. Lo anterior se puede atribuir a que la configuración espacial de las parcelas en las que se trabajó no favoreció una separación considerable de ambos cultivos, pues en varios casos los surcos de maíz y frijol quedaban muy cerca unos de otros. En ese sentido, se sugiere que estudios posteriores consideren la distancia espacial si lo que se desea es explorar diferencias entre tipos de cultivos, aunque es necesario mencionar también que este arreglo espacial es ampliamente utilizado en México, por lo que fue difícil encontrar una configuración espacial más conveniente en este campo. Finalmente, para fines de interés de este proyecto y de los productores con los que se trabajó, proponemos a las hormigas como grupo de macroartrópodos que puede brindar información sobre el estado del suelo dadas sus relaciones con variables fisicoquímicas que se encontraron en este trabajo y su conspicuidad. Si bien aún se debe profundizar en su estudio, en este trabajo encontramos evidencia de que, al menos para la zona en la que se trabajó, pueden funcionar como un grupo indicador de la calidad y tipo del suelo.

## Conclusiones

En un escenario de degradación del suelo y pérdida de biodiversidad como el que se vive actualmente, es apremiante la búsqueda de métodos de evaluación y monitoreo de los suelos que sean integrales y accesibles para quienes los trabajan. En ese sentido, este trabajo aportó una caracterización y exploración de la comunidad de macroartrópodos edáficos en suelos asociados a dos de los cultivos agrícolas más importantes en México, en dos ecorregiones del estado de Guanajuato, y su relación con el estado del suelo y la comunidad bacteriana.

Este trabajo hizo uso de herramientas de taxonomía y estadística para explorar las relaciones entre las comunidades bacterianas y de artrópodo-fauna y algunos parámetros físicoquímicos asociados a la calidad del suelo. Aunque no es posible extrapolar los resultados obtenidos a todos los escenarios de manejo agrícola ni a las condiciones bióticas y abióticas de otros agroecosistemas de México y de otras regiones del mundo, este estudio propone, al menos para el sitio de estudio, a las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) como un grupo que, debido a su funcionalidad en el ecosistema, a su conspicuidad y a las relaciones que parece tener con diversas variables asociadas a la calidad y tipo de suelo, podrían funcionar como un indicador integral de su estado.

Por otra parte, se sugiere que es necesaria la realización de estudios que continúen explorando no sólo las relaciones ecológicas que se establecen entre la familia Formicidae y el suelo, sino también entre ella y otros grupos de organismos edáficos. Por otra parte, también son importantes las investigaciones que consideren la temporalidad en la relación artrópodo-fauna-suelo en la búsqueda de indicadores de su calidad, así como las interacciones biológicas entre organismos de diversos grupos taxonómicos y niveles tróficos.

## Referencias

- Abbott, I., 1989. The influence of fauna on soil structure. En: Majer, J.D. (Ed.), *Animals in Primary Succession: The Role of Fauna in Reclaimed Lands*. Cambridge University Press, City, pp. 39- 50.
- Aislabie, J. y Deslippe, J. 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. En: Dymond J. (ed.) *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, Nueva Zelanda.
- Andersen, A. N. y Majer, J. D. 2004. Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(6): 291–298.
- Bagyaraj, D., Nethravathi C., Nitin, K. 2016. Soil biodiversity and arthropods: Role in soil fertility. En: Chakravarthy, A. y Sridara, S. (eds) *Economic and ecological significance of Arthropods in Diversified Ecosystems*. Springer, Singapur.
- Bardgett, R. y Van Der Putten, W. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515: 505–511.
- Bautista, F. 1998. Conservación y manejo de los suelos. *Ciencias*, 50:50-55.
- Bedano, J., Cantú, M., y Doucet, M. 2006. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *European Journal of Soil Biology*, 42(2), 107–119.
- Bedano, J., Domínguez, A., y Arolfo, R. 2011. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil and Tillage Research*, 117, 55–60.
- Bender, S. F., Wagg, C., y Van der Heijden, M. 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6): 440–452.
- Biodiversidad y ecología funcional de suelos: conservación y resiliencia en sistemas naturales, agroecológicos y agroforestales. Propuesta de proyecto en el marco de la convocatoria CONACyT de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales 2014.
- Bohlen, P., Parmelee, R., McCartney, D., y Edwards, C. 1997. Earthworm effects on carbon and nitrogen dynamics of surface litter in corn agroecosystems. *Ecological*

*Applications*, 7(4): 1341–1349.

- Bolívar, F., Martínez A., Escalante A., Gosset G. 2004. Diversidad bacteriana del suelo: métodos de estudio no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas. *Agrociencia*, 38(6): 583-592.
- Botinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M. y Peng, X. 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil & Tillage Research*, 146: 118-124.
- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y forrajes*, 35(4): 349-364.
- Chang, X., Gao, H., Chen, F. y Zhai, B. (2008). Effects of environmental moisture and precipitation on insects: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 27: 619-625.
- Chikoski, J., Ferguson, S., y Meyer, L. (2006). Effects of water addition on soil arthropods and soil characteristics in a precipitation-limited environment. *Acta Oecologica*, 30(2): 203–211.
- Collins, W. y Qualset, C. 2000. *Biodiversity in agroecosystems*. Lewis Publishers. Estados Unidos de América.
- Comisión Nacional Forestal (2013). Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. En:
- <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/fomento/documentos/degradacion-tierras-desertificacion2.pdf>. Consultado el 22 de noviembre de 2016
- Contreras, C., Galindo, M. y Ibarra, E. 2012. Las regiones agroecológicas de México. p. 122-126. En: Mas, J. y Cuevas, G. (comps). *XIX Reunión Nacional SELPER-México. Memorias*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 402 pp.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina, L. Quiñones. 2007. La conservación de los suelos: un asunto de interés público, *Gaceta ecológica*, 83: 5-71.
- Cui, J., Holden, N. 2015. The relationship between soil microbial activity and microbial biomass. *Soil & Tillage Research*, 146: 32-38.
- soil structure and grassland management
- Domingo, J., Fernández de Villarán, F., Corral, E. y Rapp, I. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales*, 15(1), 14-23.

- Estrada, F. 2018. *Indicadores de calidad del suelo y productividad en cultivos de maíz bajo diferentes tipos de manejo: una integración entre la percepción de los productores y la ecología funcional de las plantas y suelos*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Farji-Brener, A. y Tadey, M. (2009). Contributions of leaf-cutting ants to soil fertility: Causes and consequences. Soil Fertility. En: Lucero, D. y Boggs, J. (eds) Soil Fertility. Nova Science Publishers, Estados Unidos de América.
- Figuerola, E., Guerrero, L., Rosa, S., Simonetti, L., Duval, M., Galantini, J., Erijman, L. (2012). Bacterial indicator of agricultural management for soil under no-till crop production. *PloS One*, 7(11)
- Figuerola, E., Guerrero, L., Türkowsky, D., Wall, L., y Erijman, L. 2015. Crop monoculture rather than agriculture reduces the spatial turnover of soil bacterial communities at a regional scale. *Environmental Microbiology*, 17(3): 678–88.
- Fortuna, A. (2012) The Soil Biota. *Nature Education Knowledge* 3(10):1
- Girvan, M. S., Campbell, C. D., Killham, K., Prosser, J. I., & Glover, L. A. 2005. Bacterial diversity promotes community stability and functional resilience after perturbation. *Environmental Microbiology*, 7(3): 301–313.
- Gkisakis, V., Kollaros, D., Bàrberi, P., Livieratos, I., y Kabourakis, E. 2015. Soil Arthropod Diversity in Organic, Integrated, and Conventional Olive Orchards and Different Agroecological Zones in Crete, Greece. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(3): 276–294.
- González, C. 2018. *Caracterización de la diversidad de coleópteros como indicadora de tipos de manejo agrícola contrastantes en Villa de Zaachila, Oaxaca* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hawksworth, D. 1991. *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB Internacional, Redwood Press, Inglaterra.
- Jones, C., Lawton, J., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373–386.
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlo, J., Lavelle, P., Lepage, M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology*, 32: 153-164.
- Katayama, N., Zhang, Z. Q., y Ohgushi, T. 2011. Community-wide effects of below-

- ground rhizobia on above-ground arthropods. *Ecological Entomology*, 36(1): 43–51.
- Kindt, R. y Coe, R. 2005. Tree diversity analysis: A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity issues. World Agroforestry Centre, África.
  - Koivula, M. 2011. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys*, 100: 287–317.
  - Laakso, J. y Setälä, H. 1997. Nest mounds of red wood ants (*Formica aquilonia*): hot spots for litter-dwelling earthworms. *Oecologia*, 111: 565–569.
  - Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function, *Advances in Ecological Research*, 27: 93–132.
  - Lavelle, P., Rouland, C., Binet, F., Diouf, M. y Kersanté, A. 2005. Regulation of microbial activities by roots and soil invertebrates, en Buscot, F., y Varma, A. (Eds.), *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*. Soil Biology series, vol. 3, Springer Verlag, Berlín, pp 629-638.
  - Lloyd, S., y Crotty, F. 2017. The Role of Soil Biology in Crop Nutrition. Game & Wildlife Conservation Trust. Disponible en <https://www.agricology.co.uk/sites/default/files/The%20Role%20of%20Soil%20Biology%20in%20Crop%20Nutrition%20FVC%20-%20Final.pdf>. Consultado el 25 de septiembre de 2018.
  - Lobry de Bruyn, L. A. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3): 425–441
  - Magoba, R. N., Samways, M. J., y Simaika, J. P. 2015. Soil compaction and surface-active arthropods in historic, agricultural, alien, and recovering vegetation. *Journal of Insect Conservation*, 19(3): 501–508.
  - Martínez, M. 2008. Grupos funcionales en Capital Natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad, México, pp 365-412.
  - Moreno, I. P., Ferrara, M. J., Luna, M. L., Ramírez, D. A., De León, A. S., Gómez, S., González, E., Ramírez, B., Navarro, Y. E., Sánchez, L. M., Fuentes, M., Macedas, J. U. y Dendooven, L. 2018. The Bacterial Community Structure and Microbial Activity in a Traditional Organic Milpa Farming System Under Different Soil Moisture Conditions. *Frontiers in Microbiology*, 9:2737
  - Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Lan DI, L., Pietramellar, G., y Renell, G. 2003.

Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 54(4): 655.

- Natural Resources Conservation Service (s.f.). Bulk density/Moisture/Aeration. En: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053260.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053260.pdf). Consultado el 13 de noviembre de 2018
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., Rodríguez y M. de L. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80:29-37.
- Neumann, P. y Elzen, P. J. 2004. The biology of the small hive beetle (*Aethina tumida*, Coleoptera: Nitidulidae): Gaps in our knowledge of an invasive species. *Apidologie*, 35(3), 229–247.
- Norhisham, A. R., Abood, F., Rita, M., & Hakeem, K. R. 2013. Effect of humidity on egg hatchability and reproductive biology of the bamboo borer (*Dinoderus minutus Fabricius*). *SpringerPlus*, 2: 9.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Boletín del Año Internacional de los Suelos para América Latina y el Caribe. En: <http://www.fao.org/soils-2015/resources/fao-publications>. Consultado el 20 de mayo de 2016.
- Perfecto, I. y Vandermeer, J. 2002. Quality of Agroecological Matrix in a Tropical Montane Landscape: Ants in Coffee Plantations in Southern Mexico. *Conservation Biology*, 16(1): 174–182.
- Piña, V. 2018. *Percepción de tres sectores sociales sobre la calidad y la problemática de los suelos agrícolas de México*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pompeo, P., de Oliveira Filho, L., dos Santos, M., Mafra, Á., Klauberg Filho, O., y Baretta, D. 2017. Morphological Diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in Agriculture and Forest Systems. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 41.
- Powlson, D., Hirsch, P. y Brookes, P. 2001. The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 41-51.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P., Lauber, C., Lozupone, C., Caporaso, J., Knight, R., Fierer, N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME journal*, 4: 1340-1351.
- Rousseau, L., Fonte, S.J., Téllez, O., van der Hoek, R. y Lavelle, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder

- agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27: 71-82.
- Ruiz, N. y Lavelle, P. 2008. Soil macrofauna field manual. Technical level. Food and Agriculture Organization, Italia.
  - Schowalter T. 2011. *Insect ecology: an ecosystem approach*. 3ra ed. Elsevier/Academic, Estados Unidos de América.
  - Schuldt, A., Wubet, T., Buscot, F., Staab, M., Assmann, T., Böhnke-Kammerlander, M., Bruelheide, H. 2015. Multitrophic diversity in a biodiverse forest is highly nonlinear across spatial scales. *Nature Communications*, 6.
  - Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., Zeyer, J. 2013. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation, *Biogeosciences*, 10(6): 3983-3996.
  - Shakir, M., y Ahmed, S. (2014). Seasonal abundance of soil arthropods in relation to meteorological and edaphic factors in the agroecosystems of Faisalabad, Punjab, Pakistan. *International Journal of Biometeorology*, 59(5), 605–616.
  - Ter Braak, C. y Šmilauer, P. 2014. Topics in constrained and unconstrained ordination. *Plant Ecology*, 216(5), 683–696.
  - Tóthmérész, B. 1995. Comparison of different methods for diversity ordering. *Journal of Vegetation Science*, 6(2), 238-290.
  - Triplehorn C. A. y Johnson N. F. 2006. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. 7a edición. Thomson Learning, Estados Unidos de América.
  - Tsiafouli, M., Kallimanis, A., Katana, E., Stamou, G., y Sgardelis, S. (2005). Responses of soil microarthropods to experimental short-term manipulations of soil moisture. *Applied Soil Ecology*, 29(1): 17–26.
  - Uphoff, N., Ball, A., Fernandes, E., Herren H., Husson O., Laing, M., Palm, M., Pretty, Sanginga, N., Thies J. 2006. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press, Estados Unidos de América.
  - Van der Heijden, M., Bardgett R., Van Straalen, N. 2008. The unseen majority. Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 11: 296-310
  - Van Straalen, N. y Verhoef, H. (1997). The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *The Journal of Applied Ecology*, 34(1): 217-232.

- Vázquez, G. 2018. *Rasgos funcionales de frijol (Phaseolus vulgaris L.) como indicadores potenciales de la calidad de suelo en agroecosistemas de Guanajuato* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Walter, J. 2018. Effects of changes in soil moisture and precipitation patterns on plant-mediated biotic interactions in terrestrial ecosystems. *Plant Ecology*.
- Wardle, D. A. 2004. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. *Science*, 304(5677): 1629–1633.
- White, R. E. 1983. *Field guide to the beetles of North America*. Houghton Mifflin Co.
- Woodcock, B. 2005. Pitfall trapping in ecological studies. En: Leather, S. (ed). *Insect Sampling in Forest Ecosystems*. Blackwell Publishing, Australia.
- Wu, T., Chellemi, D., Graham, J., Martin, K., y Roskopf, E.. 2008. Comparison of Soil Bacterial Communities Under Diverse Agricultural Land Management and Crop Production Practices. *Microbial Ecology*, 55 (2): 293–310.
- Zhang, L., Zhang, X., y Cui, W. 2014. Relationship between land use pattern and the structure and diversity of soil meso-micro arthropod community. *Ecotoxicology*, 23(4): 707–717
- Zhao, Z., Hui, C., He, D., y Li, B. 2015. Effects of agricultural intensification on ability of natural enemies to control aphids. *Scientific reports*, 5:1-7.