



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**Maestría en Agroecología y Desarrollo
Sostenible**

Trabajo de Tesis

**Macrofauna y microbiología edáfica:
relación con servicios ecosistémicos y
parámetros físicoquímicos del suelo en dos
agroecosistemas con café, San Ramón,
Matagalpa, 2016**

Autor

Ing. Gerardo Javier López Montenegro

Asesores

Dr. Dennis José Salazar Centeno

Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Ing. MSc. Leonardo José García Centeno

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2022



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**Maestría en Agroecología y Desarrollo
Sostenible**

Trabajo de Tesis

**Macrofauna y microbiología edáfica:
relación con servicios ecosistémicos y
parámetros físicoquímicos del suelo en dos
agroecosistemas con café, San Ramón,
Matagalpa, 2016**

Autor

Ing. Gerardo Javier López Montenegro

Asesores

Dr. Dennis José Salazar Centeno

Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Ing. MSc. Leonardo José García Centeno

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Maestro en Ciencias

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2022



Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Comité Evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Maestro en Ciencias en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Miembros del Comité Evaluador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

DEDICATORIA

A mi abuela Melida Blandón Ruiz (QEPD) y mi tío Eddy López Blandón (QEPD) por guiarme e instruirme para buscar el camino hacia el éxito.

A mis padres Gerardo López Blandón y Arcadia Montenegro, por enseñarme los valores que hoy practico y no darme por vencido, sino trabajar por los sueños.

A mis hijos, Mateo Sebastián, Yahir Samuel Isaac y Thelma Maradiaga por aguantarme en días de desvelos.

A mis hermanas, que siempre estaban para brindarme un mensaje de apoyo.

A mi amiga, Indiana Montoya, que siempre me motivo a seguir adelante, a continuar lo que había iniciado confiando que lograría terminarla.

A todos aquellos que se alegraban cuando les contaba que retomé mi tesis una vez más que no podría terminar de escribir, a todos ustedes les dedico esta tesis que me motivaron para poder seguir y no desistir de ser un maestro en ciencia.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mis tutores de tesis, el doctor Dennis José Salazar Centeno, por guiarme durante la realización de mi tesis; a mi amigo y tutor, master Hugo René Rodríguez González, que me enseñó que con poco puedes decir mucho; y mi tutor, maestro de generaciones Leonardo García Centeno.

Agradezco a Manuel Morales presidente de la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos UNAG – Nicaragua y al proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de incidencia en políticas públicas en SAN de tres organizaciones de pequeños productores que promueven la producción agroecológica y orgánica”, por disponer de recursos, a los productores Vicente Padilla García agricultor agroecológico y Francisco Padilla García agricultor convencional, que me permitieron realizar la investigación en sus unidades productivas.

A mi jefa, que me brindó el tiempo necesario para poder terminar la tesis de maestría.

Agradezco a la Facultad de Agronomía por brindarme la oportunidad de profesionalizarme en la prestigiosa Universidad Nacional Agraria

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.1. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Agroecología	4
3.2. Agroecosistema	5
3.3. Macrofauna edáfica	7
3.4. Microbiología edáfica	10
3.4.1. Actinomicetos	11
3.4.2. Bacterias	11
3.4.3. Hongos	13
3.5. Propiedades físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas	18
3.6. Servicios ecosistémicos	19
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1. Ubicación del estudio	22
4.1.1. Clima	23

4.1.2. Vegetación	23
4.1.3. Suelos	24
4.2. Diseño metodológico	24
4.3. Caracterización agroecológica de los agroecosistemas	24
4.4. Determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de la macrofauna	24
4.5. Determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos	25
4.6. Asociación de la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo	26
4.7. Análisis de datos	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. Caracterización agroecológica de los agroecosistemas	29
5.2 Riqueza, abundancia, funciones ecológicas y servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica	31
5.2.1 Riqueza y abundancia de la macrofauna en los agroecosistemas	32
5.2.2 Roles funcionales de la macrofauna edáfica en los agroecosistemas	39
5.2.3 Servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica	44
5.3. Riqueza, frecuencia de identificación, unidades formadoras de colonias, funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos	47
5.3.1 Riqueza, frecuencia de identificación y unidades formadoras de colonias por gramo de suelo de los microorganismos edáficos	48
5.3.2 Funciones y servicios ecosistémicos de la microbiología edáfica	51
5.4. Asociación de la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo	65

5.4.1. Relación de la abundancia de la macrofauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo	65
5.4.2. Relación de la frecuencia de identificación de los géneros de microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo	70
VI. CONCLUSIONES	76
VII. RECOMENDACIONES	77
VIII. LITERATURA CITADA	78

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Determinantes del agroecosistema que influyen el tipo de agricultura de cada región	6
2	Tipos de servicios ecosistémicos en cada grupo de acuerdo al MEA (2005).	20
3	Lotes de los agroecosistemas acorde al manejo que ha realizado cada productor	22
4	Medios de cultivos y métodos que se implementaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria	26
5	Parámetros o indicadores químicos de calidad de suelo y métodos que se implementados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria	27
6	Total de clases en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016	33
7	Total de órdenes en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016	35
8	Total de familias en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016	37
9	Roles funcionales de la macrofauna del suelo en dos agroecosistemas de café en San Ramón, Matagalpa	42
10	Servicios ecosistémicos de la macrofauna del suelo en dos agroecosistemas de café en San Ramón, Matagalpa	46
11	Géneros de microorganismos edáficos, frecuencia de identificación (N), unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC g⁻¹ de suelo) en dos agroecosistemas de café, San Ramón, Matagalpa	55
12	Géneros de microorganismos edáficos acorde a los procesos que participan en ambos agroecosistemas	64

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Precipitaciones anuales del 2010 al 2016 de los agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, comunidad La Grecia, San Ramón, Matagalpa, Nicaragua	23
2	Asociación de la abundancia de las familias de macro fauna edáfica con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Espadilla (AE), San Ramón	68
3	Asociación de la abundancia de las familias de macro fauna edáfica con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Vecina (AV), San Ramón	70
4	Asociación de la frecuencia de identificación de los microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Espadilla (AE), San Ramón	73
5	Asociación de la frecuencia de identificación de los microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Vecina (AV), San Ramón	74

RESUMEN

El conocimiento de la macrofauna y microbiología edáfica presentes en los agroecosistemas y su contribución a los servicios ecosistémicos y el grado de asociación de estos organismos con las características físicas y químicas de los suelos son fundamentales para una buena gestión agroecológica de los agroecosistemas. El objetivo de la presente investigación consistió en relacionar la macrofauna y los microorganismos edáficos con los servicios ecosistémicos según Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) y las propiedades físicas y químicas del suelo en dos agroecosistemas con café, en San Ramón, Matagalpa. El enfoque de la investigación fue mixto, alcance descriptivo y correlacional, con un diseño no experimental transeccional para lo cual se aplicaron diferentes metodologías. El agroecosistema La Espadilla se gestiona con enfoque agroecológico, con diseños y manejos de la biodiversidad complejos y con un balance aparente de nutrientes negativo, que fomenta la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica. El agroecosistema La Vecina se gestiona con enfoque convencional, con diseños y manejos de la biodiversidad poco complejos y con un balance aparente de nutrientes positivo, que contribuye a mayores unidades formadoras de colonias por gramo de suelo de los microorganismos edáficos, principalmente las de *Streptomyces* sp, *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp y *Sarcinas* sp. Los roles funcionales de las familias de la macrofauna y de los géneros de los microorganismos edáficos están más relacionado con los servicios ecosistémicos de apoyo, regulación y cultural. Las relaciones entre la abundancia de las familias de la macrofauna edáfica con parámetros físicos y químicos del suelo y las que acontecen entre la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiología edáfica con características físicas y químicas del suelo pueden ser antagónicas, si una afecta a la otra, sinérgica positiva, cuando ambos se benefician, sinérgica negativa, si ambos se perjudican o no existe asociación o relación entre estas.

Palabras Clave: macrofauna, microorganismos edáficos, microbiología, agroecosistema, servicios ecosistémicos, rol funcional, edáficos, físicoquímicas.

ABSTRACT

The edaphic organisms (macrofauna and microorganisms) present in agroecosystems contribute to ecosystem services according to the degree of association of these together, with the physical and chemical characteristics of the soils, knowing these interactions is essential for adequate agroecological management. The objective of this research was to relate the interaction between macrofauna and edaphic microorganisms with ecosystem services according to the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) and the physical and chemical properties of the soil in two agroecosystems with coffee, in San Ramón, Matagalpa. The research approach was mixed, descriptive, and correlational scope, with a non-experimental transactional design for which different methodologies were applied. La Espadilla agroecosystem is managed with an agroecological approach, with complex designs and management of biodiversity, and with an apparent balance of negative nutrients, which promotes the diversity and abundance of the edaphic macrofauna. La Vecina agroecosystem is managed with a conventional approach, with less complex designs and management of biodiversity and with an apparent balance of positive nutrients, which contributes to greater colony-forming units per gram of soil of edaphic microorganisms, mainly those of *Streptomyces* sp, *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp and *Sarcinas* sp. The functional roles of the families of macrofauna and the genera of microorganisms are more related to ecosystem support, regulation, and cultural services. The relationships between the abundance of the families of the edaphic macrofauna with physical and chemical parameters of the soil, and those that occur between the frequency of identification of the genera of the edaphic microbiology with physical and chemical characteristics of the soil, can be antagonists, if one affects the other, positive synergy, when both benefit, negative synergy, if both harm each other or there is no association or relationship between them.

Keywords: macrofauna, soil microorganisms, microbiology, agroecosystem, ecosystem services, functional role, edaphics, physicochemicals.

I. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua, la gestión de la producción de café se realiza de manera convencional, orgánica o agroecológica. Tradicionalmente, esta es convencional, la que necesita enormes cantidades de insumos con la finalidad de aumentar sus rendimientos por áreas de producción, mientras las producciones con gestiones alternativas aportan al crecimiento y equilibrio en el sistema. Esto indica, que la gestión del agroecosistema puede afectar negativamente o positivamente las relaciones ecosistémicas por la estrecha interrelación que tienen la macrofauna y microorganismos en los sistemas productivos, a su vez estos con los servicios ecosistémico y las propiedades físicas y químicas del suelo.

La diversidad de población de macrofauna cumple con roles específicos o servicios ecológicos que contribuyen para mantener un equilibrio en el agroecosistema, si se rompe este equilibrio algunas poblaciones benéficas podrían verse afectadas, otras se convierten en plagas o enfermedades que provocan pérdidas económicas para el productor. La macrofauna “tiene importancia en las transformaciones de la materia orgánica y de las propiedades físicas del suelo, al establecer canales y poros que favorecen la aeración, drenaje, la estabilidad de agregados y la capacidad de retención” (Cabrera, 2019, p. 1).

Los microorganismos por su parte, pueden participar en la descomposición de la materia orgánica, interrelacionándose con otros organismos en un mutualismo con el fin de sobrevivir, participar en procesos de separación de compuestos químicos presentes en los suelos que ayudan de manera positiva para la disponibilidad de nutrientes importantes para el crecimiento de las plantas; también en el agroecosistema hay presencia de microorganismos que se alimentan de otros organismos, unas que sobreviven afectando distintos órganos de las plantas hasta causar la muerte de éstas. “Factores abióticos, como la climatología, las características físicas y químicas del suelo, influyen directamente en el tipo de interacción de estos organismos y la expresión de los efectos benéficos o detrimentales, determinantes en el desarrollo de las especies vegetales” (Cano, 2011, p. 16).

La macrofauna y los microorganismos participan en roles funcionales en los agroecosistemas que aportan al mantenimiento del suelo, su participación en estos roles funcionales puede contribuir a la mejora de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. Zavaleta (2019), encontró que la macrofauna edáfica se correlaciona con algunas propiedades físicas-químicas del suelo. Los ingenieros del suelo, herbívoros y depredadores se relacionan con la materia orgánica (MO) y que los detritívoros en suelos con alta densidad aparente es baja la concentración de Ca, Mg y K y los depredadores presentan una baja relación con la MO (p. 48). Según Bardgett (2005) “la relación entre las propiedades del suelo y la función ecosistémica depende en gran medida de las complejas interacciones entre las plantas y el suelo” (Citado por Vásquez, 2019, p. 61).

El conocimiento de la macrofauna y microbiología edáfica presentes en los agroecosistemas y su contribución a los servicios ecosistémicos y el del grado de asociación de estos organismos con las características físicoquímicas de los suelos son esenciales para una buena gestión agroecológica de los agroecosistemas. En el presente estudio se hace una relación de la macrofauna y los microorganismos edáficos con los servicios ecosistémicos y parámetros físicos y químicos del suelo en dos agroecosistemas con café, en San Ramón, departamento de Matagalpa, Nicaragua.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Relacionar la macrofauna y los microorganismos edáficos con los servicios ecosistémicos y las propiedades físicoquímicas del suelo en dos agroecosistemas con café.

2.1. Objetivos específicos

- Caracterizar agroecológicamente dos agroecosistemas con café considerando los estudios agroecológicos de estos.
- Determinar las funciones y los servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica en dos agroecosistemas con café.
- Determinar las funciones y los servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos en dos agroecosistemas con café.
- Asociar la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo en dos agroecosistemas con café.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Agroecología

El término agroecología se puede definir de una manera sencilla separando la palabra agro de agricultura y ecología. Gliessman (2002), la define como “la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles” (p. 13). Altieri y Nicholls (2000), consideran que es “la disciplina científica que enfoca el estudio de la agricultura desde la perspectiva ecológica” (p. 14). En ambos casos involucran el estudio de los distintos procesos como el reciclaje de nutrientes, tipo de cultivo, rotación de cultivos, distanciamiento entre plantas, macrofauna edáfica, microorganismos, la parte económica, social y ambiental en los existentes en agroecosistemas agrícolas, pecuarios o forestales.

Estamos ante una nueva alternativa de producción que aprovecha los procesos que realiza de manera natural los ecosistemas, estos buscan una armonía en la producción de alimentos libres de pesticidas y sobre todo asegurar una buena alimentación para las familias campesinas. “La idea es explotar las complementariedades y sinergias que surgen al combinar cultivos, árboles y animales en diferentes arreglos espaciales y temporales.” (Altieri y Nicholls, 2000, p. 15)

Este tipo de agricultura nace como necesidad de los productores por proteger los suelos, evitar la contaminación por el abuso uso de químicos para el control de arvenses, plagas y enfermedades, la utilización de semillas modificadas [*transgénicos*], mal uso del recurso agua, el monocultivo en los agroecosistemas y sobre todo disminuir la dependencia de los insumos agrícolas que poseen los agricultores. La ventaja de la agroecología permite conjugar otros enfoques como la agricultura biodinámica, ancestral, orgánica, permacultura y la agricultura con pocos insumos agrícola.

La integración de la agroecología promueve otros procesos a nivel ecosistémico que sobrepasan los límites de una finca o sistema productivo y que se insertan en el tejido social; por ello es un marco propicio para el desarrollo social, con una base local, endógena, que responde e intenta alcanzar o solucionar las necesidades, carencias y expectativas de las familias de agricultores (Funes, 2007, p.59).

La agroecología viene a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional en las familias productoras, al realizar prácticas ecológicas además de no contaminar el ambiente, contribuye en la salud de las personas. Su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es porque ambas buscan la sostenibilidad de las familias, mejoras en el proceso productivo con una visión de la sustentabilidad; además de contribuir con la mejora visual del ecosistema y la resiliencia que se atribuye aquellos agroecosistemas con manejo agroecológico.

La agroecología aporta positivamente de varias maneras a 10 de los 17 ODS (...) En Kenia, se vieron impactos positivos al ampliar el acceso a alimentos seguros, nutritivos y suficientes; incremento de la productividad y los ingresos de los agricultores; alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos, y mantener la diversidad genética. (Farrelly, 2017, p. 82)

3.2. Agroecosistema

El agroecosistema es el sitio donde el hombre interviene con el objetivo de producir alimentos agrícolas o pecuarios, madera, leña, fibras, plantas medicinales o industriales. “El concepto de agroecosistema se basa en principios ecológicos y en el entendimiento de los sistemas naturales” (Gliessman, 2002, p. 17).

En la agricultura moderna se representa por cuatro características: requieren fuentes auxiliares de energía que puede ser humana, animal y combustible para aumentar la productividad de organismos específicos. b. La diversidad es muy reducida en comparación con la de otros ecosistemas. c. Los animales y plantas que dominan, son seleccionados artificialmente y no por selección natural. d. Los controles del sistema son en su mayoría externos y no internos ya que se ejercen por medio de la retroalimentación del subsistema. (Restrepo et al., 2000, p. 18)

Lo anterior indica que siempre ha existido una amplia relación entre las plantas y los animales, que hacen al sistema y los agroecosistemas funcionen de manera normal. “Los sistemas agrícolas o agroecosistemas son una interacción compleja entre procesos sociales externos e internos y entre procesos biológicos y ambientales estos pueden ubicarse espacialmente al nivel del terreno de cultivo” (Restrepo et al., 2000, p. 11).

Estas propiedades del sistema representan que los sistemas productivos no solo se deben basar en la productividad, sino en otros comportamientos que se presentan en el agroecosistema, es así como la agroecología impacta en las decisiones que el productor debe de tomar para su producción y asegurar la disponibilidad de alimentos para su familia.

Estos arquitectos agrícolas, agricultores, diseñan a los agroecosistemas, principalmente, para cubrir las necesidades alimentarias, donde toman en cuenta características como el tipo de cultivo, rotación y disponibilidad de los recursos naturales. “Esto se debe a que la composición vegetal cultivada y espontanea puede manejarse en el tiempo y en el espacio con diferentes arreglos que permitan acompañar una actividad productiva sustentable...” (Fernandez y Marasas, 2015, p. 16)

Altieri et al., (1999) definen los determinantes del agroecosistema que influyen el tipo de agricultura de cada región, que se simplifican en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Determinantes del agroecosistema que influyen en el tipo de agricultura de cada región.

Tipos de determinantes	
Factores físicos:	Modelos de cultivos:
Radiación, temperatura, lluvia, suministro de agua (humedad, presión)	Rotación de cultivos
Condiciones del suelo:	Socioeconómicos:
Declive, disponibilidad de tierra	Densidad de población, organización social, economía (precios, mercados, capital y disponibilidad de crédito), asesoría técnica, herramientas de cultivo, grado de comercialización, disponibilidad de mano de obra.
Biológicos:	
Plagas de insectos y enemigos naturales, comunidades de malezas, enfermedades de plantas y animales, biota del suelo, entorno de vegetación natural, eficiencia de fotosíntesis	

Culturales:

Conocimientos tradicionales, creencias, ideologías, división sexual del trabajo, hechos históricos

Altieri et al., (1999)

Este diseño posee una complejidad en cada sistema de producción agrícola donde su funcionalidad depende de la cantidad de interacciones entre cada componente. El aporte de Altieri y Nicholls (2007) explica que las estrategias de diversificación agroecológica tienden a incrementar la biodiversidad funcional de los agroecosistemas. Estas interacciones entre las plantas, animales y microorganismos presentes en los ecosistemas, ayudan que la diversidad biológica sea rica y abundante.

3.3 Macrofauna edáfica

La abundancia de la macrofauna en el suelo se debe entender por su papel importante en el ecosistema, debido a su gran riqueza de especies presentes en los sistemas productivos. Esto puede ser traducido a una mayor descomposición de la materia orgánica, aireación en el suelo, soltura de los fragmentos de tierras, mejoras en los parámetros físicos del suelo; que a su vez permite que las plantas penetren sus raíces a mayor profundidad.

Nicholls y Altieri (2006), expresan que el manejo de la fertilidad del suelo puede influenciar la calidad de las plantas, la cual a su vez puede afectar la abundancia de insectos plaga y los niveles subsecuentes de daño por herbívoros. Es decir, que existe una relación entre la macrofauna edáfica y las propiedades físicas, químicas y biológicas en el suelo; esta relación puede ser de manera positiva y negativa dependiendo al tipo de manejo que se realice en el agroecosistema. La actividad de la macrofauna edáfica puede aumentar o disminuir la productividad del ecosistema (Brown et al., 2001. p.83).

Muchos organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isoptera) y las hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica (Cabrera, 2012, p. 350)

Lavelle (2000), expresa que “este grupo tienen un impacto específico en el interior del suelo a partir de la transformación de sus propiedades físicas, que favorecen la formación de agregados y la estructura, el movimiento y la retención del agua, así como el intercambio gaseoso” (Citado por Cabrera et al., 2011. p. 332).

La macrofauna edáfica tiene diversos roles funcionales:

Fitófagos

Son organismos que se alimentan de las plantas, estos pueden hacer daño en las hojas y flores, afectando la fotosíntesis de las plantas, además de su desarrollo y productividad (Brechelt, 2004, p.18). Cuando no se realiza control de estos fitófagos pueden provocar pérdidas económicas en los cultivos. El grupo que se alimenta de las plantas, lo constituyen los fitófagos o herbívoros y encontramos tres categorías: los masticadores, los succionadores y los formadores de agallas (Jiménez, 2009).

Los fitófagos potencialmente plagas forman parte del segundo nivel trófico (organismos heterótrofos), dado que encuentran su fuente de alimentación en la vegetación. A su vez, estos organismos fitófagos son fuente de alimento para los predadores y parasitoides que conforman el tercer nivel trófico. (Paleologos y Flores, 2014, p. 264)

Detritívoros

Participan en los procesos de descomposición de la materia orgánica, en este grupo se encuentran las lombrices, termitas y hormigas. Juegan un papel importante en el ciclo de los nutrientes y participan en ciertos ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno y el ciclo del fósforo. Cabrera et al., (2017) abarca gran parte de los invertebrados que habitan en el interior del suelo.

El grupo funcional de los detritívoros, abarca gran parte de los invertebrados que habitan en el interior del suelo (endógeos) y en su superficie (epígeos)... Sin la acción de los organismos detritívoros (e. g. ácaros oribátidos y uropodinos, colémbolos, proturos, psocópteros, lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, termitas), se hacen más lentos los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el suelo. (Cabrera et al., 2017. p. 256)

Depredadores

Son los que ayudan en la regulación de los organismos en los sistemas productivos. En algunos casos existen organismos que regulan a insectos plagas durante todas sus etapas de desarrollo. Algunos poseen una dieta variada de organismos que su presencia en el agroecosistema es considerada como positivo. Consumen invertebrados y pequeños vertebrados vivos, de forma que modifican el equilibrio de sus poblaciones, el balance entre estas y los recursos disponibles en el ecosistema (Cabrera et al., 2017. p. 258)

Los depredadores exterminan a los organismos dañinos cazándolos y devorándolos. No persiguen, en general, una especie determinada, y su movilidad hace que sean eficaces también contra poblaciones de baja densidad. Algunos depredadores se nutren, por épocas, de plantas y pueden ser destruidos por venenos de contacto o ingestión o por insecticidas sistémicos. (Brechelt, 2004, p.18)

Polífago

Son organismos que poseen una alimentación variada, estos se pueden nutrir de especies vegetales como especies animales. Los Polífagos que se alimentan de una amplia variedad de especies (Jiménez, 2009.).

Pero, si se alteran los sistemas productivos como el uso de tractores o uso de fertilizantes químicos incide en las poblaciones de la macrofauna, provocando una abundancia de plagas y disminución de la biomasa de los cultivos, lo que conlleva a un retardando el crecimiento y desarrollo.

Escobar et al., (2017), describen que “las perturbaciones ocasionadas por cambios de usos, como la conversión del bosque a pastos o a sistemas silvopastoriles podrían modificar la composición de la edafofauna y afectar la probabilidad de recuperación del ecosistema original” (p.41). Lo cual se traduce en una mayor degradación edáfica y pérdida de la calidad biológica del suelo.

3.4. Microbiología edáfica

La diversidad de organismo en el suelo es muy amplia, pero una parte de la llamada rizósfera se puede encontrar rizobacterias o bacterias promotoras del crecimiento de los vegetales. Estos contribuyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas donde estos microorganismos estén presentes, así como la protección de agentes patógenos que pueden afectar a los cultivos. Pedraza et al., (2010) afirma que en la “rizósfera constituye uno de esos puntos sensibles para el cultivo porque concentra una gran actividad metabólica con intercambio de nutrientes entre la atmósfera y el suelo, ahí se observa la acción e interacción de plantas y microorganismos del suelo” (p. 157).

La biología del suelo ejerce un efecto directo en las plantas, cuando al alimentarse a través de las raíces estas establecen relaciones mutualistas o antagónicas con organismos del suelo, como las micorrizas (Nicholls y Altieri, 2006). Estos microorganismos proporcionan beneficios para que otras poblaciones de organismos puedan subsistir, algunas de las funciones están asociados en la fijación y mineralización de nutrientes, solubilización de compuestos inorgánicos, oxidación y reducción de compuestos químicos; en el aspecto potenciador en el desarrollo radicular en la planta, mejoras en las propiedades físicas del suelo, asimilación de los nutrientes disponibles y aumento de las defensas de las plantas ante el ataque de patógenos externos. Pozo et al., (2004) reporta que estos, incluyendo benéficos que interactúan y permiten mejorar el crecimiento y la nutrición vegetal, favorecen la tolerancia a estrés, el control de plagas y la polinización (Ramírez y Rodríguez, 2012. p. 278).

Estos microorganismos, que se encuentran cercano a las raíces, juegan un papel importante como modificadores del suelo, ayudan en la mineralización de nutrientes para ser disponibles por la planta y como promotores del crecimiento vegetativo que a su vez ayuda al control de posibles infecciones de otros patógenos. Estos microorganismos edáficos se subdividen en tres grupos. Actinomicetos, bacterias y hongos.

La multifuncionalidad de los microorganismos en los sistemas agrícolas, se expresa de acuerdo a una serie de factores bióticos, como la competencia con otros microorganismos, la composición biológica del suelo, el reconocimiento planta microorganismo y viceversa. (Cano, 2011, p. 16).

3.4.1. Actinomicetos

Streptomyces sp

Juegan un papel importante en los procesos biológicos del suelo, se encuentra entre los microorganismos útiles en el biocontrol de fitopatógenos. Estos Actinomycetes están presentes en suelos fértiles; son bacterias Gram positivas, aerobias y principales degradadores de la materia orgánica, capaces de producir sustancias antimicrobianas formas de crecimiento (López y Lemus, 2019, p. 3).

Son considerados saprófitos, el papel como patógenos de los *Streptomyces* está relacionado con el hecho de ser agentes etiológicos de actinomicetomas; sin embargo, aún no está bien definido su papel como agentes productores de infecciones sistémicas (Hidrin et al., 2001, p. 84).

3.4.2. Bacterias

Bacillus sp

Es una bacteria que tiene mecanismos que pueden fortalecer el crecimiento de las plantas, también puede actuar en el control biológico de patógenos, en la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos logrando disponer los nutrientes para la planta. Entre las ventajas que les proporciona a las plantas la presencia de *Bacillus sp.* en su hábitat se destacan el control biológico de microorganismos fitopatógenos, la participación en la nutrición mineral y la fijación biológica de nitrógeno (Obrerá et al., 2005).

“Algunas especies de *Bacillus*, como *B. subtilis*, producen antibióticos y son consideradas rizobacterias promotoras del crecimiento, debido a que ejercen control biológico sobre algunos patógenos del suelo” (Loredo et al., 2004, p. 231).

La interacción del género *Bacillus* con el hábitat terrestre puede ocurrir de forma directa o indirecta. La forma directa, cuando actúa como agente rizosférico, el cual tiene la capacidad de degradar sustratos derivados de la fauna, la flora y los compuestos de origen orgánico como los hidrocarburos (...). De forma indirecta, cuando actúa en la producción de sustancias antagonistas de patógenos o induciendo mecanismos de resistencia. (Corrales et al., 2017, p. 56)

Pseudomonas sp

Es una bacteria con una gran capacidad de adaptación por utilizar fuente de energía del carbono y el nitrógeno para su nutrición. En la microbiota rizosférica por su habilidad para utilizar un amplio rango de sustratos carbonados, se cree que estas bacterias son atraídas y estimuladas por la presencia y la composición de distintos exudados radiculares (Marrero et al., 2015).

Este género bacteriano constituye un excelente ejemplo de la combinación de múltiples mecanismos a través de los cuales ejerce un efectivo control biológico, incluyendo el antagonismo directo y la inducción de resistencia en la planta (Álvarez et al., 2015, p. 226).

Sarcinas sp

Son bacterias anaeróbicas obligadas y son extremadamente ácido – tolerantes, pudiendo fermentar azúcares y crecer a pH inferior a 2; también tiene un rol biológico saprófito. Carrillo (2003), manifiesta que las bacterias del género *Sarcina sp.* son fermentativas acidogénicas, cocáceas, grampositivas, anaerobias y saprófitas del aparato digestivo, identificadas en el tracto animal vacuno, estas sobreviven durante el proceso digestivo que conlleva la alimentación y son excretadas con el estiércol que al finalizar el proceso de homogenización. Esta habita en sitios como suelos, barro, heces y en el contenido estomacal. Esta bacteria se alojan en el aparato digestivo [trato ruminal] de los rumiantes, al ser expulsas por la excreta, es decir, permanece en el estiércol y sirven como alimento para las lombrices (Rodríguez, 2014, p. 34).

Otros autores reportan a *Sarcina* como degradador de bacterias (Abad 2017, p. 25), posee un gran potencial en la biorremediación hidrocarburos en los suelos (Gavilánez, 2013, p.11), y como biodegradador del agroquímico 1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil) etano (Noguera-Solis y Huete-Pérez, 2008, p. 61).

3.4.3. Hongos

Aspergillus sp

Es un hongo, que obtiene sus nutrientes a partir de materia orgánica. Carrillo (2003), se encuentra formado por hifas hialinas septadas y puede tener reproducción sexual con formación de ascosporas en el interior de ascas y asexual con formación de conidios (p. 44). Es uno de los principales productores de micotoxinas, que son metabolitos secundarios producidos y secretados durante el proceso de degradación de la materia orgánica, como mecanismo de defensa frente a otros microorganismos. Este género de hongos se convierte en un problema cuando no se encuentra en el suelo, sino en los órganos reproductores de estos cultivos (Rodríguez, 2014, p. 29).

Fusarium sp

Este hongo puede sobrevivir en la materia orgánica, al encontrar un hospedero (planta), comienza con una infección en las raíces o en partes de la planta por encima del suelo, a través del aire o el agua. Según Leslie y Summerell (2006), se encuentran entre los patógenos de plantas más comunes y extendidos en el mundo y son de gran importancia económica. Sin embargo, la colonización se restringe en cultivares tanto resistentes como susceptibles.

Fusarium, tiene la capacidad de sobrevivir por largos periodos en el suelo, debido a sus estructuras de resistencia denominadas clamidosporas, lo que vuelve inefectiva cuando se realiza la rotación de cultivos a corto plazo. Esta enfermedad afecta durante el establecimiento de los viveros de café, el tallo presenta pudrición y en algunos casos coloraciones púrpuras, indicando la infección del hongo.

Al respecto, Ma et al., (2013) lo describen como un patógeno en cultivos de importancia agrícola, que ocasiona enfermedades caracterizadas por marchitez, tizones, pudriciones en cultivos ornamentales y forestal en ecosistemas agrícolas y naturales (citado por Villa-Martínez et al., 2014, p. 195).

***Macrophomina* sp**

Mihail, (2001) describe al hongo como un fitopatógeno con origen en el suelo y semilla. Causa enfermedad en más de 500 especies vegetales, incluyendo hospedantes de importancia económica como soya (*Glycine max*) L., frijol (*Phaseolus vulgaris*) L., papa (*Solanum tuberosum*) L., maíz (*Zea mays*) L., sorgo (*Sorghum bicolor*) L., cacahuate (*Arachis hypogaea*) L., chile (*Capsicum annuum*) L., garbanzo (*Cicer arietinum*) L., algodón (*Gossypium hirsutum*) L. y canola (*Brassica napus*) L. (Leyva et al., 2015, p. 144)

Estos microorganismos presentes en el suelo, se encuentran en diferentes intercambios y relaciones, estos pueden llegar a un equilibrio de acuerdo a un manejo ecológico, es decir, que pueden llegar a producir roles de fungicidas, bacteriosis y levaduras. Este concepto se les llama suelos supresivos, que en condiciones ideales para la planta le permite resistir al ataque de patógenos por la variedad de microorganismos presentes. La supresividad de suelos a enfermedades de la raíz implica cierto balance en la ecología del suelo que resulta en estabilidad de su productividad en razón de la ausencia o impacto reducido de enfermedades que, normalmente, serían destructivas en determinada región y cultivo (Bautista et al., 2008).

Los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas... Son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica y del ciclaje de los nutrientes como el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros (Montaño et al., 2010)

Estos procesos biogeoquímicos en donde participan los microorganismos son parte de la transformación de nutrientes de manera inorgánicos a componentes orgánicos, volviéndolos asimilables para las plantas.

Es uno de los papeles más importantes que tienen la microbiota edáfica en la descomposición, fijación, mineralización, solubilización y biorremediación de nutrientes presente en el suelo. Cerón y Aristizábal (2012) ya que de ellos dependen funciones como hacer disponibles los nutrientes para ellas mismas y para otras formas de vida como las plantas, dinámica esencial para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos (p. 286).

Paecilomyces sp

Este hongo saprofítico y oportunista, controlador biológico tiene la habilidad de sobrevivir en materia orgánica en el suelo y siempre que se encuentra presente en el campo principalmente en zonas húmedas y donde hay plaga. Su mayor relevancia es como patógeno de fitonemátodos, ya que es producido masivamente en laboratorios como bioplaguicida para el control de nemátodo. *Paecilomyces sp*, puede ser encontrado en una amplia gama de hábitat dentro de los cuales se encuentran suelos cultivados, bosques, praderas, desiertos, sedimentos y lodo de agua residuales (Barrera y Echenique, 2019, p. 16)

Penicillium sp

Es un hongo con una distribución por todo el mundo. Viven en suelo o en materia orgánica en descomposición, presenta importantes pérdidas durante el almacenamiento del café cuando hay exceso de humedad, daños físicos en la fruta y en almacenamiento a bajas temperaturas. Carrillo (2003) afirma que “este género se caracteriza por formar conidios en una estructura ramificada semejante a un pincel que termina en células conidiógenas llamadas fiálides” (p. 61).

Pythium sp

Puede atacar, antes de la emergencia en la semilla, en germinación, cotiledones y la yema terminal, la radícula y el tejido del hipocotilo, la cual, eventualmente, trae como consecuencia la muerte de la plántula, pueden morir de tres a cinco días después de emerger.

Los síntomas del *Pythium* se manifiestan en forma de lesiones húmedas, alargadas, en el hipocotilo y en las raíces. A medida que la infección progresa las lesiones se secan, toman un color entre canela y café, teniendo apariencia deprimida la planta.

Bajo condiciones de alta humedad, pueden infectar la parte aérea del tallo y causar la muerte de las plantas bien desarrolladas.

El hongo se mueve dentro del suelo en forma de zoosporas, las que se desplazan unos pocos milímetros en el agua del suelo; también se puede diseminarse mediante los esporangios o fragmentos de micelo que son desprendidos y transportados por el viento o por las salpicaduras de agua. En sistemas de producción tales como invernaderos, viveros, campos agrícolas y bosques ocasiona pudrición de semillas, ahogamiento de plántulas, pudrición de raíces, frutos y otros órganos vegetales (Díaz-Celaya et al., 2011, p. 432).

***Rhizoctonia* sp**

El volcamiento, mal del talluelo o damping-off de las chapolas de café, es una enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* cuyo estado sexual corresponde al hongo *Basidiomycota thanatephorus* Cucumeris. Produce pérdidas hasta del 65% de las plantitas de un semillero, lo que posteriormente se traduce en pérdidas en viveros y en plantaciones en campo definitivo.

Nejad et al., (2007) describe que el hongo posee base de núcleos en cada célula de las hifas jóvenes, la población de *Rhizoctonia* está dividida en tres grandes grupos: mono, bi y/o multinucleado. *Rhizoctonia solani* pertenece al grupo multinucleado y es una especie heterogénea compuesta de un gran número de poblaciones independientes (citado por Fernández, 2011, p.4).

***Rhizopus* sp**

Es un hongo filamentoso cosmopolita de suelo, frutas y verduras en descomposición, excrementos de animales y pan viejo. Las especies de *Rhizopus* son contaminantes comunes, pero son causales de infecciones oportunistas en los humanos. Algunas especies son patógeno de las plantas. Las especies más frecuentes son *Rhizopus oryzae*, *R. rizopodimorfis*, *R. stolonifer*, *R. microsporas* y *R. nigricans*. Puede sobrevivir durante meses en los suelos, sus esporas se diseminan en el aire y al encontrar las condiciones favorables germinan y se desarrollan.

Por ejemplo, el hongo *Rhizopus stolonifer* puede sobrevivir durante meses en los suelos, sus esporas se diseminan en el aire y al encontrar las condiciones favorables germinan y se desarrollan... Una vez que se inicia la lesión, este hongo fitopatógeno puede invadir el resto del fruto y los adyacentes, creando redes sobre los productos que en pocos días pueden llegar a afectar la totalidad de los mismos. (Velázquez et al., 2008. p. 50)

Trichoderma sp

Se encuentra de manera natural en diferentes suelos agrícolas, especialmente en aquellas que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición. *Trichoderma sp*, es un hongo aerobio facultativo, ubicadas en la parte terminal o intermedia de las hifas y miden menos de 15 μm de diámetro; éstas son estructuras de resistencia, vitales e importantes para la sobrevivencia del hongo bajo condiciones adversas. Valdés (2014) el género *Trichoderma* es un hongo cosmopolita, habitante natural del suelo que se presenta en diferentes zonas y hábitat, especialmente en aquellos que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición (p. 255).

Es capaz de movilizar nutrientes del suelo mediante excreción de enzimas extracelulares que transforman compuestos nitrogenados orgánicos en nitrógeno inorgánico, fundamentalmente amonio, y compuestos fosforados orgánicos en fósforo inorgánico, entre otros. Esta solubilización de nutrientes permite su utilización por las plantas, aumentando su salubridad y resistencia al ataque de patógenos. Klein y Eveleigh (1998) los describe como hongos cosmopolitas y típicamente del suelo que pueden ser llevados a sustratos en el cultivo de hongos comestibles (citado por Romero et al., 2009, p. 144).

Reyes (2005) plantea que:

Algunas especies de *Trichoderma* han sido informadas como estimuladoras de crecimiento en especies tales como clavel (*Dianthus caryophyllus*) L., pepino *Cucumis sativus*) L., berenjena (*Solanum melongena*) L., arveja (*Pisum sativum*) L., pimienta (*Piper nigrum*) L., rábano (*Rhapanus sativus*) L., tabaco (*Nicotiana tabacum*) L., tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill, lechuga (*Lactuca sativa*L.), zanahoria (*Daucus carota*) L. papa (*Solanum tuberosum*) L., algodón (*Gossypium herbaceum*) L., fríjol (*Phaseolus vulgaris*) L y otras. (Valdés, 2014, p. 256)

***Verticillium* sp**

Es un hongo antagonista que, en condiciones naturales, se encuentra en el suelo y parasitando una diversidad de plagas (insectos, hongos y nemátodos) en una amplia gama de cultivos (tomate, café, algodón, entre otros). En café *Verticillium* sp, actúa como micoparasitismo, parasitando a la roya, al nemátodo agallador (*Meloidogyne* sp) y a la cochinilla harinosa. Wang et al. (2016) describen que *Verticillium dahliae* ocasiona pérdidas en los rendimientos de hasta el 80 %, siendo su control un desafío debido a que su patogenicidad es altamente variable y por su gran capacidad de supervivencia (Citado por Eon et al., 2019. p. 119)

3.5. Propiedades físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas

El suelo es un recurso no renovable, que su recuperación es lenta si no se realizan actividades que fomenten su reparación. Aquí es, donde se presentan las actividades físicas que pueden ser inducidas por la macro fauna del suelo o el hombre con su manejo agronómico, además de eso, también se encuentran microorganismos que están incidiendo en la transformación, biorremediación o mineralización, estos procesos químicos sirven para sintetizarlos y estén disponibles para la planta durante su crecimiento, desarrollo y reproducción. Los cambios en los sistemas de uso y manejo de los cultivos traen consigo modificaciones sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cardona y Sandeghian, 2005, p. 349).

Todas las plantas superiores, entre ellas el café, requiere dieciséis o más nutrientes que se consideran esenciales para su crecimiento. Estos de acuerdo al origen, pueden clasificarse en minerales y no minerales. Según la demanda, los elementos minerales se clasifican en mayores o macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y menores o micronutrientes (Fe, Cu, Mn, B, Mo, Zn, Cl). (Zavaleta, 2019, p. 20)

Para las plantas la disponibilidad de nitrógeno (N) es la principal limitante en la productividad, que junto con el fósforo (P) determinan el crecimiento vegetal (Cerón y Aristizal, 2012, p. 286). Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero el mismo agroecosistema o ecosistema, produce estos nutrientes que cíclicamente es acompañada por la macrofauna edáfica y los microorganismos. Los procesos geoquímicos (Microorganismos), transforman los minerales en nutrientes disponibles para la planta o contribuyen con la mejora de las propiedades físicas del suelo (Macrofauna).

3.6. Servicios ecosistémicos

Los agroecosistemas productivos, de acuerdo a su complejidad, proveen servicios ecosistémicos, que proporcionan beneficios a los productores, a la flora y fauna, pero sobre todo los consumidores de alimentos. Como los describe Evaluación de Ecosistema del Milenio (MEA), estos beneficios pueden ser directos, como por ejemplo la provisión de alimento, fibra o combustible, o indirectos a través de su influencia en los procesos de los ecosistemas que son esenciales para la vida, como el reciclaje de nutrientes o la polinización (MEA, 2005).

La clasificación de Servicios Ecosistémicos (SE) más ampliamente distingue 3 o 4 grupos: a) Aprovechamiento: bienes producidos o proporcionados por los ecosistemas que pueden ser aprovechados directamente por los seres humanos, como son alimentos, combustibles, madera, fibra, recursos genéticos, o medicinas naturales. b) Regulación: servicios derivados de la regulación de los procesos ecosistémicos como la calidad del aire, regulación del clima, regulación hídrica, control de erosión, mitigación de riesgos relacionados con incendios, inundaciones, tormentas, etc.; regulación de las enfermedades, control biológico y polinización de plantas útiles, eliminación de necromasa y desechos; provisión de hábitat para animales de importancia económica o simbólica.

Algunos autores incluyen aquí a la capacidad de los sistemas de absorber perturbaciones (resistencia) o de recuperar su capacidad funcional luego de sufrirlas (resiliencia). c) Culturales: beneficios no materiales que enriquecen la calidad de vida, tales como los valores estéticos, educaciones, religiosos y espirituales, las oportunidades de generar conocimiento (tradicional y formal), inspiración, sentido de pertenencia, recreación y turismo asociado a la naturaleza. d) Apoyo: Proporcionar espacios vitales para las plantas o animales y conservar una diversidad de plantas y animales son lo que se denomina “servicios de apoyo”, que constituyen la base de todos los ecosistemas y sus servicios. (MEA, 2005, p. 7).

Diversos autores han determinados servicios ecosistémicos que se gestan en los ecosistemas y agroecosistemas, que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2 Tipos de servicios ecosistémicos en cada grupo de acuerdo al MEA (2005).

Servicios de ecosistemas	
Apoyo o soporte	Procesos ecosistémicos, formación de suelos, transporte, hábitat humano y biodiversidad, mantenimiento de biodiversidad, ciclos disturbios.
Aprovisionamiento	Alimento, Agua, recursos genéticos, fibras y madera, biocombustibles, medicina, etc.
Regulación	Clima, gases, calidad y cantidad de agua, erosión, disturbios, contaminación, reciclado, nutrientes, polinización, enfermedades.
Culturales	Identidad, recreación y turismo, beneficios estéticos y espirituales, ciencia y educación.

Tomado de MEA 2005 y Chapin, Folke y Kofinas, 2009.

Estos servicios que ofrecen los sistemas naturales, como protección ante las catástrofes, prevención de la erosión del suelo y al deslizamiento, así como en las costas marítimas donde el mangle ayuda con el impacto de un huracán y como filtro del agua salada. De esta manera, podemos describir que los agroecosistemas proveen de múltiples servicios, no solo como alimento sino con protección y disponibilidad de paisajes, diversidad, nutrientes, recreación y agua. Para proteger y mejorar nuestro futuro bienestar se requiere un uso más racional y menos destructivo de nuestros bienes naturales. Ello implica a su vez cambios importantes en la manera en que tomamos las decisiones y las ponemos en práctica (MAE, 2005, p. 5).

El aporte de la macrofauna y los microorganismos a los servicios ecosistémicos no son reconocidos por los productores porque no se refleja el SE que estos ofrecen dentro de nuestras fincas. Por ejemplo, los distintos roles funcionales de la macrofauna edáfica estos pueden estar contribuyendo a los SE de soporte o apoyo. En la parte de SE soporte contribuyendo en las propiedades físicas y químicas; y en el SE regulación, favorece la autoregulación de las especies en el agroecosistema.

Mientras que los servicios ecosistémicos de los microorganismos pueden estar reflejados en el SE de soporte por sus roles de descomponedor de la MO, participación en los ciclos de biogeoquímicos, también participan en el SE de regulación porque sirven de reguladores de ciertos patógenos presentes en el agroecosistema, es decir suelos supresivos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la comunidad La Grecia del municipio de San Ramón, departamento Matagalpa, del periodo del 2015 al 2017.

Uno de los agroecosistemas, uno de los agroecosistemas fue La Espadilla, tiene una extensión de 3.5 ha y pertenece al agricultor Vicente Padilla García, se ubica en las coordenadas longitud $12^{\circ}97'95''$ y latitud $85^{\circ}79'95''$, cuya altitud es de 850 metros sobre el nivel del mar.

El segundo agroecosistema fue La Vecina, posee un área de 2.3 ha y pertenece al agricultor Juan Francisco Padilla García, se localiza entre las coordenadas longitud $12^{\circ}97'95''$ y latitud $85^{\circ}79'95''$, y se encuentra a una altura de 850 metros sobre el nivel del mar.

Estos agroecosistemas son colindantes y se subdividieron en lotes considerando pendiente, vegetación, cultivos anuales, cultivos perennes, ganado y pastos, de acuerdo a los agricultores se distribuyó su agroecosistema (Cuadro 3).

Cuadro 3 Lotes de los agroecosistemas acorde al manejo que ha realizado cada productor

Lotes	Matagalpa, San Ramón	
	Agroecosistema La Espadilla (AE)	Agroecosistema La Vecina (AV)
I	Café en producción	Cultivos anuales
II	Área de bosque	Café en desarrollo
III	Cultivos anuales	Café en producción
IV	Café en desarrollo	Café en recepo
V	Pasto de corte	Área de bosque

4.1.1. Clima

San Ramón posee un clima variado, llegando a tener temperaturas entre 20° y 26° grados Celsius en época seca, logrando alcanzar una temperatura mínima de 18° grados Celsius en diciembre y precipitaciones pluviales que oscilan entre 2,000 y 2,400 mm al año, presenta una humedad relativa promedio del 72 % y la velocidad máxima del viento es de 7 ms⁻¹ (FIDEG, 2012, p. 30). En la figura 1 se muestran las precipitaciones anuales en los agroecosistemas desde el 2010 hasta el 2015, recopilados por el agricultor Vicente Padilla.

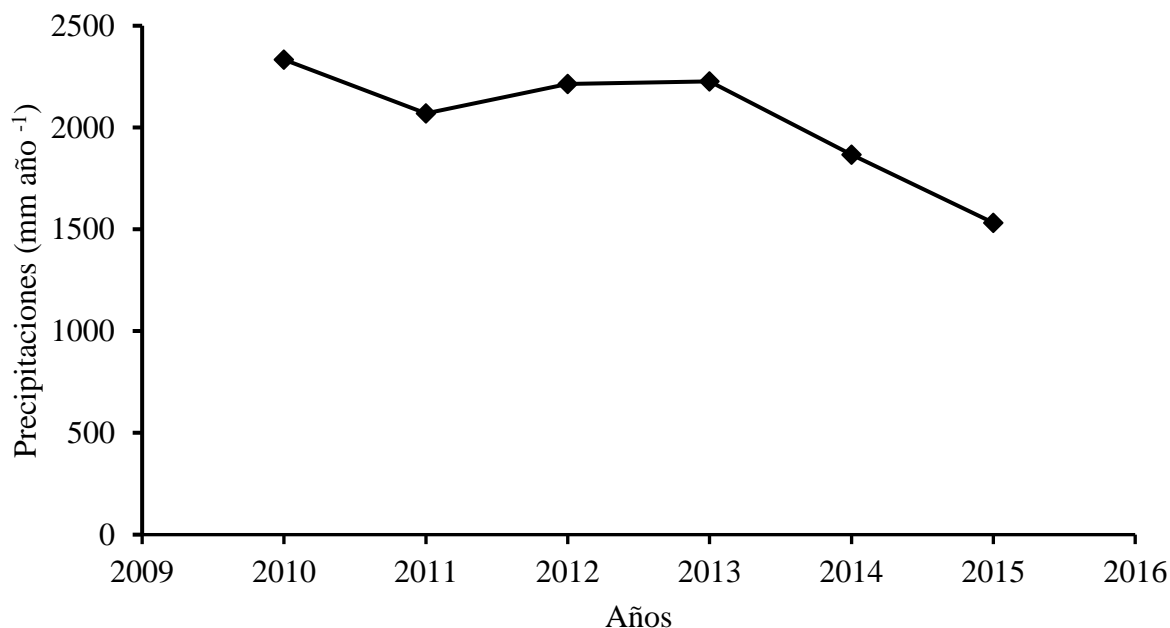


Figura 1 Precipitaciones anuales del 2010 al 2016 de los agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, comunidad La Grecia, San Ramón, Matagalpa, Nicaragua.

4.1.2. Vegetación

El municipio de San Ramón, forma parte de la región central que se caracteriza ecológicamente de formación vegetal de bosques medianos o altos perennifolios de zonas frescas y húmedas. Presenta potencial de flora y fauna a pesar del proceso sistemático de deforestación. La flora silvestre está bien definida en cuanto a especies de gran interés, existen pinares, robledales en las partes bajas y bosques húmedos subtropicales superiores a 1,100 msnm (Asociación de Municipios Productivos del Norte [AMUPNOR], 2010, p. 14).

La vegetación del área también se caracteriza por la dominancia de especies latifoliadas del bosque tropical húmedo, aunque también se presentan asociaciones de pinos que se entremezclan con el bosque latifoliado.

4.1.3. Suelos

Los suelos son franco arenoso, con erosión moderada, de profundidad media, de coloración de suelo negro a gris oscuro y gris amarillento; es una zona de bosque tropical húmedo pre montano, con drenaje regular, pendientes del 34%, cuya topografía es muy irregular y su paisaje es montañoso, posee elevaciones entre los 800 a 1200 metros sobre el nivel del mar, con una profundidad de 45 cm (AMUPNOR, 2010, p .24).

4.2. Diseño metodológico

El enfoque de la investigación es mixto (cualitativo y cuantitativo), cuyo alcance es descriptivo y correlacional, con un diseño no experimental, del tipo transeccional para lo cual se aplicaron diferentes metodologías como la determinación de la macrofauna, los microorganismos y las propiedades físicoquímica del suelo.

4.3. Caracterización agroecológica de los agroecosistemas

La caracterización agroecológica de los dos agroecosistemas con café es documental, basada en los trabajos publicados por Salazar et al., (2017). La selección de los agroecosistemas permitió realizar una comparación entre estos y debían ser colíndales. Por tal razón, se seleccionaron dos agroecosistemas con las mismas condiciones edafoclimáticas y cercanas.

4.4. Determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de la macrofauna

La determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica consistió en la identificación y cuantificación de la abundancia de los organismos de la macrofauna edáfica, a través del método del Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) propuesto por Anderson e Ingram (1993, p, 6) y modificado por Rodríguez et al., (2021).

Para identificar la macrofauna se realizaron monolitos por cada parcela de cada agroecosistema, las siguientes dimensiones: 25 cm x 25 cm x 30 cm, el que se subdividió en tres estratos sucesivos (hojarasca-10cm, 10-20cm, 20-30cm de profundidad). Este procedimiento se realizó en cinco puntos de muestreos por lote para un máximo de 25 muestras por agroecosistema, con distanciamiento de cinco metros entre monolitos, colocados en zigzag de forma aleatoria. Los especímenes fueron extraídos en el sitio del muestreo golpeando y quebrando los trozos de tierra y revisando la hojarasca. Seguidamente se extrajo la tierra de cada estrato, y se depositó en una bandeja por estratos para su respectiva revisión. Los especímenes frágiles de cada estrato fueron extraídos con un pincel y el resto con una pinza; se colocaron en un frasco plástico con su respectiva información (agroecosistema, lote, número de muestra y profundidad); las lombrices fueron conservadas en formaldehído al 4% para evitar la supuración de la mucosa y el resto de la macrofauna en alcohol al 70% para la identificación.

Las muestras fueron recolectadas y trasladadas al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria para su respectiva identificación. Se extrajeron los especímenes de los frascos con cuidado y se colocaron en papel toalla. Una vez secos se ubicaron sobre un vidrio reloj bajo el lente de un estereoscopio, donde se detallaron sus características morfológicas para ser clasificados taxonómicamente desde Phylum hasta familia. Para la identificación se utilizaron claves taxonómicas de diferentes literaturas como Andrews et al., (1989), Coronado (1991), Cabezas (1996), Coto (1998), Ayala y Monterroso (1998), McGavin (2000), Mendoza y Gómez (2006), Jiménez (2009) y Cabrera (2014). Posteriormente, una vez identificados los especímenes de la macro fauna edáfica, a nivel de familia, se procedió a determinar su rol funcional en base a su hábito alimenticio y su asociación con los grupos de servicio ecosistémico acorde a la categorización del MEA (2005).

4.5. Determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos

Para la determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos, se tomaron cinco muestras de suelo en cada lote, a una profundidad de 20 cm, para un total de 25 muestras por agroecosistema.

Cada muestra de suelo está constituida por 20 barrenas de forma aleatoria, los que se homogenizaron para pesar 500 g de suelo, que se trasladaron al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria para la identificación de bacterias, hongos y actinomicetos con sus respectivas unidades formadoras de colonia por gramo de suelo.

La metodología para identificar las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo de bacterias, hongos y actinomicetos se describen en el cuadro cuatro. Posteriormente, una vez identificados los microorganismos edáficos a nivel de género según sus claves taxonómicas, se procedió a determinar su rol funcional y servicio ecosistémico acorde a la categorización del MEA (2005).

Cuadro 4 Medios de cultivos y métodos que se implementaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria

Microrganismo	Medios de cultivo	Método
Hongos	PDA (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)
Bacterias	Agar nutritivo (APHA, 1923)	Aislamiento por dilución en serie (Gutiérrez, 2012)
Actinomicetos	Agar avena (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)

4.6. Asociación de la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo

Para determinar la asociación de la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo en dos agroecosistemas con café se realizó a través de los siguientes parámetros: profundidad del suelo (cm) a través de un barreno, densidad aparente (gcm^{-3}) mediante un cilindro de pvc, porosidad (%), infiltración (cmh^{-1}), materia orgánica (MO) a través del efecto de agua oxigenada (30%) y categorizarla según el cuadro 5, cinta de pH y textura a través del tacto. Para que el productor pueda evaluar su sistema productivo, se utilizaron métodos de campo debidamente calibrados elaborado por García (2017, p. 11).

Cuadro 5 Parámetros o indicadores químicos de calidad de suelo y métodos que se implementados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria

Indicador químico	Métodos	Fuente
pH (H ₂ O)	Potenciométrico 1:2.5 suelo:agua.	Mc Lean, (1982)
MO (%)	Walkley Black	Walkley y Black, (1934).
N (%)	A partir de la MO. Calculado	
P (ppm)	Olsen, colorimétrico. Extracción con bicarbonato de sodio pH 8.5	Olsen et al., (1954)
K (meq/100 g de suelo)	Acetato de amonio pH7 1N. Absorción atómica	Thomas, (1982)
Ca (meq/100 g de suelo)		
Mg (meq/100 g de suelo)		
Na (meq/100 g de suelo)		
Fe (ppm)	Método de Olsen modificado Medición en absorción atómica	Instituto Colombiano Agropecuario, ICA (1989)
Cu (ppm)		
Zn (ppm)		
Mn (ppm)		
CIC	Método del acetato de amonio NH ₄ OAc, pH 7.0 1N	USDA, (1996)
Textura	Bouyuco	Blake y Hartge, (1986)

4.7. Análisis de datos

La caracterización agroecológica de los dos agroecosistemas con café se realizó de manera bibliográfica basado en un análisis de los trabajos publicados por Salazar et al., (2017).

Los datos para la determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica se presentan en cuadros de frecuencias. Los softwares usados para estas finalidades fueron Excel y Word.

Para la determinación de las funciones y los servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos se muestran en cuadros de frecuencias. Los softwares usados para estas finalidades fueron Excel y Word.

Se realizó un análisis de componentes principales para determinar la asociación de la macrofauna y los microorganismos edáficos con los indicadores físicos y químicos del suelo en cada agroecosistema. Para este propósito se consideraron la abundancia de las familias taxonómicas de la macrofauna del suelo, la frecuencia de identificación de los géneros taxonómicos de los microorganismos edáficos y los parámetros físicos y químicos del suelo descrito en el acápite 4.5, mediante el software Infostat.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización agroecológica de los agroecosistemas

La caracterización del primer agroecosistema La Espadilla (AE), realiza una gestión agroecológica, usa los recursos disponibles integrando diferentes rubros productivos con diseños de sus áreas productivas y su diversidad de especies vegetales y animales, se aplican técnicas que contribuyen a la conservación de suelo y agua, alternativas bioplaguicidas, cerca perimetral optimizando el estrato vertical y horizontal. Tiene diseños y manejos de su biodiversidad complejo y se gestiona bajo el paradigma agroecológico (Rodríguez et al., 2017, p. 80). Se caracteriza por tener un buen manejo de conservación de suelo y agua, y de las intervenciones en rubros productivos, un buen diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar y de los elementos de la biodiversidad productiva.

García et al., (2017) demostraron que el balance aparente de nutrientes (N, P, K) general es negativo ($-2,260 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $-650.5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P y -3001 kg ha^{-1} de K) con las altas extracciones de minerales a través de la cosecha del café, pastos de corte, cultivos anuales (maíz, frijoles, ayote, pipián) y frutos de los árboles que se utilizan como sombra en el café (frutales y cítricos), éstos últimos son comercializados aumentando las exportaciones de nutrientes del agroecosistema, mientras que las importaciones minerales no satisfacen las necesidades de los cultivos del agroecosistema (p. 20).

Rodríguez et al., (2017b) registraron 257 organismos de la macrofauna edáfica e identificaron ocho clases, 15 órdenes y 24 familias (p. 49). La diversidad de árboles de sombra bajo el sistema agroforestal, el bosque y el sistema silvopastoril propicia la presencia de ciertas especies de organismos que aportan positivamente al agroecosistema, así como ciertas especies que se consideran plagas porque afectan la producción. Se encontraron organismos de la macrofauna del suelo con funciones depredadoras, fitófagas, detritívoras, polífagas y parásitas, pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

El productor que realiza prácticas agroecológicas, posee en la mayor parte del agroecosistema diversidad de árboles que sirven para mejorar el microclima en su agroecosistema, además de ser un corredor para distintas especies de aves y mamíferos que se alimentan de sus frutos. Salazar et al., (2017a) registraron 440 individuos de la flora arbórea e identificaron 25 familias, 31 géneros y 37 especies, cuyas funcionalidades son: romper viento, cercas vivas, producción de frutos, ornamentales, forrajeras, energéticas y medicinales (p. 60). Este componente está representado por un área boscosa, cercas y barreras vivas, un sistema agroforestal con café, árboles frutales y árboles dispersos en los potreros.

El índice de sostenibilidad general de este agroecosistema es de 85% (Salazar et al., 2017b, p. 61), que resulta de promediar 98% de la dimensión socio-política-cultural, 78% de la dimensión económica y 80% de la dimensión agroambiental. El productor del agroecosistema La Espadilla debe mejorar su actividad económica implementando una diversidad de cultivos con alto valor en el mercado cercano (Matagalpa) para percibir ingresos mientras el café no esté en cosecha, en relación al sistema agro turístico debe extender el circuito para la estancia del visitante sea placentera y agradable, mejorar los canales de comercialización, la transformación de los productos, buscar alianzas con organizaciones para la promoción del circuito agro turístico y ampliar su mercado de café agroecológico.

El segundo Agroecosistema La Vecina (AV), realiza una gestión convencional, es decir se realizan prácticas aplicando químicos para la adición de nutrientes, dispone de una pequeña área para cultivos anuales, posee el sistema agroforestal donde integra árboles maderables con el café y área de bosque con árboles dispersos. Tiene diseños y manejos de su biodiversidad poco complejo y se gestiona bajo el paradigma convencional (Rodríguez et al., 2017a, p. 80). Se caracteriza por tener un deficiente manejo de conservación de suelo y agua, y de las intervenciones en rubros productivos, un inadecuado diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar y de los elementos de la biodiversidad productiva. García et al., (2017) demostraron que el promedio del balance aparente de nutrientes general es positivo (485.5 kg ha^{-1} de N, 132 kg ha^{-1} de P y 85.5 kg ha^{-1} de K), debido a la incorporación alta de fertilizantes sintéticos como la Urea 46 % y completo (15-15-15), que superan a las extraídas por la cosecha del café, cultivos anuales (pipián, maíz, chayote y chiltoma) y árboles frutales a nivel del agroecosistema (p. 21).

Los cultivos de café, pipián y chayote fueron los que demandaron la disponibilidad de P y K, pero los aportes de los fertilizantes sintéticos son altos en relación a la absorción y suministro.

Rodríguez et al., (2017b) registraron 163 organismos de la macrofauna edáfica, pertenecientes a ocho clases, 13 órdenes y 17 familias (p. 49). El control químico que realiza el productor para controlar ciertas plagas y enfermedades afecta la presencia de ciertas familias. Se encontraron organismos de la macrofauna edáfica con funciones depredadoras, fitófagas, detritívoras y polífagas, pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

Este en el agroecosistema AV se debe establecer una rotación de cultivos, además de escalonarlos para aprovechar los distintos tiempos de producción y no solo aprovechar una época de siembra, también aprovechar los espacios según el estadio del cultivo, por ejemplo: la siembra de frijoles o maíz para su autoconsumo.

5.2 Riqueza, abundancia, funciones ecológicas y servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica

En evaluaciones agroecológicas en agroecosistemas con cacao Díaz (2019), café Rodríguez *et al.*, (2017b), ganado bovino Rodríguez *et al.*, (2017c), y granos básicos Rodríguez *et al.*, (2017d) la riqueza de la macrofauna edáfica se ha considerado como el número de categorías de una determinada taxa (Clase, orden y familia) presentes en un explícito periodo de tiempo, cuyas categorías representan la diversidad de las categorías identificadas de la respectiva taxa de la macrofauna edáfica en los monolitos de suelo (25cm*25cm*30cm) que se muestrearon en cada agroecosistema. En estos estudios se ha analizado las funciones ecológicas que realizan las poblaciones de las familias de la macrofauna edáfica, pero no se les ha relacionado con los servicios ecosistémicos que aportan los agroecosistemas al bienestar de la familia agricultora y a la humanidad. En este acápite se analiza la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica, sus respectivos roles funcionales y su relación con los servicios ecosistémicos que se gestan en ambos agroecosistemas.

5.2.1 Riqueza y abundancia de la macrofauna en los agroecosistemas

El manejo que realiza el agricultor en cada lote o parcela de su agroecosistema influye sobre la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica (Cuadro 6). En la AE, se identificó una riqueza de ocho clases taxonómicas con un total de 253 individuos (Cuadro 6). La mayor riqueza y abundancia se constató en la parcela con café en producción con siete clases con 92 individuos. Las parcelas con un menor número de clases de la macrofauna edáfica corresponden a cultivos anuales y pasto de corte con cinco cada una, con 54 y 34 individuos, respectivamente. La menor abundancia se registró en la parcela con bosque con 32 individuos. En todas las parcelas de este agroecosistema se constató la presencia de las clases Insecta y Clitellata, siendo la primera la más abundante con un total de 137 individuos y la segunda con 63. Ambas clases representan el 79% del total de individuos registrados en este agroecosistema. Esto significa que ambas clases son las que mejor se adaptan a los diferentes usos de suelo que realiza el agricultor Vicente Padilla García en su agroecosistema.

En el AV, se identificaron siete clases con un total de 163 organismos (Cuadro 6). La parcela con mayor riqueza fue café en recepo con siete clases con un total de 37 individuos. Las parcelas con café en desarrollo, café en producción y bosque se encontraron cinco clases taxonómicas. En la primera parcela se determinó la mayor abundancia con 45 organismos y en las dos restantes las menores abundancias con 19 y 22 individuos, respectivamente. En este agroecosistema no se identificó la clase Entognatha. Esta clase no es muy representativa de la macrofauna edáfica y puede ser muy susceptible al manejo que realizan ambos agricultores en sus agroecosistemas. En todas las parcelas de este agroecosistema se constató la presencia de las clases Insecta y Clitellata, siendo la primera la más abundante con un total de 75 individuos y la segunda con 41. Ambas clases representan el 71.2% del total de individuos registrados en este agroecosistema. Esto ratifica que ambas clases son las que mejor se adaptan a los diferentes usos de suelo y manejos que realizan ambos agricultores en sus agroecosistemas.

Los resultados indican que el agroecosistema donde se realizan prácticas agroecológicas contribuyen a la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica. Se constató que en el AE se presentó una mayor cantidad de clases e individuos que en el AV.

Cuadro 6 Total de clases en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016

Clases	AE					Total	AV					Total
	Café en producción	Bosque	Cultivos anuales	Café en desarrollo	Pasto de corte		Cultivos anuales	Café en desarrollo	Café en producción	Café en repepo	Bosque	
Arachnida	6	6	3	2	0	17	2	0	1	5	1	9
Chilopoda	5	0	3	0	0	8	0	2	0	1	0	3
Clitellata	16	11	13	11	12	63	7	11	7	6	10	41
Diplopoda	4	3	0	1	4	12	5	5	1	2	1	14
Entognatha	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	3	1	2	3	1	10	5	1	2	1	6	15
Insecta	57	10	33	21	15	137	17	26	8	20	4	75
Malascotraca	0	1	0	3	2	6	4	0	0	2	0	6
Total de individuos	92	32	54	41	34	253	40	45	19	37	22	163
Riqueza de clases	7	6	5	6	5	8	6	5	5	7	5	7

En el AE se identificaron 15 órdenes (Cuadro 7). La mayor riqueza de órdenes se constató en la parcela con café en producción con 13. La menor riqueza de órdenes se registró en las parcelas con bosque y pasto de corte con nueve, respectivamente. Los órdenes Haplotaxida de la clase Clitellata; Coleoptera, Hemiptera , Hymenoptera e Isoptera de la clase Insecta se identificaron en todas las parcelas y son lo más abundantes, con un total de 63, 56, 25, 23 y 16 individuos, respectivamente. Esto significa que los individuos que representan estos órdenes tienen una mayor plasticidad porque se adaptan a los diferentes usos de suelo, es decir que aprovechan las oportunidades según el manejo del agroecosistema. Los órdenes Opiliones y Spirostreptida se identificaron en cuatro parcelas, cuya abundancia total es de 17 y 12 individuos, respectivamente.

En el AV se identificaron 14 órdenes (Cuadro 7). Los órdenes Coleoptera, Haplotaxida, Pulmonata y Spirostreptida se registraron en todas las parcelas de este agroecosistema, con un total de 32, 41, 15 y 14 individuos, respectivamente. Estos órdenes son los de mejor plasticidad en este agroecosistema. De estos órdenes, los dos primeros (Coleoptera y Haplotaxida) son los más representativos de ambos agroecosistemas porque estaban presentes en cada parcela y por consiguiente se adaptan mejor a los diferentes usos de suelo y manejos que realizan ambos productores. El orden Opiliones se registró en cuatro parcelas de este agroecosistema con 10 individuos. Este mismo orden se identificó en igual número de parcelas en el agroecosistema La Espadilla, que significa que se puede adaptar a diferentes usos de suelo y manejos.

Cuadro 7 Total de órdenes en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016

Órden	AE					Total	AV					Total
	Café en producción	Bosque	Cultivos anuales	Café en desarrollo	Pasto de corte		Cultivos anuales	Café en desarrollo	Café en producción	Café en recepo	Bosque	
Blattodea	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Coleoptera	22	5	11	8	10	56	7	10	2	9	4	32
Dermaptera	2	0	3	0	0	5	0	2	1	0	0	3
Diptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Haplotalaxida	16	11	13	11	12	63	7	11	7	6	10	41
Hemiptera	6	3	5	9	2	25	2	2	0	1	0	5
Hymenoptera	13	0	8	1	1	23	2	6	5	5	0	18
Isopoda	0	1	0	3	2	6	4	0	0	2	0	6
Isoptera	12	1	3	0	0	16	4	5	0	1	0	10
Lepidoptera	1	0	0	2	1	4	0	0	0	0	0	0
Opiliones	6	6	3	2	0	17	2	0	1	6	1	10
Orthoptera	1	1	3	1	1	7	1	1	0	2	0	4
Poduromorpha	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pulmonata	3	1	1	3	1	9	5	1	2	1	6	15
Scolopendromorpha	5	0	3	0	0	8	0	2	0	1	0	3
Spirostreptida	4	3	0	1	4	12	5	5	1	2	1	14
Stylommatophora	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Total de individuos	92	32	54	41	34	253	40	45	19	37	22	163
Riqueza de ordenes	13	9	10	10	9	15	11	10	7	12	5	14

En el AE se identificaron 29 familias (Cuadro 10). La mayor riqueza de familias se constató en la parcela con café en producción con 22. La menor riqueza de familias se registró en las parcelas bosque y pasto de corte con doce, respectivamente. Las familias Lumbricidae, Scarabeidae, Formicidae, Sclerosomatidae y Rhinotermitidae obtuvieron la mayor abundancia con un total de 63, 29, 23, 17 y 16, individuos, respectivamente. Esto significa que los individuos que representan estas familias tienen una mayor abundancia en los distintos usos de suelo que realiza el productor en su agroecosistema.

En el AV se identificaron 21 familias (Cuadro 10). La mayor riqueza de familias se constató en la parcela de cultivos anuales con 14. La menor riqueza de familias se registró en las parcelas bosque y café en producción con siete y nueve, respectivamente. Las familias Lumbricidae, Scarabeidae, Formicidae y Spirostreptidae, obtuvieron la mayor abundancia con un total de 41, 25, 17 y 13, individuos, respectivamente. Esto significa que la presencia de estos individuos se debe a su adaptación a los usos de suelo que realiza el productor de manera convencional.

Se puede observar que en ambos agroecosistemas (AE y AV), la riqueza de las familias taxonómicas y la abundancia de la macrofauna edáfica fueron muy disimiles. Estos resultados demuestran que las familias Lumbricidae, del orden Haplotaxida, clase Clitellata; la familia Scarabaeidae, del orden Coleoptera y Formicidae del orden Hemiptera, ambos de la clase Insecta; son las más representativas y de mayor plasticidad en ambos agroecosistemas y con gran importancia por sus roles funcionales y servicios ecosistémicos en ambos agroecosistemas.

Cuadro 8 Total de familias en dos agroecosistemas La Espadilla y La Vecina, San Ramón, Matagalpa, 2016

Familias	AE					Total	AV					Total
	Café en producción	Bosque	Cultivos anuales	Café en desarrollo	Pasto de corte		Cultivos anuales	Café en desarrollo	Café en producción	Café en recepo	Bosque	
Arionidae	1	0	1	3	1	6	2	0	1	1	3	7
Blattidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Carabidae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Chrysomelidae	4	1	1	1	2	9	1	1	0	3	0	5
Cicadellidae	1	0	2	1	0	4	0	0	0	0	0	0
Culicidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Curculionidae	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	1
Cydnidae	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Elateridae	3	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0
Forficulidae	2	0	3	0	0	5	0	2	1	0	0	3
Formicidae	13	0	8	1	1	23	2	6	4	5	0	17
Gelastocoridae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Gryllidae	1	1	3	1	1	7	1	1	0	2	0	4
Hypogastruridae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Lumbricidae	16	11	13	11	12	63	7	11	7	6	10	41
Lygaeidae	0	0	0	5	1	6	0	0	0	0	0	0
Meloidae	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Melolonthinae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Melongenidae	2	1	0	0	0	3	3	1	1	0	3	8

Cuadro 8 Continuación...

Nabidae	1	0	1	2	0	4	0	1	0	0	0	1
Noctuidae	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Nymphalidae	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
Pentatomidae	2	1	2	0	0	5	1	1	0	1	0	3
Pompilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Reduviidae	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
Rhinotermitidae	12	1	3	0	0	16	4	5	0	1	0	10
Scarabaeidae	8	4	5	6	6	29	6	8	2	6	3	25
Sclerosomatidae	6	6	3	2	0	17	2	0	1	6	1	10
Scolopendridae	5	0	3	0	0	8	0	2	0	1	0	3
Spirostreptidae	4	3	0	1	4	12	5	5	1	2	1	13
Staphylinidae	6	0	2	0	2	10	0	0	0	0	0	0
Styloniscidae	0	1	0	3	2	6	4	0	0	2	0	6
Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Trigonochlamydi dae	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Total de individuos	92	32	54	41	34	253	40	45	19	45	22	163
Riqueza de Familias	22	12	17	15	12	29	14	13	9	13	7	21

5.2.2 Roles funcionales de la macrofauna edáfica en los agroecosistemas

Brown et al., (2001) describe que la macrofauna edáfica desempeña los siguientes roles funcionales: como ingenieros de suelo, detritívoros, depredadores y polífago (omnívoro). Este mismo autor señala que:

Existen especies llamadas geófagos que ingieren suelo y se alimentan de materia orgánica a diferentes niveles de humectación y /o raíces muertas (...). Los detritívoros que son descomponedores o desintegradores que se alimentan de material vegetal o animal (...). Los fitófagos y rizófagos que se alimentan de la planta viva, raíces o partes aéreas (...). Los depredadores que son principalmente carnívoros y se alimentan de otros organismos... Los omnívoros que comen de todo tipo de alimento. (p. 81)

Swift et al., (2012) agrupan a la biota de suelo en diez grupos funcionales: 1) productores primarios 2) herbívoros 3) ingenieros del ecosistema 4) transformadores de la hojarasca, 5) descomponedores 6) predadores, 7) microrreguladores 8) microsimbiontes 9) plagas y enfermedades del suelo y 10) transformadores procariontes. De acuerdo a esta clasificación, la macrofauna puede ejercer las funciones de ingenieros del ecosistema, transformadores de la hojarasca, depredador, plaga y enfermedades del suelo.

En ambos agroecosistemas AE y AV, se identificaron las familias Lumbricidae, Hypogastruridae, Formicidae y Rhinotermitidae. En estas familias están presentes las lombrices de tierra, termitas y hormigas, estos son considerados como los ingenieros de suelo. Su gran movilidad y descomposición de materia orgánica en el suelo, contribuyen a las propiedades físicas como la aireación, movilidad de nutrientes y sobre todo con la porosidad.

Su contribución al agroecosistema está relacionada con el perfeccionamiento de los atributos físicos del suelo, el encontrar una gran abundancia en las parcelas, es un indicador de calidad para la producción agrícola. Los suelos son más sueltos, con poca compactación, disponibilidad de materia orgánica y mejorar drenaje.

Muchos organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isoptera) y las hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica. (Cabrera, 2012, p. 350)

En la (AE), los organismos de las familias que están relacionado al rol funcional detritívoros pertenecen a siete familias, entre ellas: Lumbricidae, Hypogastruridae, Rhinotermitidae, Scarabaeidae, Spirostreptidae, Styloniscidae y Tenebrionidae. En la AV, se registraron seis familias, entre ellas están: Blattidae, Lumbricidae, Melolonthinae, Rhinotermitidae, Scarabaeidae y Styloniscidae, (Cuadro 9).

La cantidad de familias detritívoras están aportando a la mejora de los suelos y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos en los agroecosistemas, esta macrofauna brinda un servicio ecosistémico de soporte o apoyo al productor porque participan en la descomposición de materia orgánica que es donde se encuentran los nutrientes para el crecimiento de la planta.

En el agroecosistema AE, se identificaron organismos de 13 familias con rol funcional fitófago, entre ellas están: Chrysomelidae, Cicadellidae, Curculionidae, Cydnidae, Elateridae, Formicidae, Gryllidae, Lygaeidae, Meloidae, Noctuidae, Nymphalidae, Pentatomidae y Scarabaeidae. En el AV se contabilizó siete familias entre ellas: Chrysomelidae, Curculionidae, Formicidae, Gryllidae, Melolonthinae, Pentatomidae y Scarabaeidae.

Cuando estos organismos, se presentan en altas poblaciones o abundancia pueden afectar de manera negativa a los cultivos, pero son importantes para mantener un balance adecuado en los agroecosistemas, debido que muchos de estos organismos sirven de alimentos para los depredadores.

En el AE, se registraron 15 familias depredadoras: Arionidae, Carabidae, Curculionidae, Elateridae, Forficulidae, Formicidae, Gelastocoridae, Lygaeidae, Nabidae, Pentatomidae, Reduviidae, Scarabeidae, Sclerosomatidae, Staphylidae y Scolopendridae; mientras que en la AV, las familias depredadoras identificadas fueron 12: Arionidae, Curculionidae, Forficulidae, Formicidae, Nabidae, Pentatomidae, Pompilidae, Scarabeidae, Sclerosomatidae, Scolopendridae, Staphylinidae y Styloniscidae.

Estas familias sirven como reguladores o controladores de las poblaciones de organismos que pueden afectar la productividad. La presencia de estas familias en el agroecosistema va contribuir a la regulación ecológica, lo que permite, disminuir la aplicación de agroquímicos nocivos para la salud y sobre todo mantener un balance adecuado con cierta macrofauna edáfica.

En el AE, los polívoros presentes pertenecen a seis familias: Formicidae, Gryllidae, Lumbricidae, Melongenidae, Rhinotermitidae y Staphylinidae. En el AV se identificaron siete familias polívoros: Blattidae, Formicidae, Gryllidae, Lumbricidae, Melongenidae, Rhinotermitidae y Staphylinidae. También se encontraron organismos con rol funcional hematófago, como las familias Culicidae y Cicadellidae.

Cuadro 9 Roles funcionales de la macrofauna del suelo en dos agroecosistemas de café en San Ramón, Matagalpa

Familias	AV							AV						
	N	Ingenieros del suelo	Detritívoros	Fitófagos	Depredadores	Polífagos	Hematófagos	N	Ingenieros del suelo	Detritívoros	Fitófagos	Depredadores	Polífa	Hematófa
Arionidae	6	-	-	-	X	-	-	7	-	-	-	X	-	-
Blattidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	X	-	-	X	-
Carabidae	1	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chrysomelidae	9	-	-	X	-	-	-	5	-	-	X	-	-	-
Cicadellidae	4	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Culicidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	X
Curculionidae	2	-	-	X	X	-	-	1	-	-	X	X	-	-
Cydniidae	3	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elateridae	4	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forficulidae	5	-	-	-	X	-	-	3	-	-	-	X	-	-
Formicidae	23	X	-	X	X	X	-	17	X	-	X	X	X	-
Gelastocoridae	1	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gryllidae	7	-	-	X	-	X	-	4	-	-	X	-	X	-
Hypogastruridae	1	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lumbricidae	63	X	X	-	-	X	-	41	X	X	-	-	X	-
Lygaeidae	6	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Meloidae	1	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Familias	AV							AV						
	N	Ingenieros del suelo	Detritívoros	Fitófagos	Depredados	Polífagos	Hematófagos	N	Ingenieros del suelo	Detritívoros	Fitófagos	Depredados	Polífagos	Hematófagos
Melolonthinae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	X	X	-	-	-
Melongenidae	3	-	-	-	-	X	-	8	-	-	-	-	X	-
Nabidae	4	-	-	-	X	-	-	1	-	-	-	X	-	-
Noctuidae	2	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nymphalidae	2	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentatomidae	5	-	-	X	X	-	-	3	-	-	X	X	-	-
Pompilidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	X	-	-
Reduviidae	2	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhinotermitidae	16	X	X	-	-	X	-	10	X	X	-	-	X	-
Scarabaeidae	29	-	X	X	X	-	-	25	-	X	X	X	-	-
Sclerosomatidae	17	-	-	-	X	-	-	10	-	-	-	X	-	-
Scolopendridae	20	-	-	-	X	-	-	17	-	-	-	X	-	-
Spirostreptidae	10	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Staphylinidae	6	-	-	-	X	X	-	6	-	-	-	X	X	-
Styloniscidae	-	-	X	-	-	-	-	1	-	X	-	X	-	-
Tenebrionidae	1	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total general	253							163						
Frecuencia		4	7	13	15	6	1		3	6	7	12	7	1

Cabrera, (2019); Brown et al., (2001); Escobar et al., (2017).

En los usos de suelo que utilizan prácticas agroecológicas se observó una mayor interacción entre fitófagos y depredadores, a diferencia del manejo convencional en el cultivo del café. Cabrera (2019) describe que “los mayores valores de riqueza y abundancia de la macrofauna, así como el predominio de grupos detritívoros en los bosques y en los sistemas agroforestales, respondieron a la mayor diversidad de recursos que brindan estos ecosistemas” (p. 84).

Si se alteran los sistemas productivos con el uso de tractores o uso de fertilizantes químicos incide en las poblaciones de la macrofauna, provocando una abundancia de plagas y disminución de la biomasa de los cultivos, lo que conlleva a una disminución del crecimiento y desarrollo. Escobar et al., (2017) describen que “las perturbaciones ocasionadas por cambios de usos, como la conversión del bosque a pastos o a sistemas silvopastoriles podrían modificar la composición de la edafofauna y afectar la probabilidad de recuperación del ecosistema original” (p.41), lo cual se traduce en una mayor degradación edáfica y pérdida de la calidad biológica del suelo.

El manejo en el agroecosistema AE se realizan prácticas agroecológicas, se encontró una mayor abundancia de organismos fitófagos en relación al agroecosistema donde se maneja de manera convencional AV. Esta diferencia se relaciona a la disponibilidad de alimento para los fitófagos, pero el agroecosistema agroecológico posee mayor abundancia de depredadores que regulan las especies fitófagos presente en el agroecosistema debido que le sirve de alimento.

5.2.3 Servicios ecosistémicos de la macrofauna edáfica

Los servicios ecosistémicos (SE) en el manejo de los ecosistemas reside en que estos pueden ser considerados como indicadores de la calidad o capacidad de un ecosistema para la provisión de un beneficio específico a un actor social determinado (Quétier et al., 2007, p. 19). La macrofauna edáfica tiene una gran contribución a estos servicios en los agroecosistemas, apoyando al agricultor en ciertos procesos ecológicos que permite la disponibilidad de alimentos para la crianza de animales, para el consumo de alimentos de origen vegetal o animal por la familia productora y para la comercialización de estos.

También, se observó que la macro fauna edáfica aporta principalmente a dos Servicios Ecosistémico. Uno de ellos es el SE de soporte o apoyo. En ambos agroecosistemas, se identificaron familias que contribuyen a la mejora del suelo. Entre estos están a los ingenieros de suelos representados por las familias Lumbricidae (lombrices), Formicidae (hormigas), Rhinotermitidae (termitas) y los Hypogastruridae (colémbolos). Al fragmentar las partículas, producir pelotas fecales y estimular la actividad microbiana intervienen en los ciclos de la materia orgánica y de los nutrientes (Zerbino, 2010, p. 99).

En el agroecosistema AE, se registraron organismos de la macrofauna edáfica que contribuye al ciclo de nutrientes que pertenecen a las familias Lumbricidae, Rhinotermitidae, Hypogastruridae, Scarabaeidae, Spirostreptidae, Styloniscidae y Tenebrionidae, mientras que en el AV las familias registradas fueron Blattidae, Lumbricidae, Melonlonthinae, Rhinotermitidae, Scarabaeidae y Styloniscidae.

El segundo Servicios Ecosistémico que la macrofauna edáfica aporta directamente es el de regulación. En este la macrofauna contribuye al control de enfermedades y plagas. Entre ellos los depredadores o controladores biológicos, aquí se encuentran las familias: Arionidae, Carabidae, Curculionidae, Elateridae, Forficulidae, Formicidae, Gelastocoridae, Lygaeidae, Nabidae, Pentatomidae, Reduviidae, Scarabeidae, Sclerosomatidae, Staphylidae y Scolopendridae. Este servicio contribuye con la regulación de otras especies que podrían afectar los rendimientos de los cultivos. En el cuadro 10 se sintetiza el aporte de la macrofauna edáfica a los servicios ecosistémico de soporte o apoyo y al de regulación.

Cuadro 10 Servicios ecosistémicos de la macrofauna del suelo en dos agroecosistemas de café en San Ramón, Matagalpa.

Servicios de ecosistemas			
Apoyo o soporte	Ingenieros del suelo:	Regulación	Depredadores:
	<ul style="list-style-type: none"> • Aportan en las propiedades físicas • Descomposición de la materia orgánica • Contribuyen en la porosidad del suelo • Promueven la humificación • Producen pelotas fecales • Mineralización de la materia orgánica. <p>Ciclo de nutrientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aportan a las propiedades químicas del suelo • Movilización de los nutrientes • Fragmentación de restos vegetales 		<ul style="list-style-type: none"> • Contribuyen en la regulación de las poblaciones de organismos en el agroecosistema.

Cabrera, 2012; Zerbino, 2010.

La contribución de la macrofauna edáfica al servicio ecosistémico de provisión depende de su aporte a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y de la regulación biológica natural de los organismos nocivos fitófagos y de los vectores de virus, que favorezca un mejor crecimiento, desarrollo y productividad de los vegetales, que pueden servir de alimento para la crianza de animales domésticos; el autoconsumo de alimentos de origen vegetal o animal por la familiar agricultora, la comunidad y la sociedad; de fuente de energía renovable y para el tratamiento de enfermedades. Entre estos sobresalen vegetales arbustivos y árboles como fuente de energía renovable (leña o carbón), de madera preciosa para la elaboración de muebles, así mismos se desarrollan en los agroecosistemas plantas útiles herbáceas, arbustivas y árboles que pueden ser alternativas para tratar enfermedades de los animales domésticos y de las personas.

El aporte de la macrofauna edáfica al servicio ecosistémico cultural estriba en el interés de la comunidad científica, de las familias agricultoras y comunitarios en estudiarlos, saber las funciones ecosistémicas y los servicios ecosistémicos que estos promueven en los agroecosistemas, y en el interés de coleccionarlos para mostrarlos a los niños y embellecer sus hogares con especímenes de las familias como la Nymphalidae, cuyas mariposas tiene colores llamativos, o algunos organismos de la familia Scarabaeidae, que pueden poseer un unicornio muy atractivo. También, adultos de la familia Nymphalidae embellecen los agroecosistemas y los paisajes con sus alas coloridas.

5.3. Riqueza, frecuencia de identificación, unidades formadoras de colonias, funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos de los microorganismos edáficos

En evaluaciones agroecológicas en agroecosistemas con cacao por Díaz (2019), café, ganado bovino y granos básicos (Salazar et al., 2017a, Salazar et al., 2017b, Salazar et al., 2017c y Rodríguez y Salazar, 2021), la riqueza se ha considerado como el número de categorías de una determinada taxa (Clase, orden, familia, género o especie) de fauna o de flora presentes en un explícito periodo de tiempo. En el estudio, la riqueza se refiere al número de géneros de microorganismos edáficos identificados en una muestra de un gramo suelo, cuyas categorías representan la diversidad de los géneros identificados de la microbiota edáfica, en una muestra de un gramo de suelo.

La frecuencia de identificación por género es el número de veces que se identifica cada género de microorganismo edáfico en una muestra de suelo de un agroecosistema. Si se suman las frecuencias de identificación por género se obtiene la frecuencia total de identificación de los microorganismos edáficos. El cociente que resulta de la división de la frecuencia de identificación por género entre la frecuencia total de identificación de los microorganismos edáficos se interpreta como la probabilidad de identificar ese género en una muestra de suelo del agroecosistema respectivo (Salazar et al., 2021).

En microbiología, la unidad formadora de colonia es una unidad de medida que se emplea para la cuantificación de microorganismos por mililitro o gramo de una muestra, es decir, que se contabiliza el número de células de bacterias y hongos viables en una muestra líquida o sólida (Carral-Lugo et al., 2012; Arana et al., s.f).

En los ecosistemas naturales y artificiales la biodiversidad desempeña diferentes funciones ecológicas, que se definen como la capacidad de proveer servicios que satisfagan a la sociedad (De Groot et al., 2002). The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010a) define a la función ecosistémica o ecológica como un subconjunto de interacciones entre la estructura del ecosistema y los procesos biofísicos que sustentan la capacidad de un ecosistema de proveer bienes y servicios. TEEB (2010b) puntualiza que los servicios ecosistémicos son “la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano”.

5.3.1 Riqueza, frecuencia de identificación y unidades formadoras de colonias por gramo de suelo de los microorganismos edáficos

En el agroecosistema agroecológico AE y AV, se encontraron tres grupos de microorganismos edáficos: actinomicetos, bacterias y hongos (Cuadro 11 y 12). Un género del grupo de los actinomicetos, tres del grupo de las bacterias y 12 del grupo de los hongos (Cuadro 11 y 12), que representa una riqueza total de 16 géneros de microorganismos edáficos.

En ambos agroecosistemas, la riqueza de géneros de los microorganismos es muy similar (Cuadro 11 y 12). En el AE se identificaron 14 géneros, mientras que en el AV 15. Este resultado se atribuye a que ambos agroecosistemas son colindantes, la mayor parte de sus áreas están cultivada con café en un sistema agroforestal y existen pequeñas áreas de bosque, que ofrecen buenas condiciones para que las UFC g^{-1} de suelo de los organismos de estos grupos de microbios edáficos permanezcan viables.

Los géneros del grupo de los actinomicetos y de las bacterias son comunes; y nueve géneros del grupo de los hongos. Este resultado indica que existen 13 géneros de microorganismos edáficos muy plásticos porque se adaptan al manejo agronómico agroecológico que se realiza en AE y al convencional por parte del agricultor del AV.

En ambos agroecosistemas, el grupo con mayor frecuencia de identificación (N) fue el de las bacterias con 103 en el AE y 121 en el AV (Cuadro 11). Los géneros del grupo de los hongos alcanzaron una frecuencia de identificación de 97 en el AE y 83 en el AV (Cuadro 11). Este grupo de microorganismos es más diverso en géneros que el grupo de actinomicetos y de bacterias.

Estos resultados indican que la probabilidad de identificar un género del grupo de las bacterias es inferior en 8.83% en el AE ($103/225*100=45.78\%$) en relación al AV ($121/230*100=52.61\%$). Por el contrario, la probabilidad de identificar un género del grupo de los hongos es inferior en 7.02% en el AV ($83/230*100=36.09\%$) en relación al AE ($91/225*100=43.11\%$).

En ambos agroecosistemas, se identificó un único género de actinomicetos (Cuadro 11 y 12), que es *Streptomyces* sp, cuya frecuencia de identificación es muy similar, con 25 en el AE, que representa el 11.11% ($25/225*100$) y 26 en el AV, cuyo porcentaje es el 11.30% ($26/230*100$). Este resultado permite afirmar que la probabilidad de identificar este género, en ambos agroecosistemas, es de 11%. En el AE, las UFC g^{-1} de suelo de *Streptomyces* sp representaron el 9.1% del total ($2,700,000/29,829,000*100$) y el 9.54% ($4,070,000/42,672,00*100$) en el AV.

En AV, las UFC g^{-1} de suelo de este género de actinomiceto es superior en un 50.74% ($2,700,000$ vs $4,070,000$) a las registradas en el AE, que significa que el manejo agronómico convencional que realiza el agricultor del AV favorece a que las estructuras reproductivas de este actinomiceto estén más viables, que se refleja en una mayor UFC g^{-1} de suelo.

En el grupo de las bacterias se identificaron tres géneros: *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp y *Sarcinas* sp, cuya frecuencia de identificación de los dos primeros géneros osciló entre 41 y 49, mientras que la de *Sarcinas* sp entre 13 y 24 (Cuadro 11). Este grupo de microorganismos se adapta bien al manejo agroecológico (AE) y convencional (AV), que se constata con la cuantificación de la probabilidad de identificación y de sus UFC g^{-1} de suelo. En el AE, la probabilidad de identificar uno de estos géneros de bacterias es de 45.8% ($103/225*100$) y en el AV es de 52.6%. ($121/230*100$). En el AE, este grupo representó el 87.9% ($26,190,000/29,829,000*100$) del total de las UFC g^{-1} de suelo y en ACV el 88.7% ($37,890,000/42,672,000*100$).

En el AV, las UFC g^{-1} de suelo de los tres géneros de bacterias son superiores referentes a las contabilizadas en el AE. Se registró un 44.71% más de UFC g^{-1} de suelo en el AV ($26,190,000$ vs $37,890,000$), por lo que se puede afirmar que la viabilidad de las estructuras reproductivas de los géneros de las bacterias y la del actinomiceto (*Streptomyces* sp) es favorecida por el manejo agronómico convencional que realiza el agricultor del AV.

La riqueza del grupo de los hongos es mayor en relación a la de los actinomicetos y al de las bacterias. En ambos agroecosistemas, se identificaron 12 géneros de hongos, (Cuadro 11), cuya frecuencia de identificación total representó el 43.1% ($97/225*100$), en el AE, y en el AV el 36.1% ($83/230*100$). Las UFC g^{-1} de suelo del grupo de los hongos son las más bajas en relación a las del actinomiceto *Streptomyces* sp, y a las del grupo de las bacterias. En el AE, estas alcanzaron el 3.15% ($939,000/29.829,000*100$) y el AV el 1.7% ($712,000/42,672,000*100$).

En el AE, la frecuencia de identificación y las UFC g^{-1} de suelo del grupo de los hongos son superiores a las cuantificadas en el AV en 16.86% (97 vs 83) y en 31.88 % (939,000 vs 712,000 UFC g^{-1} de suelo), respectivamente. Este resultado permite manifestar que la gran mayoría de los géneros de este grupo de microorganismos edáficos son favorecidos por las prácticas agroecológicas que se implementan en el AE.

De los nueve géneros de hongos comunes en ambos agroecosistemas, cinco de ellos tienen una mayor frecuencia de identificación y una mayor probabilidad de estar viable en un gramo de suelo, en el AE (Cuadro 11). Estos géneros son: *Fusarium* sp (15 vs 5), *Mucor* sp (7 vs 4), *Paecilomyces* sp (12 vs 7), *Penicillium* sp (22 vs 19) y *Pythium* sp (9 vs 6). La frecuencia de identificación y la probabilidad de estar viable en un gramo de suelo de los géneros *Torula* sp (3 vs 4), *Trichoderma* sp (17 vs 17) y *Verticillium* sp (5vs 6) son muy similares.

Las UFC g^{-1} de suelo de los nueve géneros de microorganismos comunes en ambos agroecosistemas son mayores en AE referente a las contabilizadas en el AV, excepto el género *Penicillium* sp (337,000 vs 417,000).

De estos resultados se puede inferir que el grupo de los hongos alcanzó la mayor riqueza con 12 géneros y que la contribución de estos a las UFC g^{-1} de suelo resultó inferior al 4%. El actinomiceto *Streptomyces* sp contribuyó a las UFC g^{-1} de suelo entre el 8 y 9%; el grupo de las bacterias (*Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp y *Sarcinas* sp) fue el más abundante y aportaron entre 87 y 89% a las UFC g^{-1} de suelo.

5.3.2 Funciones y servicios ecosistémicos de la microbiología edáfica

Los microorganismos, en los ecosistemas naturales o artificiales, cumplen distintos roles o funciones, estos se relacionan de acuerdo a los factores biótico y abióticos presentes en el suelo, que pueden contribuir de manera positiva o ser una limitante en los procesos productivos. Estos microorganismos habitan en la rizosfera y promueven el crecimiento de las plantas o pueden comportarse como agentes patógenos de los vegetales.

Entre los mecanismos que estos realizan para promover el crecimiento de los vegetales, Puente et al., (2010) expresan que estos:

Ejercen mecanismos con efectos positivos sobre las plantas. “Como mecanismos directos en la nutrición [fijación biológica del nitrógeno (N), la solubilización de fósforo (P), la capacidad de producir ácidos orgánicos (ácidos oxálico, fumárico y cítrico) y fosfatasas facilitando la solubilidad del P], producción de fitohormona [Auxinas, giberelinas y citoquininas], producción de enzimas [ACC-deaminasa], absorción de agua [exopolisacáridos] e indirecto como controlador biológico (BCA)”. (p. 39)

Swift et al., (2012) agrupan a la biota de suelo en diez grupos funcionales: 1) productores primarios 2) herbívoros 3) ingenieros del ecosistema 4) transformadores de la hojarasca 5) descomponedores 6) predadores 7) microrreguladores 8) microsimbiontes 9) plagas y enfermedades del suelo y 10) transformadores procariontes.

La importancia de los grupos funcionales de la biota edáfica radica en su contribución relativa a los procesos que acontecen en los ecosistemas (Swift et al., 2012), ya sean estos naturales o artificiales.

En el cuadro 12, la microbiota edáfica se agrupó en función de los siguientes procesos que ocurren en los agroecosistemas: 1) Microorganismos descomponedores de la materia orgánica (MDMO) por la actividad enzimática de despolimerización de actinomicetos, bacterias y hongos contribuyendo al ciclo del carbono (C), 2) Ciclo de los nutrientes mediante la formación de asociaciones simbióticas para la fijación biológica del N₂ (FBN), con las micorrizas (HFM) y microorganismos solubilizadores del P, K, S (MSP, MSK, MSS), etc, 3) Microorganismos productores de hormonas de crecimiento vegetal (MPH), 4) Microorganismos agentes de biocontrol natural (MAB) 5) Microorganismos biorremediadores del suelo al contribuir a la degradación de agrotóxicos, de compuestos derivados de hidrocarburos y de metales pesados en el suelo (MBS) y 6) Microorganismos agente de enfermedades a plantas (MAE).

En ambos agroecosistemas, los géneros identificados de la microbiota edáfica son multifuncional porque participan en diferentes procesos ecológicos que pueden tener efectos positivos, negativos o la combinación de ambos (Cuadro 12). En estos procesos ecológicos existen interacciones entre la biota edáfica, con otros organismos de origen vegetal o animal y con factores abióticos.

Los géneros que participan en la descomposición de la materia orgánica en ambos agroecosistemas, corresponden a: levadura (*Torula* sp), actinomiceto (*Streptomyces* sp) y hongos filamentosos (*Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Mucor* sp, *Paecilomyces* sp, *Penicillium* sp y *Trichoderma* sp) (Cuadro 12). Morocho y Leiva-Mora (2019) reportan que las levaduras son “capaces de utilizar diversas fuentes de carbono (glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol) y de energía” (p. 96). Estos autores destacan que los actinomicetos solubilizan “la pared celular o componentes de las plantas, hongos e insectos” y que los “hongos fermentadores contribuyen con los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo” (p. 96). En el AE, los tres géneros bacterianos representan el 45.8% de la frecuencia de identificación y en el AV el 52.6% (Cuadro 11). Estos géneros bacterianos representan para AE el 87.8% del valor total de UFC g⁻¹ de suelo (29,829,000) y en el AV alcanzaron el 88.7% de la cuantificación total (42,672,000) de UFC g⁻¹ de suelo.

Estos resultados permiten suponer que *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp y *Sarcina* sp, son más dinámicas y con mayor actividad metabólica para la descomposición e hidrolización de los polímeros de los restos vegetales, en ambos agroecosistemas AE y AV, en comparación con los géneros de hongos y de levadura identificados que participan en estos procesos. Hay que resaltar, que los dos primeros géneros de bacterias, son las que sobresalen en frecuencia de identificación y en las UFC g⁻¹ de suelo.

En estos procesos microbianos de descomposición, degradación y mineralización de los restos vegetales, que son fuentes de polímeros, su producto final es humus, cuyos principales efectos sobre el suelo y los vegetales son:

Mejora condiciones físicas, como agregación, aireación, retención de agua, intercambio catiónico y permeabilidad del suelo; aumenta la superficie específica, la CIC [Capacidad de intercambio catiónico], o el efecto tapón como agente de complejación, quelación y retención de nutrientes y xenobióticos; ejerce efectos fisiológicos, como permeabilidad de membranas, absorción de nutrientes, actividad enzimática y fotosíntesis; ejerce acción protectora y actúa como fuente de nutrientes para los microorganismos y actúa como reservorio de N [nitrógeno], P [fósforo], S [azufre], micronutrientes. (Frioni, 2006)

Los géneros microbianos *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp son rizobacterias diazotróficas de vida libre o asociativas que reducen el nitrógeno atmosférico (N₂) a amoníaco (NH₃) (Posada Castaño, et al., 2021; Gaviria-Giraldo, et al., 2018, De la Fe Pérez, 2015 y, Carrillo, 2013). En ambos agroecosistemas, se identificaron estos géneros (Cuadro 11 y 12), cuyas frecuencias de identificación y UFC g⁻¹ de suelo fueron las más altas (Cuadro 11), por lo que se puede deducir que es altamente probable que estos géneros contribuyan significativamente a la nutrición nitrogenada de los vegetales. Adicionalmente, estos géneros están muy bien representados en los procesos de descomposición o despolimerización de los restos vegetales (Cuadro 11). Según Frioni (2006), el producto final de los procesos de descomposición o despolimerización de los restos vegetales es humos, conformado por una mezcla de sustancias amorfas (Ácidos húmicos, fúlvicos y himatomelánicos; y humina), cuyos efectos sobre el suelo y los vegetales son muy positivos.

“Para que este elemento se encuentre en formas disponibles para la asimilación por parte de las plantas es necesario que actúen los microorganismos solubilizadores de fosfatos” (Innovatione AgroFood Design, 2019a, párr. 1). Algunos géneros de actinomicetos, hongos y bacterias del suelo son capaces de solubilizar el fósforo (P) mediante la producción de ácidos orgánicos (glucónico, oxálico, cítrico, láctico, tartárico y aspártico), quelación y reacciones de intercambio iónico para que los vegetales los puedan absorber. Así mismo, en el suelo existen hongos que pueden establecer una simbiosis mutualista con raíces de la gran mayoría de las especies vegetales, que es conocida como simbiosis micorrizal, que contribuye a la captación de nutrientes, principalmente de P (Osorio-Vega, 2009). De acuerdo con Blanco y Salas (1997) “estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbón, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrimentos minerales (especialmente los poco móviles como en P)” (p. 56).

En ambos agroecosistemas, esta simbiosis micorrizal no se constató porque no se identificaron géneros de hongos que establezcan esta simbiosis mutualista con las raíces de los vegetales (Cuadro 12), que se atribuye a la forma del muestreo. Para la identificación de géneros de microorganismos que establecen relaciones simbióticas mutualistas con los vegetales se debe muestrear las partes del vegetal donde acontece la simbiosis. En el caso de bacterias simbióticas que reducen el nitrógeno atmosférico (N_2) a amoníaco (NH_3) es en los nódulos de las raíces de las leguminosas y en el de los hongos micorrizicos en las raicillas. Estos son los fundamentos que explican la ausencia de géneros de bacterias que nodulan y de géneros de hongos que forman micorrizas (Cuadro 11 y 12).

Cuadro 11 Géneros de microorganismos edáficos, frecuencia de identificación (N), unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC g⁻¹ de suelo) en dos agroecosistemas de café, San Ramón, Matagalpa.

Grupo	Género	La Espadilla (AE)		La Vecina (AV)	
		N	UFC g ⁻¹ de suelo	N	UFC g ⁻¹ de suelo
Actinomicetos	<i>Streptomyces</i> sp	25	2,700,000	26	4,070,000
Total	1	25	2,700,000	26	4,070,000
Bacteria	<i>Bacillus</i> sp	49	13,580,000	48	20,410,000
	<i>Pseudomonas</i> sp	41	10,740,000	49	12,440,000
	<i>Sarcinas</i> sp	13	1,870,000	24	5,040,000
Total	3	103	26,190,000	121	37,890,000
Hongos	<i>Aspergillus</i> sp	6	126,000	10	54,000
	<i>Fusarium</i> sp	15	100,000	5	12,000
	<i>Macrophomina</i> sp	-	-	2	11,000
	<i>Mucor</i> sp	7	39,000	4	16,000
	<i>Paecilomyces</i> sp	12	117,000	7	19,000
	<i>Penicillium</i> sp	22	337,000	19	417,000
	<i>Pythium</i> sp	9	28,000	6	25,000
	<i>Rhizoctonia</i> sp	1	1,000	-	-
	<i>Rhizopus</i> sp	-	-	3	32,000
	<i>Torula</i> sp	3	15,000	4	7,000
	<i>Trichoderma</i> sp	17	152,000	17	101,000
	<i>Verticillium</i> sp	5	24,000	6	18,000
Total	12 (10 AE vs 11 AV)	97	939,000	83	712,000
Gran total	16	225	29,829,000	230	42,672,000

Fuente: Restrepo-Correa, Pineda-Meneses y Ríos-Osorio (2017). Velázquez-Gurrola y Ramos-Alegría (2015)

Los géneros de: *Streptomyces* sp, *Bacillus* sp, *Pseudomona* sp, *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Mucor* sp, *Paecilomyces* sp, *Penicillium* sp, *Rhizopus* sp y *Trichoderma* sp son capaces de solubilizar el fósforo del suelo. En ambos agroecosistemas, los tres primeros géneros alcanzaron las mayores frecuencias de identificación y UFC g⁻¹ de suelo (Cuadro 11 y 12), por lo que se puede concluir que es altamente probable que estos géneros sean más activos que los restantes géneros de hongos referente a la solubilización de este nutrimento (P), y que una vez en la solución de suelo, los vegetales lo absorban como fosfatos monobásico (H₂PO₄⁻¹) y dibásico (HPO₄⁻²).

Los géneros bacterianos *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp y los géneros fúngicos *Aspergillus* sp, *Paecilomyces* sp, *Penicillium* sp y *Trichoderma* sp tienen la habilidad de solubilizar el K asociado con otros elementos (Cuadro 12). En ambos agroecosistemas, se identificaron los dos géneros bacterianos y los cuatro fúngicos capaces de solubilizar el catión potasio (Cuadro 11). Los dos géneros bacterianos alcanzaron las mayores frecuencias de identificación y los mayores valores de UFC g⁻¹ de suelo. Este hecho conduce a concluir que, en ambos agroecosistemas, *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp son más dinámicos para solubilizar el potasio del suelo referente a los cuatro géneros fúngicos. Hay que resaltar que los géneros bacterianos solubilizadores de K tienen más capacidad de formar UFC g⁻¹ de suelo en el ACV.

Las publicaciones consultadas reportan que los géneros bacterianos *Pseudomonas* sp y *Bacillus* sp son capaces de convertir el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato y el fúngico *Aspergillus* sp de oxidar el azufre en polvo. Estos tres microorganismos de la biota edáfica se identificaron en ambos agroecosistemas. Los dos géneros bacterianos que transforman el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato son los más representativos en AE y AV, si se toman como parámetros sus respectivas frecuencias de identificación y UFC g⁻¹ de suelo, y serían los que más aportan a la conversión del azufre elemental y el tiosulfato a sulfato.

Bacillus sp y *Pseudomonas* sp tienen un rol muy destacado en la descomposición de la materia orgánica y en los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) y por consiguiente en la biofertilización natural de los vegetales, que crecen, se desarrollan y producen fitomasa para la crianza de animales domésticos, el bienestar de las familias agricultoras, la comunidad y la sociedad en general; y para garantizar la materia orgánica fresca (restos vegetales) que es la principal fuente de polímeros, los que serán, nuevamente, expuestos a la actividad microbiana edáfica para su posterior degradación y mineralización.

Osorio (2009) manifiesta que *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp pueden reducir el Manganeseo (Mn) oxidado de Mn^{4+} a Mn^{2+} que es la forma química metabólicamente absorbida por las plantas, y desempeña un papel importante en la resistencia de las plantas a las enfermedades.

Las hormonas vegetales, fitohormonas, reguladores vegetales o reguladores de crecimiento son compuestos que pueden ser sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos (Alcantara et al., 2019). “En la rizósfera los microorganismos suelen originar sustancias que estimulan el desarrollo de las plantas (auxinas, citoquininas, giberelinas) en concentraciones muy bajas” (Carrillo, 2013).

Estos reguladores de crecimiento pueden ser clasificados según su estructura molecular, su actividad a nivel vegetal, sus efectos inhibitorios o estimulantes, entre otras clasificaciones. Alcantara et al., (2019) los clasifican en los siguientes nueve grupos: 1) Auxinas 2) Giberelinas 3) Citoquininas 4) Ácido abscísico 5) Ácido salicílico 6) Poliaminas 7) Ácido Jasmónico y derivados 8) Brasinoesteroides y 9) Etileno.

En la literatura se constató que los microorganismos de la rizosfera pueden producir más de una fitohormona como es el caso del actinomiceto *Streptomyces* sp, los hongos *Aspergillus* sp y *Penicillium* sp que sintetizan auxinas y giberelinas. La bacteria *Pseudomonas* sp y el hongo *Rhizopus* sp, que adicional a las dos fitohormonas anteriores pueden sintetizar citoquininas (Posada et al., 2021; Leal-Almanza et al., 2018; Carrillo, 2013).

En ambos agroecosistemas, se identificaron siete géneros microbianos comunes con capacidad de sintetizar fitohormonas en la rizosfera, que incluyen el actinomiceto *Streptomyces* sp, dos géneros bacterianos (*Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp) y cuatro de hongos (*Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Penicillium* sp y *Trichoderma* sp). El hongo *Rhizopus* sp sintetiza auxinas, citoquininas y giberelinas y se identificó en el AV (Cuadro 12). Por la dominancia del actinomiceto *Streptomyces* sp y de los dos géneros de bacteria referente a la frecuencia de identificación y a las UFC g⁻¹ de suelo (Cuadro 11), se puede inferir que son más activos metabólicamente en la síntesis de fitohormonas. Las fitohormonas sintetizadas por estos microbios de la rizosfera ejercen un efecto directo sobre la producción de raíces adventicias, formación y elongación de raíces y tallos, aumento de la dominancia apical radical, inducción a la floración y a la germinación de las semillas presentes en el suelo, estimulación de brotes axilares en los vegetales e incremento de fitomasa (Alcantara, et al., 2019; Morocho y Leiva-Mora, 2019). En síntesis, en ambos agroecosistemas, estos microorganismos contribuyen a la fitoestimulación de los vegetales de forma natural.

Carrillo (2013) señala que las principales interacciones que acontecen entre estos organismos pueden ser: ‘quorum sensing, mutualismo, simbiosis, comensalismo, sinergismo y sintrofia, antagonismo, depredación, parasitismo, biocontrol. Cano (2011) “Estas interrelaciones entre microorganismos inciden en la interacción suelo-planta-microorganismos-ambiente y repercuten, de forma directa, en el crecimiento y en el desarrollo de las especies vegetales”.

Ezziyyani (2006) afirma que las interacciones de la microbiota edáfica son claves en el desarrollo y funcionamiento de la rizosfera, donde las poblaciones de microorganismos pueden interactuar de manera sinérgica. Tangarife (2021) asevera que el modo de acción de géneros fúngicos edáficos es por competencia, parasitismo, micoparasitismo y antibiosis; y el de las bacterias es por antibiosis.

En los agroecosistemas AE y AV, se identificaron diez géneros de la microbiota edáfica, acuerdo a la literatura se pueden comportar como microorganismos agentes de control biológico (Cuadro 12).

Estos son: el actinomiceto *Streptomyces* sp, las bacterias *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp; y los hongos *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Paecilomyces* sp, *Penicillium* sp, *Pythium* sp, *Trichoderma* sp y *Verticillium* sp. El género fúngico *Rhizopus* sp, solamente, se identificó en el AV. Estos 11 géneros de la microbiota edáfica representan el 68.75% del total de géneros identificados (16 géneros), los cuales interactúan entre sí, con otros organismos edáficos, con los vegetales y el ambiente, que posiblemente contribuyan a los suelos sean supresivos. Al respecto, Doussoulin y Moya (2011) expresan que:

Una fuente para encontrar bioantagonistas para el control de enfermedades que ocurren a nivel del suelo está asociada a que existen algunos suelos en los cuales algunos microorganismos nativos protegen al cultivo de ciertos patógenos, y que se denominan como “suelos supresivos”, ya que no permiten o reducen notoriamente el desarrollo de este tipo de enfermedades. (p. 68)

El enfoque de supresividad de los suelos es holístico. Bautista-Calles et al., (2008) consideran que es:

Una propiedad emergente del sistema, que resulta de su propia complejidad y que no puede explicarse, y menos manejarse, desintegrando al sistema en sus componentes elementales. Su guía filosófica es la teoría general de sistemas y de la complejidad. La complejidad es precursora de la estabilidad y, en ecología del suelo, la propiedad de autoorganización de los sistemas complejos puede conducir al surgimiento de la supresividad. (p. 96)

La supresividad de los suelos puede atribuírsele a que hay géneros de microorganismos edáficos autóctonos que pueden suprimir agentes patógenos mediante diferentes mecanismos de acción, que se adecuan a situaciones específicas. Se ha comprobado que la bacteria *Bacillus* sp tiene la habilidad de suprimir agentes causantes de enfermedades a través de los diferentes mecanismos de acción:

Villarreal-Delgado et al., (2018) destacan que el género *Bacillus* sp se encuentra ampliamente distribuido en los agroecosistemas y sus principales mecanismos de acción son: excreción de antibióticos, toxinas, sideróforos, enzimas líticas e inducción de resistencia sistémica.

Alvarez-García et al., (2020) constataron que las actividades antagónicas de la bacteria *Pseudomonas* sp consisten en la producción de enzimas líticas, compuestos azufrados y antibióticos; e inducción de resistencia sistémica. Motta et al., (2022) confirmaron que *Pseudomonas* sp establece interacciones complejas entre las partículas del suelo, la rizosfera, las semillas y los patógenos. Estos autores verificaron que este género bacteriano como biocontrolador de fitopatógenos lo realiza mediante competencia por nutrientes y de espacio, la producción de siderofonos, antibióticos, sustancias antifúngicas, enzimas líticas y diferentes sustancias antimicrobianas; y a través de la resistencia sistémica inducida. El actinomiceto *Streptomyces* sp produce compuestos antifúngicos (Amigot, 2009). El género *Trichoderma* sp ejerce el control de fitopatógenos por medio de los siguientes mecanismos: micoparasitismo, antibiosis, competencia por nutrientes y espacio e inducción de resistencia (Mondino y Vero, 2006, p 42).

Todos los géneros identificados de la microbiota edáfica que se comportan como agentes de control biológico natural, seguramente, tienen la habilidad de desarrollar distintos mecanismos de acción, que se adaptan a condiciones específicas en el marco de relaciones o interacciones complejas entre ellos, los agentes patógenos, los vegetales, las semillas, la rizosfera, el suelo y el ambiente que contribuye a mantener poblaciones de agentes patógenos en niveles poblacionales que no ejercen daños perjudiciales muy notorios a las plantas y económicos a las familias agricultoras.

Los resultados han demostrado que en ambos agroecosistemas, los microorganismos edáficos nativos identificados pueden contribuir a la biofertilización, la fitoestimulación y al biocontrol natural de patógenos de los vegetales. También, existen géneros nativos multifuncionales que pueden participar en otros procesos que acontecen en el suelo, como es el de la biorremediación natural. La biorremediación consiste en:

La aplicación de un conjunto de técnicas que permiten aumentar la biomasa microbiana del suelo y las actividades de los microorganismos y vegetales con el objetivo de lograr la recuperación de ambientes polucionados o contaminados. En particular se estimula la degradación de productos de carácter xenobióticos, originados por actividades del hombre y que contaminen el ambiente. (Frioni, 2006, p. 407)

Muchos suelos de los agroecosistemas están contaminados naturalmente con metales pesados o artificialmente con derivados de hidrocarburos y con la aplicación de agrotóxicos, que se convierte en un problema ambiental. Existen “microorganismos capaces de sobrevivir a dichas condiciones y utilizar los hidrocarburos de petróleo como fuente de carbono y energía” (Vizúete et al., 2020; Castillo et al., 2016 y Torres, 2003) y “de degradar moléculas tóxicas y altamente complejas a moléculas menos complejas, no tóxicas y que pueden ser utilizadas por otros organismos” (Castellanos y Rache, 2013, p. 105).

En la revisión bibliográfica se constató que ocho géneros de los microorganismos identificados tienen la capacidad de participar en procesos naturales de biorremediación del suelo (Cuadro 12), que representan el 50% del total de géneros identificados (16). De estos géneros, siete son comunes. Hernández et al., (2020), Hernández-Ruiz et al., (2017), Castellanos y Rache (2013), Torres (2003) manifiestan la importancia del actinomiceto *Streptomyces* sp, de las bacterias *Bacillus* sp, y *Pseudomonas* sp; y de los géneros fúngicos *Aspergillus* sp, *Mucor* sp, *Fusarium* sp, *Penicillium* sp y *Rhizopus* sp para degradar compuestos agrotóxicos (Insecticidas y herbicidas) en el suelo. Castillo et al. (2020), Vizúete et al. (2020), Gómez et al (2008) y Torres (2003) reportan que los géneros bacterianos *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp, y el fúngico *Aspergillus* sp tienen la capacidad de degradar hidrocarburos en el suelo. Mejía (2006) reporta que *Bacillus* sp (Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, Fe), *Penicillium* sp (Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, Cr), y *Rhizopus* sp (Cd, Cu, Pb, Hg, An, Cr) pueden degradar metales pesados en el suelo.

Con la excepción del género fúngico *Rhizopus* sp, los restantes géneros se identificaron en ambos agroecosistemas. Este hecho demuestra que en ambos agroecosistemas existe un amplio rango de microorganismos nativos que tienen la capacidad de degradar agrotóxicos, hidrocarburos y metales pesados en el suelo, de manera que estos organismos nativos son una alternativa para la biorremediación natural de los suelos; principalmente el gestionado con enfoque convencional (AV) por la aplicación de agrotóxicos al suelo (Herbicidas y nematicidas).

En el agroecosistema AE, que se gestiona con el enfoque agroecológico se debe tener el cuidado de no utilizar harina de roca contaminada con metales pesados para la elaboración de abonos orgánicos sólidos.

Géneros de microorganismos identificados en ambos agroecosistemas coadyuvan a la descomposición y mineralización de la materia orgánica, a la biofertilización, fitoestimulación y al biocontrol natural, así como a la biorremediación natural del suelo. Algunos de estos géneros han sido reportados en la literatura como posibles agentes causales de enfermedades o agentes fitopatógenos (Cuadro 12). Entre estos géneros están: *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Mucor* sp, *Penicillium* sp, *Pythium* sp, *Rhizoctonia* sp, *Rhizopus* sp y *Verticillium* sp (Corrales et al., 2018; Castillo et al., 2016 y Tanaka et al., 2003). Estos géneros fúngicos se relacionan con la pudrición de raíces y tallos, marchitez de las hojas, pudrición de los frutos y deformación en los frutos.

En ambos agroecosistemas, las UFC g⁻¹ de suelo de los géneros fúngicos representan menos del 3.3% del total cuantificadas, por lo que sus efectos fitopatógenos no estén causando muchos daños a los vegetales y a la economía de ambos agricultores. En estos suelos, se constató que el crecimiento y desarrollo de los vegetales pueden ser fomentados, directamente, por la biofertilización y fitoestimulación natural e indirectamente por el biocontrol natural, que conduce a que los vegetales sean más robustos y sanos, y por consiguiente más tolerantes ante estos efectos negativos. Las reducidas UFC g⁻¹ de suelo de estos patógenos induce a afirmar que estos suelos son supresivos porque no permiten el establecimiento de patógenos o el desarrollo de enfermedades que afectan a diferentes cultivos. Esto se debe a que los patógenos pueden estar presentes, pero no tienen las “condiciones para establecerse o persistir dado la presencia de microorganismos o factores abióticos que impiden que estos provoquen daños o causen una enfermedad importante” (Doussoulin y Moya, 2011, p. 74).

En relación con los servicios ecosistémicos en ambos agroecosistemas, la microbiota edáfica coadyuva directamente al (SE) soporte, regulación y culturales e indirectamente al de aprovisionamiento. Los géneros de microorganismos que participan en la descomposición (despolimerización) y mineralización de la materia orgánica fresca (restos vegetales) hasta la conformación del humus (materia orgánica nativa) contribuyen a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Frioni, 2005).

Estos microorganismos participan activamente en el ciclo biogeoquímico del C que acontece en el suelo. Las bacterias de vida libre capaces de fijar el nitrógeno atmosférico a través de una simbiosis mutualista con los vegetales, de solubilizar el P, K y S favorecen la nutrición natural de los vegetales (biofertilización natural) mediante el ciclado de nutrientes por su participación en los ciclos biogeoquímicos del N, P, K y S. Los microorganismos que producen fitohormonas fomentan el crecimiento y desarrollo de los vegetales (fitoestimulación natural). En síntesis, la biofertilización y fitoestimulación natural de los vegetales favorecen, directamente, la producción primaria bruta y neta, el ciclado de los nutrientes y la formación del suelo que corresponden al servicio ecosistémico de soporte.

En ambos agroecosistemas, se identificaron géneros de microorganismos que se pueden comportar como agentes de control biológicos (control biológico natural) y otros capaces de degradar agrotóxicos, derivados de hidrocarburos y metales pesados (biorremediación natural), que se deben categorizar como su aporte directo al servicio ecosistémico de regulación.

El aporte directo de estos microorganismos al servicio ecosistémico cultural consiste en el desarrollo cognitivo, que es el proceso aprendizaje mediante el cual la humanidad ha adquirido conocimientos por medio del razonamiento y el empirismo.

En resumen, ambos agroecosistemas, son escenarios para el estudio cuantitativo y/o cualitativo de sus componentes (productores, consumidores y descomponedores) y se ha verificado la estrecha relación que existen entre ellos y factores abióticos (coloides del suelo, materia orgánica, etc).

Estos microbios edáficos contribuyen indirectamente al servicio ecosistémico de aprovisionamiento puesto que la biomasa que se caracterice como rendimiento (alimentos, fibras, madera, energía o leña) es el resultado de un buen crecimiento y desarrollo de los productores (vegetales), en el que intervienen la biofertilización, la fitoestimulación y los agentes de control biológico natural.

Cuadro 12 Géneros de microorganismos edáficos acorde a los procesos que participan en ambos agroecosistemas

Grupo	Géneros	MDMO	Ciclo de los nutrientes					MPH	MAB	MBS	MAE	Autores
			FBN	HFM	MSP	MSK	MSS					
Actinomicetos	<i>Streptomyces sp</i>	X	-	-	X			X	X	X	X	6, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 20, 21
Bacterias	<i>Bacillus sp</i>	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, , 10, 11, 13, 16, 17, 18, 20, 21, 23
	<i>Pseudomonas sp</i>	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 9, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21
Hongos	<i>Sarcinas sp</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16, 18
	<i>Aspergillus sp</i>	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	4, 5, 6, 7, 10, 12, 16, 19, 20, 21, 22
	<i>Fusarium sp</i>	X	-	-	X	-	-	X	X	X	X	2, 4, 6, 8,9, 9, 13, 18, 19, 20, 22
	<i>Macrophomina sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	
	<i>Mucor sp</i>	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	7, 9, 10, 12, 22
	<i>Paecilomyces sp</i>	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	3, 7, 8, 10, 18, 20
	<i>Penicillium sp</i>	X	-		X	X	-	X	X	X	-	3, 4, 5, 7, 8, 9,10, 12, 18, 19, 20, 21, 23
	<i>Pythium sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	2, 8, 20
	<i>Rhizoctonia sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	2, 8,
	<i>Rhizopus sp</i>	-	-	-	X	-	-	X	X	X	-	7, 19, 20, 21, 22, 23
<i>Torula sp</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Trichoderma sp</i>	X	-	-	X	X	-	X	X	-	-	2, 3, 4, 7, 8, 9, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 18, 20	
<i>Verticillium sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	8, 20	

MDMO: Microorganismos Descomponedores de la Materia Orgánica, **FBN:** Fijación biológica del Nitrógeno atmosférico, **HFM:** Hongos Formadores de Micorrizas, **MSP:** Microorganismos Solubilizadores del Fósforo, **MSK:** Microorganismos Solubilizadores del Potasio, **MSS:** Microorganismos Solubilizadores del Azufre, , **MPH:** Microorganismos Productores de Hormonas de Crecimiento Vegetal, **MAB:** Microorganismo Agente de Biocontrol, **MBS:** Microorganismo Biorremediadores del Suelo y **MAE:** Microorganismo Agente de Enfermedades. **Autores:**1: Posada et al., (2021), 2: Leal-Almanza et al., (2018), 3: OrganikoLatam (2022), 4: Innovacione AgroFood Design, (2019a). 5: Restrepo-Correa et al., (2017), 6: Xiao et al., (2013), 7: Beltrán (2019), 8: Velázquez-Gurrola y Ramos-Alegría (2015), 9: Doussoulin y Moya (2011), 10: Moratto et al., (2005), 11: Franco-Correa (2009), 12: Morocho y Leiva-Mora (2019), 13: Benjumeda Muñoz, (2017, p. 27), 14: Monzón et al., (2009, p. 3 y 4), 15: Noguera-Solís y Huete-Pérez (2008), 16: Benavides y Hermida (2008), 17: Viteri et al., (2016), 18: Lynd et al., (2002), 19: Carrillo (2013), 20: Tangarife (2021), 21: Hernández et al., (2020), 22: Torres (2003), 23: Mejía et al., (2006).

5.4. Asociación de la macrofauna y microorganismos edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo

El suelo es el recurso natural no renovable más importante para la agricultura y se debe proteger, conservar, mejorar y restaurar. Es el sustrato para los vegetales y se caracteriza por ser muy dinámico, activo y complejo; en el que acontecen procesos que posibilitan la descomposición y mineralización de la materia orgánica, la biofertilización, la fitoestimulación y el biocontrol natural que favorecen el crecimiento, desarrollo y rendimientos de los vegetales, así como la biorremediación natural de este (Salazar, 2021a y 2021b). Es hábitat para la convivencia, coexistencia e interacción entre “una gran variedad de comunidades que colectivamente contribuyen con un amplio rango de servicios ecosistémicos esenciales” (Zavaleta y González, 2018). Estas comunidades bióticas (biodiversidad) se deben proteger, conservar, mejorar y fomentar (Salazar, 2021b).

En los acápites 5.2 y 5.3 se constató la relación directa de la macrofauna y microbiota edáfica con los servicios ecosistémicos de apoyo, regulación y culturales e indirectamente al de aprovisionamiento. En este acápite se analizan las correlaciones, asociaciones o similitudes de la abundancia de las familias de la macrofauna y de la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiota edáfica con propiedades físicas y químicas del suelo, en cada agroecosistema (Figuras 2, 3, 4 y 5), a través del análisis de componentes principales (AV).

5.4.1. Relación de la abundancia de la macrofauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo

En Nicaragua, Noguera-Talavera et al., (2017) y Chavarría et al., (2016) han aplicado el análisis de los componentes principales para la determinación de la asociación entre variables físicas y químicas edáficas con familias de la macrofauna del suelo. Duran et al., (2018) constataron que “los grupos de macrofauna son afectados por las propiedades del suelo, pero estos, a su vez, también pueden influir en estas propiedades” (p. 399), cuyas interacciones están determinadas de acuerdo con el uso de tierra y las propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes ecosistemas (Calderón y Medina et al., 2018). Según Royero (2019) la macrofauna edáfica presenta diferentes respuestas y sensibilidad a las propiedades del suelo.

La gestión que realiza cada agricultor en su agroecosistema (agroecológica o convencional) influye sobre el grado de asociación o relación entre la abundancia de cada familia de la macrofauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo (Figura 2 y 3). También, esta asociación o relación es proporcional a los roles ecológicos que ejerce cada familia de la macrofauna edáfica en su respectivo agroecosistema (Cuadro 10).

En el AE, el análisis de componentes principales explica el comportamiento de la variabilidad acumulada de los dos primeros componentes en un 72.2% (Figura 2) y asocia a las propiedades físicas y químicas del suelo con la abundancia de cada familia de la macrofauna edáfica en los siguientes grupos. Las propiedades edáficas infiltración (%), saturación de bases (SB%) y contenido de Sodio (Na) se correlacionan o asocian negativamente con las familias Gryllidae (7), Nymphalidae (2), Styloniscidae (6), Trigonochlamydidae (1) y Scarabaeidae (29).

De estas familias, Gryllidae (7), Nymphalidae (2), Styloniscidae (6) y Trigonochlamydidae (1) están más asociadas negativamente con la infiltración (%) y la saturación de bases (Ca, Mg, K, Na), la Scarabaeidae con el contenido de Na, de modo que, si estas propiedades edáficas se fomentan, estas afectan negativamente a la abundancia de estas familias. Las funciones más afectadas serían detritívora y fitófaga porque las familias más abundantes de este grupo (Styloniscidae y Scarabaeida) se comportan como detritívoros (15.4%); con la excepción de Styloniscidae (6), el resto de estas familias tienen representantes fitófagos (11.1%).

Las familias Arionidae (6), Cicadellidae (4), Lygaeidae (6) y Nabidae (4) se asocian positiva e inversamente proporcional con la porosidad, de modo que, si disminuye la porosidad, también, se reduce la abundancia de estas familias. En el cuadro 10 se registra, que la abundancia de cada familia que conforma este grupo es cuatro o seis del total cuantificado (253), que significa que la asociación de la abundancia de cada familia con la porosidad (%) representa el 1.6% ($4/253*100$) y un máximo de 2.4% ($6/253*100$) por familia. En este grupo, la primera y la última familia son depredadoras (10) y las dos restantes fitófagas (10), por lo que ambas funciones serían afectadas en igual magnitud (4%), si se reduce el porcentaje de poros de este suelo.

El pH, el porcentaje de materia orgánica (MO), los contenidos de Manganeseo (Mn), Nitrógeno (N) y de Calcio, (Ca); la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la profundidad (cm) se relacionan positiva y directamente proporcional con la presencia de las familias Pentatomidae (5) y Spirostreptidae (12), que expresa que en la medida que estas propiedades edáficas se fomenten, asimismo, la abundancia de estas dos familias tiende a aumentar. La primera familia es fitófaga y la segunda detritívora, cuyo fomento puede alcanzar un 1.98% y 4.73%, respectivamente.

Los contenidos de Magnesio (Mg) y Hierro (Fe) no se asocian o relacionan con ninguna presencia de familia de la macrofauna edáfica, por lo que no influyen ni positivamente o negativamente sobre estas comunidades de la macrofauna edáfica.

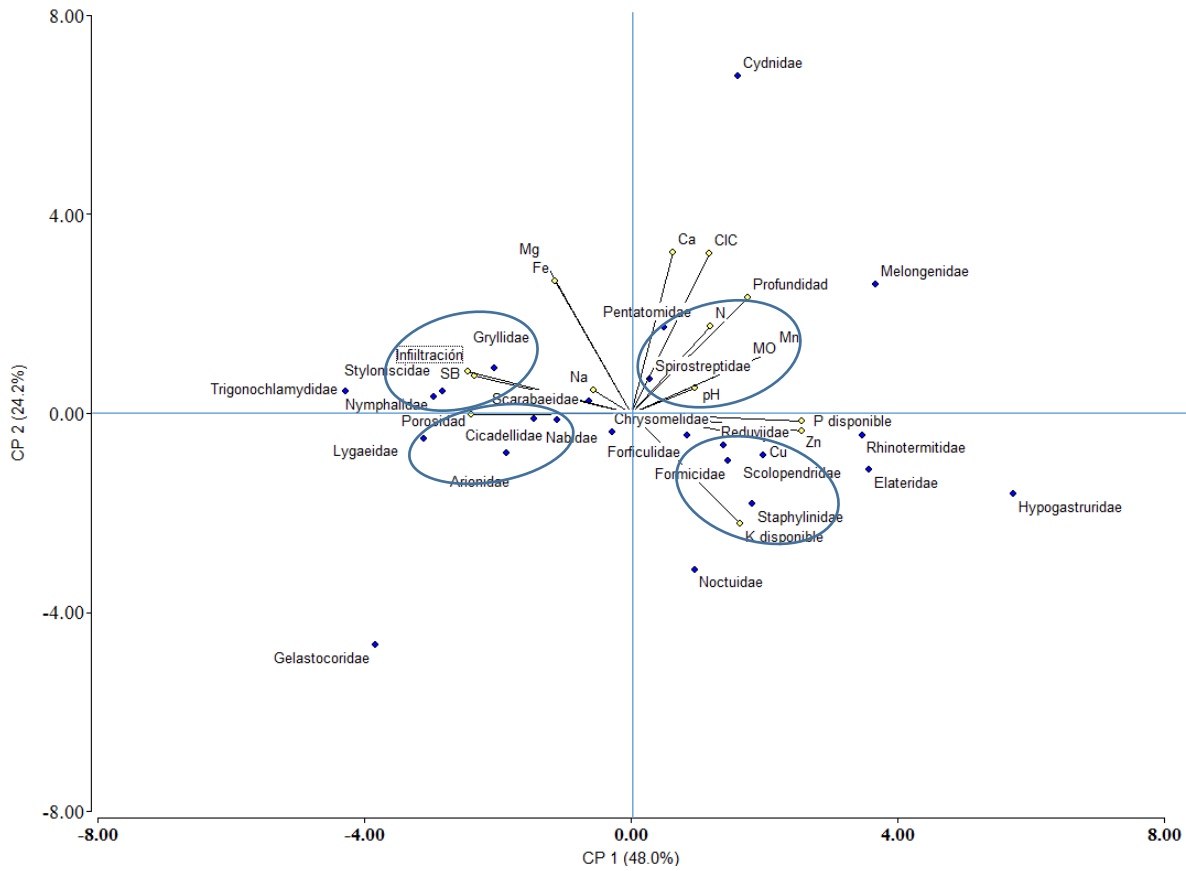


Figura 2 Asociación de la abundancia de las familias de macro fauna edáfica con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Espadilla (AE), San Ramón.

En este suelo, la disponibilidad de Fósforo y Potasio (P disponible y K disponible), y los contenidos Zinc (Zn) y Cobre (Cu) están relacionados negativamente con la abundancia de las familias Noctuidae (2), Formicidae (23), Forticulidae (5), Reduviidae (2), Rhinotermitidae (16), Elateridae (4), Scolopendridae (8) (Figura 2), de modo que un incremento de la abundancia de estas familias ejerce una presión sobre estos nutrientes, que puede causar una disminución de estos en el agroecosistema. Esta asociación negativa es más fuerte entre las familias Staphylinidae (10) y Noctuidae (2) con la disponibilidad de potasio (K-disponible). En orden de importancia, esta asociación favorece a las funciones de las familias depredadoras, ingenieros del suelo, fitófagas y detritívoras.

La abundancia de las familias Cydnidae (3), Gelastocoridae (1) y Melongenidae (3), Noctuidae (2) no se asocia con ninguna variable física o química del suelo, cuya abundancia no superan tres individuos (Cuadro 8).

En el AV, el análisis de componentes principales revela que el comportamiento de la variabilidad acumulada de los dos primeros componentes explica un 64.6% (Figura 3) y relaciona a las propiedades físicas y químicas de este suelo con la abundancia de las familias de la macrofauna edáfica en los siguientes grupos. La abundancia de las familias Gryllidae (4), Formicidae (17), Chrysomelidae (5) y Pompilidae (1) es afectada por un mejoramiento del contenido de Calcio (Ca), de Materia orgánica (MO), de Nitrógeno (N) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de este suelo. Este detrimento es más fuerte en las dos últimas familias. Las cuatro familias contribuyen a la abundancia total (163) con 27 individuos, que representa un 16.6%. El rol ecológico más afectado corresponde a ingenieros del suelo encarnado por la familia Formicidae (17) con 10.4%; Gryllidae (4) y Chrysomelidae (5) son fitófagos, cuya afectación puede ser del 5.5%. Este resultado indica que el grado de asociación entre estas propiedades edáficas con la abundancia de estas familias es negativa.

Reducciones del Fósforo y Potasio (P-disponible y K-disponible), del pH, del porcentaje de la saturación de bases (SB%) y de la porosidad (%) afectan negativamente a la abundancia de las familias Lumbricidae (41) y Arionidae (7), cuya afectación es más fuerte en la última familia. Los roles ecológicos que puede ser afectados por estas reducciones son ingenieros del suelo con 25.1% y el de depredador con 4.3%. Este grado de asociación es positivo e inversamente proporcional porque, en este caso, la disminución de la abundancia de estas familias implica una reducción de estos parámetros del suelo.

Una reducción del contenido de Sodio (Na) y Cobre (Cu) y de la profundidad de este suelo favorece a la abundancia de las familias, Spirostreptidae, (13), Styloniscidae (6) y Melongenidae (8). La última familia es polífaga y esta función es la que podría ser favorecida (4.9%), mientras que la función depredadora representa el (3.6%) y el detritívoro un (7.9%). Este tipo de asociación se categoriza como negativa.

El contenido de Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) en este suelo favorecen a las familias Forficulidae (3), Scolopendridae (17) Pentatomidae (3), principalmente a las dos primeras familias. Este resultado indica que el rol depredador de estas familias se

fomenta porque existe una relación positiva y directamente proporcional entre la abundancia de estas familias con estas propiedades de este suelo.

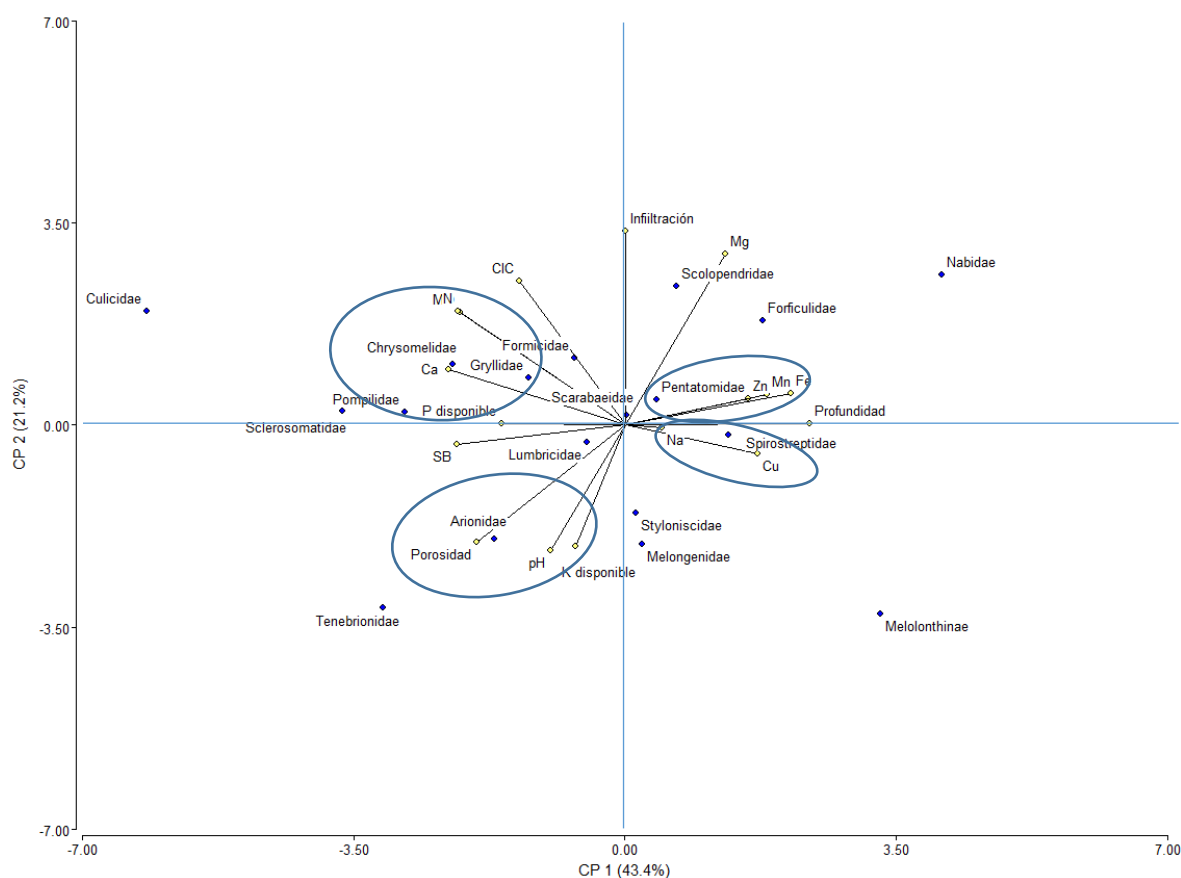


Figura 3 Asociación de la abundancia de las familias de macro fauna edáfica con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Vecina (AV), San Ramón.

5.4.2. Relación de la frecuencia de identificación de los géneros de microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo

“Diferentes usos del mismo suelo, pueden afectar diferencialmente a los microorganismos del suelo, modulando así los servicios ecosistémicos brindados por este grupo de organismos” (Di Ciocco et al., 2014, p.74), y “el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo se traduce en una mayor actividad biológica de los microorganismos” (Duilio et al., 2013, p. 54).

González-García et al., (2021) expresan que “la eficiencia de estos microorganismos, está afectada por propiedades físicas del suelo como la porosidad, dada su vinculación con la disponibilidad de oxígeno y humedad” (p. 144).

El análisis de componentes principales expresa que el enfoque de gestión del agroecosistema (agroecológica vs convencional) influye sobre las asociaciones o relaciones de la frecuencia de identificación de los microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo (Figura 4 y 5). Del mismo modo, esta asociación o relación es proporcional a los roles ecológicos que ejerce cada género de microorganismos edáficos, en su respectivo agroecosistema (Cuadro 11).

En el AE, este análisis puntualiza que el comportamiento de la variabilidad acumulada de los dos primeros componentes explica un 87.6% (Figura 4), y refleja que las asociaciones o relaciones entre las propiedades físicas y químicas de este suelo con la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiota edáfica son las siguientes. Una mejora del pH, del contenido de Nitrógeno (N) y del catión Sodio (Na) favorecen la presencia de *Penicillium* sp en este suelo. Este género represento el 9.8% ($22/225*100$) del total de las frecuencias de identificación, y es multifuncional (Cuadro 12: MDMO, MSP, MSK, MPH, MAB Y MBS). Esta forma de asociación se cataloga como positiva y directamente proporcional, que se traduciría en una mejora de estos servicios ecológicos por este género y de estas características de este suelo.

El contenido de Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), la capacidad de intercambio catiónico y la profundidad (cm) del suelo no se relacionan con la frecuencia de identificación de los 14 géneros de microorganismos edáficos de este agroecosistema.

Una mejora de la infiltración, saturación de bases y porosidad de este suelo limitan la posibilidad de encontrar a *Verticillium* sp, (5) *Sarcinas* sp (13) y *Trichoderma* sp (17) en este suelo. Este grado de asociación se categoriza como negativa porque el incremento de estos parámetros edáficos desfavorece la presencia de estos géneros. Los tres géneros de este grupo representan el 15.6% de la frecuencia total de identificación (225) y se constató que *Trichoderma* sp es multifuncional, por lo que su contribución como MDMO, MSF, MSK, MPH y MAB (Cuadro 11 y 12) se puede disminuir.

Una disminución del Potasio disponible (K disponible) reduce la posibilidad de encontrar, en este suelo, a *Pseudomonas* sp (41) y *Paecilomyces* sp (12), por lo que esta relación es positiva e inversamente proporcional, ya que ambas se afectan. Ambos géneros representan el 28% del

total de las frecuencias de identificación (Cuadro 11). La bacteria *Pseudomonas sp* es multifuncional y la más representativa de este grupo, porque su participa en los ciclos biogeoquímicos del C, N, P, K y S; y como MPH, MAB, MBS (Cuadro 12) se afectaría.

Un incremento de la presencia, principalmente, de *Streptomyces sp* (25) y *Fusarium sp* (15), y en menor grado de *Bacillus sp* (49) y *Pythium sp* (9), reduce los contenidos de Cobre (Cu), Zinc (Zn), fósforo disponible (P disponible), materia orgánica y de Manganeseo (Mn), que caracteriza a esta relación como negativa. En este agroecosistema, este grupo representa el 43.6% del total de las frecuencias de identificación (Cuadro 11), que lo acredita como el grupo más representativo. El grado de asociación de la bacteria *Bacillus sp* con estos parámetros edáficos es muy débil por lo que esta bacteria ejercería un menor efecto en detrimento de estos nutrimentos y la materia orgánica.

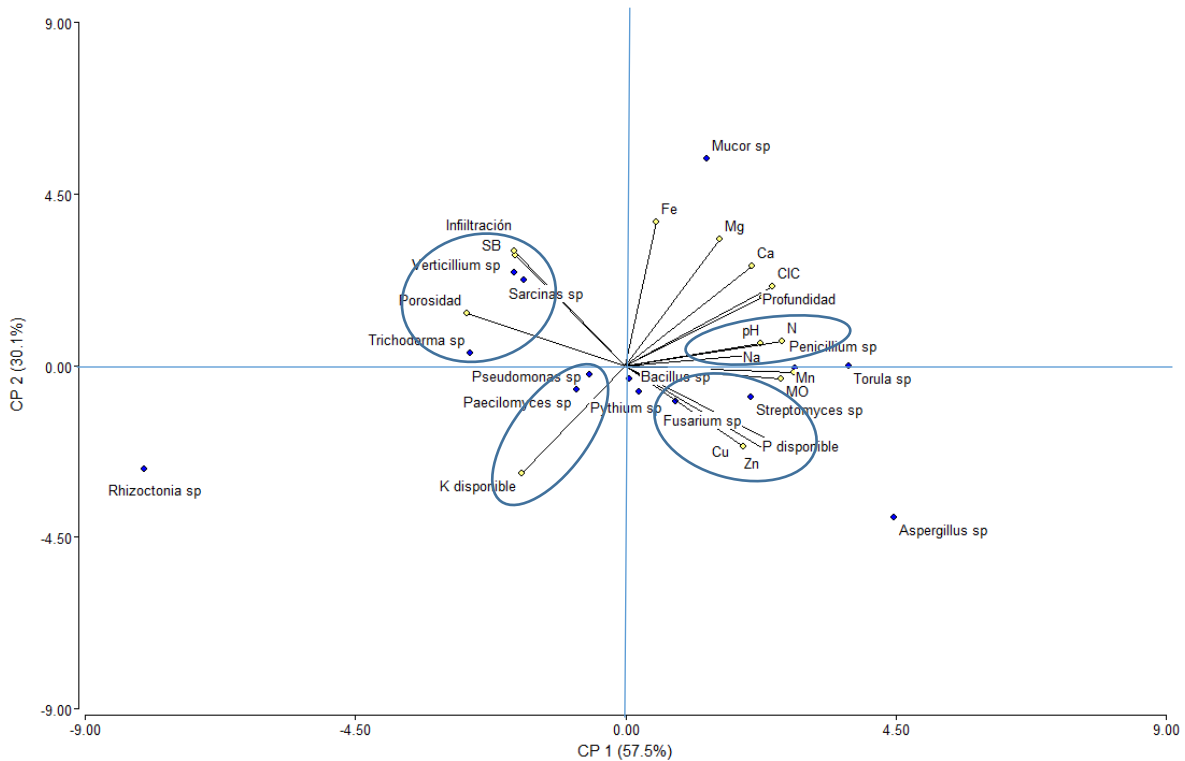


Figura 4 Asociación de la frecuencia de identificación de los microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Espadilla (AE), San Ramón.

En el AV, el análisis de componentes principales determina que, el comportamiento de la variabilidad acumulada de los dos primeros componentes explica un 80.6% (Figura 5), que muestra que las asociaciones o relaciones entre las propiedades físicas y químicas de este suelo con la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiota edáfica, son las siguientes. Existe una fuerte asociación positiva y directamente proporcional entre el contenido de Sodio (Na) en el suelo con *Penicillium sp* (19), que implica un efecto sinérgico positivo, dado que existe un beneficio mutuo.

La disponibilidad de Fósforo (P disponible), la capacidad de intercambio catiónico, los contenidos de Calcio (Ca), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Magnesio (Mg), el porcentaje de saturación de bases, la infiltración y profundidad del suelo no se asocian a la presencia de ninguno de los 15 géneros de microorganismos identificados, en este agroecosistema.

Un incremento en la disponibilidad de manganeso (Mn) y de Hierro (Fe) en este suelo puede afectar la presencia de *Paecilomyces* sp (7), que tipifica a esta relación como negativa, por lo que se puede asegurar que es una relación antagónica, que puede afectar los procesos en lo que participa este género fúngico (Cuadro 12).

Posibles reducciones del pH y la disponibilidad de Potasio (K disponible) afectan la presencia, principalmente de *Trichoderma* sp (17) y *Verticillium* sp (6), y en menor grado a *Bacillus* sp (48) y *Pseudomonas* sp (49), que representa una relación positiva e inversamente proporcional. En este agroecosistema, esta asociación es la más representativa y el grado de asociación de la bacteria *Bacillus* sp (48) es muy débil.

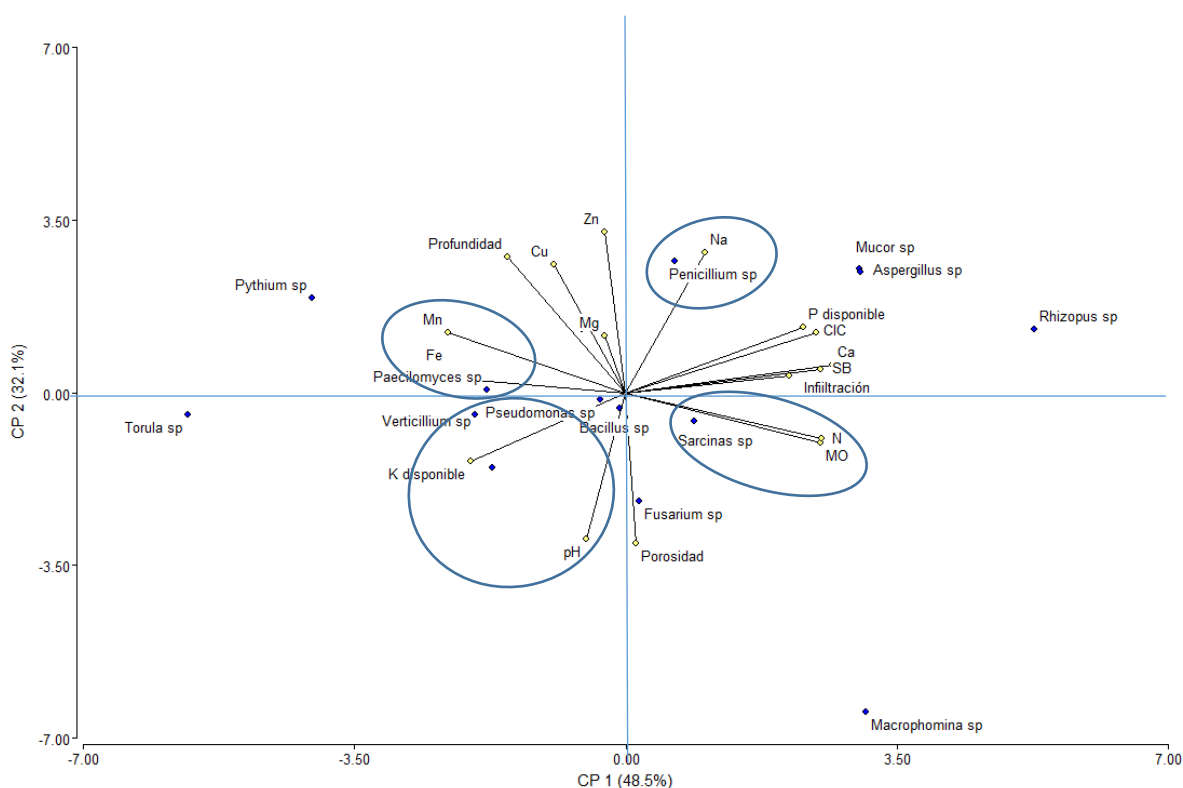


Figura 5 Asociación de la frecuencia de identificación de los microorganismos edáficos con propiedades físicas y químicas del suelo, en el agroecosistema La Vecina (AV), San Ramón.

Afectaciones a la porosidad, contenido de Nitrógeno (N) y de materia orgánica (MO) favorecen la presencia de *Sarcinas* sp (24) y *Fusarium* sp (5), cuyo grado de asociación es negativa y concierne a una relación antagónica.

Estos resultados permiten aseverar que las relaciones o asociaciones entre la abundancia de las familias de la macrofauna edáfica con parámetros o características físicas y químicas del suelo y las que acontecen entre la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiología edáfica con variables, parámetros o características físicas y químicas del suelo pueden ser antagónicas, si una afecta a la otra, sinérgica positiva, cuando ambos se benefician, sinérgica negativa, si ambos se perjudican o no existe asociación o relación entre estas.

VI. CONCLUSIONES

En el agroecosistema La Espadilla con enfoque agroecológico, con diseños y manejos de la biodiversidad complejos y común balance aparente de nutrientes negativo, que fomenta la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica. En este agroecosistema, las familias con mayor abundancia fueron: Lumbricidae, Scarabaeidae, Formicidae, Sclerosomatidae y Rhinotermitidae. Estas familias se adaptan, también, a la gestión convencional de los agroecosistemas por lo que son muy plásticas. Mientras, el agroecosistema La Vecina con enfoque convencional, con diseños y manejos de la biodiversidad poco complejos, con un balance aparente de nutrientes positivo, que contribuye a mayores unidades formadoras de colonias por gramo de suelo de los microorganismos edáficos, principalmente, las del actinomiceto *Streptomyces* sp, y las de las bacterias *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp y *Sarcinas* sp.

En ambos agroecosistemas los roles funcionales de las familias de la macrofauna y de los géneros de los microorganismos edáficos están más relacionado con los servicios ecosistémicos de apoyo o soporte, regulación y cultural. También, contribuyen indirectamente al servicio ecosistémico de aprovisionamiento puesto que la biomasa que se caracterice como rendimiento (Alimentos, fibras, madera, energía o leña) es el resultado de un buen crecimiento y desarrollo de los productores (Vegetales), en el que intervienen la biofertilización, la fitoestimulación natural de los vegetales y los agentes de control biológico natural de plagas y patógenos.

Las relaciones o asociaciones entre la abundancia de las familias de la macrofauna edáfica con parámetros o características físicas y químicas del suelo y las que acontecen entre la frecuencia de identificación de los géneros de la microbiología edáfica con variables, parámetros o características físicas y químicas del suelo pueden ser antagónicas, si una afecta a la otra, sinérgica positiva, cuando ambos se benefician, sinérgica negativa, si ambos se perjudican o no existe asociación o relación entre estas.

VII. RECOMENDACIONES

Promover entre los agricultores el aporte de la macrofauna y microorganismos edáfica, su contribución al desarrollo humanos con sus servicios ecosistémicos.

Realizar otra investigación para la determinación de la macrofauna y microorganismos en diferentes épocas y su relación entre las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abad, Y. (2017). *Caracterización, identificación y evaluación de microorganismos autóctonos biorremediadores de suelos contaminados por agroquímicos en la provincia de Loja*. Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador.
- Aguado-Santacruz, G.A.; Morenos-Gómez, B.; Jiménez-Francisco, B.; García-Moya, E. y Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *Revista Fitotecnia Mexicana*. (Vol. 35, Núm 1). México. P. 9 – 21
- Alcantara Cortes J.S.; Acero Godoy, J.; Alcántara Cortés, J.D. y, Sánchez Mora, R.M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, (17) 32: 109-129. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Altieri M. y Nicholls C. (2007) Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación: *Ecosistemas*, 16(1). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/133>
- Altieri M.; Hecht S.; Liebman M.; Magdoff F.; Norgaard R. y Sikor T. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Capítulo 3, El Agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. p.49.
- Altieri M.; Hect S.; Liebman M.; Magdoff F.; Norgaard R. y Sikor T. (2000). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. 16 - 315
- Altieri M.y Nicholls C. I. (2000). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Boulevard de los Virreyes 155, Colonia Lomas de Virreyes. 11000, México D.F., México. P. 4- 250. <http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2%5B1%5D.pdf>
- Alvares L., C; Osorio V., W; Diez G., M. y Marín M., M. (2014). Caracterización bioquímica de microorganismos rizosféricos de plantas de vainilla con potencial como biofertilizantes. *Agronomía Mesoamérica*. (Vol 25, Núm 2). Costa Rica. PP 225-241.
- Álvarez, S.; Coto, O.; Echemende, M. y Ávila, G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno?. *Revista de protección vegetal*. (Vol.30 Núm 3) La Habana sep.-dic. 2015. Habana. Cuba. (p. 225-234).
- Álvarez-García, J.A.; Santoyo, G. y Rocha-Granados, M del C. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 1(6) 1:1-10.
- Amigot, S.L. (2009). *Control biológico de hongos toxicogénicos resistentes en forrajes conservados empleando cepas de Streptomyces*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Litoral], p: 170.

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/249/tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB International. Reino Unido. p. 221
- Andrews, KL; Caballero, R; Matute, D. (1989). Guía para el estudio de órdenes y familias de insectos de Centroamérica. Cuarta edición. *Escuela Agrícola Panamericana*. El Zamorano, Honduras. 1-179p. Recuperado de: <http://www.amupnor.com/sites/default/files/sites/default/files/doc/Diagnostico%20San%20Ramon.pdf>.
- Antagonistic and plant growth-promoting effects of bacteria isolated from mine tailings at El Fraile, Mexico, (2020). Angelina Herrera-Quiterioa, Erubiel Toledo-Hernándezb, Jose Luis Aguirre-Noyolaa, Yanet Romeroa, Jorge Ramosc, Francisco Palemón-Albertod, Jeiry Toribio-Jiménez. *Revista Argentina de microbiología*. (Vol. 52. Núm 3). páginas 231-239
- AOAC (1995) Official methods of analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists, (1995). *Official methods of analysis of AOAC International*. (16th ed). AOAC International, Arlington, VA.
- APHA (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC.
- APHA (American Public Health Association). (1923). *Standard methods of water analysis, 5 thed. American Public Health Association*. Washington, D.C.
- Arana, I; Orruño, M y Barcina, I. (s.f). Como abordar y resolver aspectos prácticos de microbiología. 2. *Eumeración de microorganismos*. https://ocw.ehu.es/file.php/48/Tema_2._Metodos_basicos_de_enumeracion_de_microorganismos.pdf
- Asociación de Municipios Productivos del Norte AMUPNOR. (2010). *Diagnóstico San Ramón Matagalpa*. P. 170
- Ayala M, J. E. y Monterroso, L. E. (1998). *Aspectos básicos sobre la biología de la gallina ciega*. El salvador. Guatemala.
- Baloriani, G. I.; Marasa, M.; Benamú, M. A.; y Sarandón S. J. (2010). *Estudio de la macrofauna edáfica (orden araneae). Su riqueza y abundancia en invernáculos sujetos a un manejo convencional y en transición agroecológica*. Partido de La Plata, Argentina. P. 40

- Banerjee S, Palit R, Sengupta C, Standing, D. (2010). Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter sp.* and *Bacillus sp.* Isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of crop science* (4) 6::378-383. http://www.cropj.com/banerjee_4_6_2010_378_383.pdf
- Barrera Zubieta, J. J. y Echenique Leal, D. K. (2019). *Efecto de crecimiento de hongos antagonistas (Trichoderma sp y Gliocladium sp) frente a hongos entomopatógenos (Metarhizium sp, Paecilomyces sp y Beauveria sp) en medio nutritivo de PDA.* Universidad de Los Llanos. P. 70
- Bautista-Calles, J., García-Espinosa, R., Pérez-Moreno, J., Zavaleta-Mejía, E., Montes-Belmont, R., & Ferrera-Cerrato, R. (2008). Inducción de supresividad a fitopatógenos del suelo. Un enfoque holístico al control biológico. *Interciencia*, 33(2), 96-102. Recuperado en 24 de junio de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000200005&lng=es&tlng=es.
- Beltrán Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* (15)1: 101-113. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v15n1/v15n1a09.pdf>
- Beltrán Pineda, M.E., Rocha Gil, Z.E., Bernal Figueroa, A.A. & Pita Morales, L.A. (2017). *Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá.* *Colombia Forestal*, 20(2), 158-170
- Benavides, G. D y Hermida, A. M. (2008). *Aislamiento e identificación de flora bacteriana nativa del suelo de los Páramos Cruz Verde y Guasca (Cundinamaeca).* [Tesis Pontífice Universidad Javeriana]: 118. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8610>
- Benjumeda Muñoz, D. (2017). *Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal: Mecanismos y Aplicaciones.* 40.[Sevilla, España: Trabajo de fin de grado en farmacia, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%c3%91OZ%2c%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986) Bulk density. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
- Blanco, F.A. y Salas, E.A. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizadas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* (21) 1: 55-67. [v21n01_055.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_055.pdf) (mag.go.cr). https://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_055.pdf
- Bobadilla, C. y Rincón, S.C. (2008). *Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza.* [Tesis de la Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8433/tesis130.pdf?sequence=1>
- Brechelt A. (2004). Manejo Ecológico de Plagas y Enfermedades. *Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina.* República Dominicana. P.36

- Brown, G.; Fragoso C.; Barois. I.; Rojas P.; Patrón J. C.; Bueno J.; Moreno A. G.; Lavelle P.; Ordaz V. y Rodríguez C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. (Vol 1). P. 79-110.
- Buitrago, S. M.; Sánchez, E. M.; Guerrero, H. J. (2014). Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celulolíticos y lignolíticos a partir del suelo de humedales de Bogotá. *Revista SENNOVA*, (1)1: 148-155.
- Cabezas Melara, F.A. (1996). *Introducción a la entomología*. Trillas, S.A. México.
- Cabrera Dávila G.; Socarrás A. A.; Gutiérrez Cubría E.; Tcherva T.; Martínez Muñoz C. y Lozada Piña A. (2017). Fauna del suelo. Pp. 254-283. En: *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Editorial AMA, La Habana, 502 pp.
- Cabrera Dávila, G.C. (2019). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba*. Universidad de Alicante. España.
- 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), 346-363. Recuperado en 23 de marzo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000400001&lng=es&tlng=es.
- Cabrera, G.; Robaina, N. y Ponce de León, D. (2011). *Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes*, (Vol. 34, Núm 3), julio-septiembre, p 331-346.
- Calderón-Medina, C.L; Bautista-Mantilla, G.P. y Rojas-González (2018). *Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta*. ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta, Colombia (22) 2: 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Cano, M.A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma sp.* y *Pseudomonas sp.* *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales*. P. 31. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a03.pdf>
- Cardona. C, D. A; Sadeghian, KH., S. (2005). *Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y en plena exposición solar*. *Cenicafé*. 56 (4): PP 348 – 364
- Carrillo, L. (2003). *Los Hongos de los alimentos y forrajes*.
- Carrillo, L. (2013). *Manual de Microbiología Agrícola*. Universidad Nacional de Jujuy. Editorial Universitaria de Jujuy. Facultad de Ciencias Agrarias. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>

- Castellanos Rozo, J. y Rache Cardenal, Y. (2013). Microorganismos, enzimas, plásmidos y genes involucrados en la degradación de plaguicidas N-Metilcarbamatos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* (29): 105-119. (PDF) Microorganismos, Enzimas, Plásmidos y Genes Involucrados en La Degradación De Plaguicidas N-Metilcarbamatos | Jose Castellanos Rozo - Academia.edu
- Castillo Rogel, R.T.; More Calero, F.J; Cornejo La Torre, M.; Fernández Ponce, J.N. y Mialhe Matonnier, E.L. (2020). *Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui* (Amazonas – Perú). <https://doi.org/10.18271/ria.2020.656>
- Castillo, H; Rojas, R; Villalta, M. (2016). Gliocladium sp., agente biocontrolador con aplicaciones prometedoras. *Tecnología en Marcha. Edición Especial Biocontrol*. P: 65-73. *0379-3982-tem-29-s3-65.pdf (scielo.sa.cr)
- Castro-Toro, A. y Rivillas-Osorio, C. (2005). Biorregulación de *Rhizoctonia solani* en plantas ornamentales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* (Núm. 3) 1 de noviembre - 31 de diciembre, 2011. México. (p. 431- 443).
- Celaya-Michel, H y Castellanos-Villeg, A. E. (2001). Mineralización del nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* (29): 343-356.
- Cerón R., L. E. y Aristizábal G., F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana Biotecnología*, (Vol. XIV). 285-295. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
- Cisneros-Rojas, C.A.; Sánchez de Prager. M. y Menjivar-Flores, J.C. (2016). *Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café*. *Bioagro* (28) 2:95-106. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637011.pdf>
- Condori-Pacsi, S; Fernández-Guzmán, P y Valderrama-Valencia, M. (2019). *Aislamiento y caracterización de Streptomyces spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal*. (Vol 37, Núm 2). Chile. PP 109-116.
- Coronado, R & Márquez, A. (1991). *Introducción a la entomología. Morfología y taxonomía de los insectos*. Limusa, México.
- Corrales R., L; Caycedo L., L; Gómez M., M; Ramos R., S y Rodríguez T., J. (2017). *Bacillus spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos*. *Nova*. (Vol 15, Núm 27): PP 45-65.
- Corrales Ramírez, L.C.; Sánchez Leal, L.C. y Quimbayo Salamanca, M.E. (2018). *Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá*. *NOVA*, (16) 29:71-89. *1794-2470-nova-16-29-00071.pdf (scielo.org.co)
- Corrales, L.; Lozano, L.; Gómez, M.; Ramos, S. y Rodríguez, J. (2017). *Bacillus spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos*. (p 45-65).

- Corral-Lugo, A.; Morales-García, Y.E.; Pazos-Roja, L.A.; Ramírez-Valverde, A.; Martínez-Contreras, R.D. y Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de “Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo”. *Rev. Colomb. Biotecnol.* (14)2: 147-156. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n2/v14n2a16.pdf>
- Coto A, D. (1998). *Estados inmaduros de insectos de los órdenes coleóptera, díptera y lepidóptera. Manual de reconocimiento.* Turrialba. Costa Rica.
- De Groot, R.S.; Wilson, M.A. y Boumans, R.M.J. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics*, 41: 393-408.
- De la Fe Pérez, Y.; Díaz de la Osa, A; Restrepo-Francob, G.M.; Diván-Baldan, V.L. y Hernández-Rodríguez, A. (2015). Diversidad de bacterias diazotróficas asociativas potencialmente eficientes en cultivos de importancia económica. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* (4) 1:17-26.
- De la Peña, E. (2009). Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas* (18) 2: 64-78. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/67>
- Di Ciocco, A.C.; Sandler, R.V.; Falco, L.B y Coviella, C.E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, (48) 1: 73-85.
- Díaz Torres, K. R. (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua. [Maestría thesis, Universidad Nacional Agraria]: 115. <https://repositorio.una.edu.ni/3870/1/tnf08d542e.pdf>
- Díaz-Celaya, M.; Rdríguez-Alvarado, G.; Silva-Rojas, H.; Pedraza-Santos, M.; Salgado-Garciglia, R y Fernández-Pavía, S. (2011). *Identificación de especies de Pythium aisladas.*
- Domínguez, J., Parmelee, R.W., Edwards, C.A. (2003). *Interactions between Eisenia andrei and nematode populations during vermicomposting. Pedobiologia* 47:53-60.
- Dominguez, J.; Aira, M.; Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente.* Vigo, ES. P: 20-31.
- Doussoulin Jara, H.A. y Moya Elizondo, E.A. (2011). Suelos supresivos a enfermedades radicales: “declinación del mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) en trigo”, un estudio de caso. *Agro Sur* (39) 2: 67-78. (PDF) SUELOS SUPRESIVOS A ENFERMEDADES RADICALES: "DECLINACIÓN DEL MAL DE PIE (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) EN TRIGO", UN ESTUDIO DE CASO (researchgate.net)

- Duilio Torres, M.J.; Mendoza, B.; Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* (25) 1: 47-56.
- Durán Bautista, E.H.; Rodríguez Suárez, L. y Suárez Salazar, J.C. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia. *Acta Agron.* (67) 3: 395-401.
- Eon Ttacca, B.; Arevalo-Gardini, E. y Bouchon, A. S. (2019). Muerte repentina de *Theobroma cacao* L. causado por *Verticillium dahliae* Kleb. en el Perú y su biocontrol in vitro. *Ciencia. Tecnología. Agropecuaria.* 2019, (Vol. 20, Núm1).117-148.
- Escobar M., A. C.; Bartolomé F., J. y González V., N. A. (2017). Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano.* (Año 6. Núm 22). p. 39-49.
- Evaluación de los ecosistemas del Milenio (MAE). (2005). *Naciones Unidas. Estamos gastando más de lo que podemos: capital natural y bienestar animal.* Declaración de Consejo. PP. 5 - 23
- Ezziyyani, M.; Sid Ahmed, A.; Sánchez, P. y Requena, M. E. (2006). Control biológico por microorganismos antagonistas. *Horticultura Sanidad Vegetal*, (8). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36754-0>.
- Farrelly, M. (2017). *La contribución de la agroecología a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.* *Revista de agroecología.* (Vol. Especial).
- Fernández L. A. (2011). *Identificación molecular de grupos anastomóticos de Rhizoctonia solani asociados a la costra negra y cancro del tallo en el cultivo de papa en Sinaloa.* [Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional]. 7-45.
- Fernandez V. I. y Marasas M. E. (2015). *Análisis comparativo del componente vegetal de la biodiversidad en sistemas de producción hortícola familiar del Cordón Hortícola de La Plata (CHLP), Provincia de Buenos Aires, Argentina.* Su importancia para la transición agroecológica. *Rev. Fac. Agron.* (Vol 114, Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 15-29
- Fernández-Pascual, M.; Nuria de M. y De Felipe, M. R. (2002). *Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes.* *Ciencia y Medio Ambiente - CCMA-CSIC:* 195-202.
- Ferrando, M. (2012). *Curso de fertilización de suelos.* <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/curso/docs/Fosforo.pdf>
- Ferrera Cerrato, R.; Alarcón, A. (2001). *La microbiología del suelo en la agricultura sostenible.* *Ciencia Ergo Sum*, (Vol. 8) Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, MX. PP 175 – 179

- Fichet, L.T. (2017). *Biosíntesis de las Fitohormonas y Modo de Acción de los Reguladores de Crecimiento. Serie Nutrición Vegetal* (Núm. 92). Artículos Técnicos de INTAGRI ((Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). México. 6 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/biosintesis-de-las-fitohormonas-y-reguladores-de-crecimiento>
- Flores, E.; Romero-Ortiz, C.; López, D. (2015). *Los artrópodos de la reserva natural río Ñambí. Serie de Guías de Campo del Instituto de Ciencias Naturales* (Núm. 15). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogota, CL. 320 P.
- Franco-Correa, M. (2009). *Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. Rev. Perú. biol.* (16) 2: 239 - 242. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v16n2/a19v16n2.pdf>
- Frioni, L. (2006). *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay, p. 464.
- Fundación Internacional para el Desafío Económico Global FIDEG. (2012). *Caracterización de 15 municipios pobres de Nicaragua*. p. 30.
- Funes Mozonte F. R. (2007). *Integración agroecológica y soberanía energética. Agroecología*. 12. p. 57-66.
- García Centeno, L.J.; Suárez González, G.F.; Gámez García, N.E.; Mejía Ocampo, A.S.; Urbina Ruíz, D.I.; López Montenegro, G. y Medina Acuña, R.I. (2017). *Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo*. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017a). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- García, L. (2015). *Manual: Metodologías de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo*. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria.
- García, L. J; Hogdson, M. M; Matínez, V. P y Rocha, J. D. (2017). *Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo*. En: Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. 2017a. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua. Grupo SEVEN, Nicaragua, PP: 25 -31
- Gavilánez, T. (2013). *Determinación de la biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para uso potencial en biorremediación*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato. Ecuador. (p. 9-20).
- Gaviria-Giraldo J., Restrepo-Franco GM., Galeano-Vanegas NF., Hernández-Rodríguez A. (2018). *Bacterias diazotróficas con actividad promotora del crecimiento vegetal en Daucus carota L.*

- Gliessman S. R. (2002). *Agroecología: Proceso ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE. Turriabla – Costa Rica. P. 3- 323.
- Gómez Romero, S.E.; Gutiérrez Bustos, D.C.; Hernández Marín, A.M.; Hernández Rodríguez, C.Z.; Losada Casallas. M. y Mantilla Vargas, P.C. (2008). *Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por Pseudomonas en suelos contaminados por hidrocarburos*. *NOVA_Publicaciones Científicas en Ciencias Médicas*, (16) 9: 76-84.
- Gómez-Guiñán, Y. (2004). *Actividad de las fosfatasa ácidas y alcalinas (extracelulares e intracelulares) en hongos de la rizosfera de Arachis hypogaea (Papilionaceae)*. *Revista de Biología Tropical*, 52(1), 287-295. Retrieved June 21, 2022, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000100035&lng=en&tlng=es
- González, H. y Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Rev. Ciencia. Agr.* 34(1): 17-31. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173401.60>.
- Gutiérrez Y. (2012). *Compendio de guías*. Universidad Nacional Agraria: módulo práctico. Managua. Nicaragua. 1 ed. P. 61
- Gutiérrez, M. (1990). *Caracterización climática de Managua*. (En línea). Nicaragua (NI). Consultado 24 dic. 2012. Disponible en: <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/estudios/caracterizacion%20climatic a%20de%20managua.htm>
- Hernández Ángel, M.L.; Lopez, E.P.; Jaramillo Granda, M.C. y Posada Usuga, A.P. (2020). Identificación de microorganismos biorremediadores de suelos agrícolas del norte de Antioquia para degradación del clorpirifos. *Revista Politécnica* (32): 96-110. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n32a9>
- Hernández-Ruiz, G.M.; Álvarez-Orozco, N.A. y Ríos-Osorio, L.A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia)*, (18)1:139-159. DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:564
- Hidrin, N.; Goodfellow, M.; Boiron, P.; Moreno, M. y Serrano, J. A. (2001). Los estreptomices. Actualización y revisión didáctica. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, (Vol.21. Núm1) Caracas. Venezuela
- Ibarra, J. A. (2016). *Caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo nativas de los suelos de Sinaloa con potencial para incrementar el crecimiento y mejorar la nutrición fosforada del maíz (Zea mays L.)*. [Tesis de maestría, Instituto Politecnico Nacional, Sinaloa, México]. P. 98.

- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (2012). *Características del clima en Nicaragua. Dirección general de meteorología.* (En línea) Consultado 20 abr 2015. Disponible en: <http://servmet.ineter.gob.ni/Meteorologia/PDF/caracteristicasdelclimaenNic.pdf>
- INIDE-MAGFOR. (2013). *IV CENAGRO 2011.* Departamento de Boaco, Nicaragua INIDE.
- Innovatione AgroFood Design, (2019a). *Microorganismos y nutrientes. Microorganismos que transforman fósforo.* <https://innovatione.eu/2019/11/26/microorganismos-del-suelo-2/>
- Innovatione AgroFood Design, (2019b). *Microorganismos y nutrientes. Microorganismos que movilizan el potasio.* <https://innovatione.eu/2019/11/26/microorganismos-del-suelo-2/>
- Innovatione AgroFood Design, (2019c). *Microorganismos y nutrientes. Microorganismos que transforman el azufre.* <https://innovatione.eu/2019/11/26/microorganismos-del-suelo-2/>
- Jiménez J., J., J.; Decaëns, T; Thomas, R. J.; Lavelle, P. (2003). *La macrofauna del suelo: Un recurso natural aprovechable pero poco conocido.* In: Jiménez Jaén, Juan José; Thomas, Richard J. (eds.). *El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 1-17. (Publicación CIAT no. 336)
- Jiménez, E. (2009). *Entomología, Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.* Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/2458/1/nh10j61e.pdf>.
- Jiménez, Martínez, E. (2009). *Manejo integrado de plagas.* Universidad Nacional Agraria. UNA. Managua, Nicaragua. 120 p.
- Leal-Almanza, J.; Gutiérrez-Coronado, M. A.; Castro-Espinoza, L.; Lares-Villa, F.; Cortes-Jiménez, J.M. y Villalobos, S de S. (2018). *Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (Solanum tuberosum L.) bajo casa de sombra.* *Agrociencia* (52): 1149-1159. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n8/1405-3195-agro-52-08-1149-en.pdf>
- Leslie, J.F. and Summerell, B.A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual.* Blackwell Publishing, Hoboken, 1-2.
- Leyva Mir, S. G.; Velázquez Martínez, G. C.; Tlapal Bolaños, B.; Tovar Pedraza, J. M.; Rosas Saito, G. H. y Alvarado Gómez, O. (2015). *Caracterización morfológica y molecular de aislados de Macrophomina phaseolina asociados a caña de azúcar en México.* *Revista Argentina de Microbiología.* (Núm 47. P. 143 - 147).
- Leyva, S.; Velázquez, G.; Tlapal, B; Tovar, J.; Rosas, G. y Alvarado, O. (2015). *Caracterización morfológica y molecular de aislados de Macrophomina phaseolina asociados a caña de azúcar en México.* *Revista Argentina de Microbiología.* Argentina. (p 143 -147)
- Linares, D. (2009). *Macro fauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco, Perú.* 78 p.

- López R., C.; Zuluaga M., A; Herrera P., S; Ruiz C., A y Medina de Pérez, V. (2006). Producción de ácido cítrico con *Aspergillus niger* NRRL 2270 a partir de suero de leche. *Dyna*, (Vol 73. Núm 150). Medellín, Colombia. pp. 39-57.
- López R.; Lemus J. A. (2019). *Multiplificación de Streptomyces sp. con propósitos de biocompostaje de subproductos de caña de azúcar*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10901/17604>.
- López, D.; Galante, M.; Ruggieri, G.; Lombardi, J.; Boeris, V. y Spelzini, D. (2018). *Producción de proteasas fúngicas para la hidrólisis de proteínas vegetales*. *Revista Energeia*, (Vol 15. Núm 15). 22-28
- Loredo, O; López, L y Espinoza, V. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: *Una revisión Terra Latinoamericana*. (vol. 22, núm. 2), abril-junio, 2004, pp. 225-239 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Lynd LR, Weimer PJ, van Zyl WH, Pretorius IS (2002). *Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology*. *Microbiol Mol Biol Rev.*, (66) 3:506-77, table of contents. doi: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002. Erratum in: *Microbiol Mol Biol Rev* 2002 Dec; 66(4):739. PMID: 12209002; PMCID: PMC120791
- Madigan, M.; Martinko, J.; Parker, J. (1999). *Brock: Biología de los microorganismos*. (Octava edición). Prentice Hall Iberia. Madrid, ES. P. 1064.
- Marasas M. (2012). *El camino de la transición agroecológica*. (1a ed). – Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA, 2012. 90 p.
- Marrero, M.; Agaras, B.; Wall, L. y Valverde, C. (2015). Enriquecimiento diferencial de *Pseudomonas* spp. en el rizoplano de distintas especies cultivadas. *Revista Argentina de Microbiología*. (Vol 47) 132-137.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola* (4)1: 1-20. Microsoft Word - Udo Agricola Vol 4 2004.doc (unne.edu.ar)
- McGavin G.C. (2000). *Manual de identificación. Insectos. Arañas y otros Artrópodos terrestres*. Barcelona. Universidad de Cambridge. Ed. Omega, S.A.
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirement. In: Buxton, D.R., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 2*, American Society of Agronomy Inc. and SSSA Inc., Madison, 199-224.
- Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, (1) 1: 77-99.
- Mendoza Hernández, F; Gómez Sousa, J. (2006). *Entomología General. Pueblo y educación*.
- Mengel, K y Kirkby, E.A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. International Potash Institute Basel, Switzerland.

- Mier M; Giménez-Cacho, T; Giraldo, O; Aldasoro, M; Morales, H; Ferguson, B; Rosset, P; Khadse, A; y Campos, C. (2019). *Escalamiento de la agroecología: impulsores clave y casos emblemáticos. Cuaderno de trabajo No. 1* Grupo en masificación de la agroecología. pp. 2-32.
- Millenium Ecosystem Aseessment – MEA -. (2003). *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Island Press. Washington. D.C
- Momo, F., R; Falco, L.,B. y Craig, E., B. (2003). Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (8). PP 55 – 63.
- Mondino, P.; Vero S. (2006). *Control biológico de patógenos en plantas*. Udelar.CSEP. Montevideo, Uruguay. En línea: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20224/1/FAGRO_MondinoP_2006_ControlBiol%c3%b3gico.PDF
- Montaño Arias, N. M.; Sandoval Pérez, A. L.; Camargo Ricalde, S. L.; Sánchez Yáñez, J. M. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes Elementos: *Ciencia y cultura*, Vol. 17, Núm. 77, febrero-abril, 2010. México pp. 15-23.
- Monzón, A., Herrera, I., & Méndez, E. (2009). *Uso y manejo de bioplaguicidas a base de Paecilomyces lilacinus para el control de nemátodos fitoparásitos*. Managua, Nicaragua: FUNICA.
- Moratto, C; Martínez, L. J.; Valencia, H. y Sánchez, J. (2005). Efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias diazotróficas en el páramo de Guerrero (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana* (23) 2: 299-309. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a15.pdf>
- Moreira, F; Huising J. y Bignell D. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, 337 pp.
- Morocho, M. T. y Leiva-Mora, M. (2019). *Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas*. *Centro Agrícola* (46) 2: 93-103.
- Motta Escobar, S., Salazar Cabezas, L. D., y Sánchez Leal, L. C. (2022). *Perspectiva del uso de Pseudomonas spp. como biocontrol de fitopatógenos en cultivos de hortalizas en Colombia: una revisión sistemática*. *Mutis*, (12)2: <https://doi.org/10.21789/22561498.1862>
- Nicholls C. I.; Altieri M. (2006). Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas. *Foro. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. Núm 77. 8-16.
- Noguera-Solis, C. y Huete-Pérez J. (2008). Potencial de biodegradación de DDT y sus metabolitos en suelos agrícolas de Chinandega. *Revista Encuentro XL*. (Núm 81) 48-69 Nicaragua. <https://doi.org/10.5377/encuentro.v0i81.3627>

- Noguera-Talavera, A.; Reyes-Sánchez, N. y Mendieta-Araica, B. (2017). Diversidad y distribución de la macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *Moringa oleifera* (Lam.): relación con las propiedades del suelo. *La Calera* (17) 29: 78-86. <https://doi.org/10.5377/calera.v17i29.6528>
- Olsen, S.R. (1954). *Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate*.
- Orberá Ratón, T.; Pérez Portuondo, I.; Ferrer Salas, D.; Cortés Ramos, N.; González Giro, Z. (2005). *Aislamiento de cepas del género bacillus sp. con potencialidades para la bioprotección y la estimulación del crecimiento vegetal*. *Revista Cubana de Química*, vol. XVII, núm. 1, pp. 189-195.
- Orduz Tovar, S.A.; Machado Cuéllar, L. y Rodríguez Suárez, L. (2020). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova Colombia*, (6): 27-38. DOI:10.23850/25004476.3681
- Orduz, S. A; Machado, L y Rodríguez, L. (2021). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, (6): 27-38. DOI - 10.23850/25004476.3681
- Organico Latam (2022). *Microorganismos solubilizadores de nutrientes*. <https://organikolatam.com/2022/04/07/microorganismos-solubilizadores-de-nutrientes/>
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43–71). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3
- Otiniano, M.; Tuesta, L.; Robles, H.; Luján, M. y Chavez, M. (2007). Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium* cepa. *Revista Médica*. Universidad César Vallejos. Trujillo. Perú.
- Paleologos M.F y Flores C. (2014). *Principios para el manejo ecológico de plagas. Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables Argentina*. La Plata. P. 260 – 285.
- Pedraza, L.A.; López C.A. y Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus spp.* (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta biol. Colomb*, 25(1):112-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Pedraza, R.; Fernández A.; García de Salamone, I.; Baca, B.; Baldani, V.; Bonilla, R. y Azcón, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11. PP. 155-164.
- Posada Castaño, A. M.; Mejía Durango, D. P.; Polanco-Echeverry, D. y Cardona Arias, J. A. (2021). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): una revisión sistémica 1990-2019.

Revista de Investigación Agraria y Ambiental, (12) 2: 161-175.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/130/1302302012/1302302012.pdf>

- Puente, M. L.; García, J. E; Rubio, E. Y Peticari, A. (2010). *Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo*. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. (Núm 116). (p. 39).
- Puerto Rodríguez, A; Suárez, S; Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). *Scielo. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. (Vol.52. Núm 3) Ciudad de la Habana. CU. P. 378.
- Quétier, F.; Tapella, E.; Conti, G.; Cáceres, D. y Díaz, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica* p. 19.
- Ramírez Gómez, M y Rodríguez, A. (2012). Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (Vol XIV.) 271 – 284 p.
- Ray P.; Lakshmanan V.; Labbé J. L. y Craven K. D. (2020). *Microbe to Microbiome: A Paradigm Shift in the Application of Microorganisms for Sustainable Agriculture*. *Frontiers in Microbiology*. (Vol 11.) PP. 3323. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2020.622926>
- Restrepo J.; Angel D. I. y Prager M. (2000). *Agroecología*. Universidad Nacional de Colombia y Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola (FIDAR). Santo Domingo, República Dominicana. 4-114.
- Restrepo-Correa, S.P.; Pineda-Meneses, E.C. Ríos-Osorio, L. A. (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia)*, (18) 2: 335-351. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n2/0122-8706-ccta-18-02-00335.pdf>
- Rodríguez González, H.R. y Salazar Centeno, D.J. (2021). Agroecological heuristics: Xi (Ξ) biomathematical models of alpha diversity and lambda functional entropy index (λ) applied for macrofauna in diversified agroecosystems of Nicaragua. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, (122) 2: 299–310. doi:10.17170/kobra-202112035149
- Rodríguez González, H.R.; Aguilera Quiroz, Y.J.; Pilarte Morraz, M de A.; Herradora Gutiérrez, Y de A.; Galeano Altamirano, N.M.; García López, O.G. y Cáceres Gutiérrez, Cc.I. (2017c). *Macrofauna del suelo y su funcionalidad*. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017c). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>

- Rodríguez González, H.R.; Chavarría Díaz, B.R.; Martínez Arauz, J.A. y Rocha Espinoza, J.D. (2017c). *Macrofauna del suelo y su funcionalidad*. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017b). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Rodríguez González, H.R.; González Merlo, L.H.; Herrera Moncada, H.J.; Vargas Urbina, J.M.; Laguna Ramírez, M.J.; López Montenegro, G. y Medina Acuña, R. I. (2017a). *Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas*. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017a). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Rodríguez González, H.R.; Vargas Urbina, J.E.; Laguna Ramírez, M.J.; González Merlo, L.H.; Herrera Moncada, H.J.; López Montenegro, G. Medina Acuña, R.M. (2017b). *Macrofauna del suelo y su funcionalidad*. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017a). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Rodríguez Silva, L. A. y Díaz, I. L. (2016). Aislamiento y selección de bacterias celulolíticas a partir de compost de residuos orgánicos. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, (36) 1: 19-28.
- Rodríguez, G.; H. R. (2014). *Evaluación agronómica con enfoque agroecológico en un sistema diversificado de guayaba (*Psidium guajava* L.), nopal (*Opuntia ficus* L.), piña (*Ananas comosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.) utilizando vermicompost, Managua, Nicaragua, 2009-2011*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria. Managua. Nicaragua].
- Rodríguez, H.R; Chavaría, B. R; Martínez J. A y Rocha, J. D. (2017a). *Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas*. En: Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. 2017a. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y Condega, Nicaragua. Grupo SEVEN, Nicaragua, PP: 19-24.
- Rodríguez, H.R; Chavaría, B. R; Martínez J. A y Rocha, J. D. (2017b). *Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas*. En: Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. 2017a. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua. Grupo SEVEN, Nicaragua, PP: 31-42.
- Romero Arenas, O.; Huerta Lara, M.; Damián Huato, M. A.; Domínguez Hernández, F. y Arellano Victoria D. A. (2009). Características de *Trichoderma harzianum*, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Revista Colombiana de Biotecnología*. (Vol XI). 143 – 151 p.

- Royero Mesino, S.Y. (2019). *Macrofauna edáfica y características físicas y químicas del suelo en áreas con diferentes sistemas de manejo en el departamento del Atlántico, Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Salazar Centeno, D.J. (2021b). Capítulo VI. Reflexiones. En: D.J. Salazar Centeno; L.J. García Centeno; .R. Rodríguez González y J.C. Fernández Álvarez. (2021). *Agroecología y servicios ecosistémicos: aportes de la investigación interdisciplinaria*. RENP36U58ag.pdf (una.edu.ni)
- Salazar Centeno, D.J.; García Centeno, L.J; Rodríguez González, H.R.; Arsenio Calero, C.; Morales Navarro, M.A. y Valverde Luna, L.O. (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar Centeno, D.J.; García Centeno, L.J; Rodríguez González, H.R.; Arsenio Calero, C.; Morales Navarro, M.A. y Valverde Luna, L.O. (2017b). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Salazar Centeno, D.J.; García Centeno, L.J; Rodríguez González, H.R.; Arsenio Calero, C.; Morales Navarro, M.A. y Valverde Luna, L.O. (2017c). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Salazar Centeno, D.J.; Mendoza, A.P.; Castro Guzmán, J.N. y Gómez López, A.R. (2021). *Capítulo V. Microbiota edáfica: Funcionalidad, Simbiosis, bienes y servicios ecosistémicos y perspectivas*. En: D.J. Salazar Centeno; L.J. García Centeno; .R. Rodríguez González y J.C. Fernández Álvarez. (2021). *Agroecología y servicios ecosistémicos: aportes de la investigación interdisciplinaria*.RENP36U58ag.pdf (una.edu.ni)
- Salazar Centeno, D.J.; Morales Navarro, M.A. Valverde Luna, L.O.; López Montenegro, G. Medina Acuña, R.I. (2017b). Grado de sostenibilidad de los agroecosistemas. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar Centeno, D.j.; Arsenio Calero, C.; Castillo Corea, B.R de J.; García Fuentes, R.J.; Cruz Midence, C.f.; Rodriguez, E. S.; López Montenegro, G. y Medina Acuña, R.I. (2017a). Caracterización de la flora arbórea y su funcionalidad. En: D.J. Salazar Centeno, L.J. García Centeno, H.R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M.A. Morales Navarro y L.O. Valverde Luna (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega Nicaragua*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar, D .J; .Calero, C. A, Rojas, H. H y Rocha, J, D. (2017b). Caracterización de la flora arbórea y su funcionalidad. En: Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. 2017a. *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua*. Grupo SEVEN, Nicaragua, PP: 42-50.

- Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua*. Grupo SEVEN, Nicaragua, PP: 71.
- Salazar, D. J; Morales, M. A; Valverde, L. O y Rocha, J. D. (2017c). Grado de sostenibilidad de los agroecosistemas. En: Salazar, D. J; García, L. J; Rodríguez, Calero, C. A; Morales, M. A y Valverde, L. O. 2017a. *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua*. Grupo SEVEN, Nicaragua, : 22-63.
- Sánchez-Yañez, J.; Valencia-Cantarero, E. y Carrillo-Amezcu, J. (2007). *Las bacterias en la fertilidad y productividad del suelo*. 2-7.
- Sarma, RK, Saikia, R. (2014). Alivio del estrés por sequía en frijol mungo por la cepa *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. *Plant Soil* 377: 111-126. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1981-9>
- Silva Sousa, C.; Fermino, A.C. y Silva, M. (2008). Characterization of streptomycetes with potential to promote plant growth and biocontrol. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* (Vol.65. Núm.1), 50-55
- Stocco, M.C.; Lampugnani, G.; Abramoff, C.; Zuluaga, M.S.; Stenglein, S.; Acciaresi, H. y Mónaco, C.I. (2018). *Fusarium oxysporum*, potencial agente de control biológico para *Sorghum halepense* en Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* (117)1: 61-67. Vista de *Fusarium oxysporum*, potencial agente de control biológico para *Sorghum halepense* en Argentina (unlp.edu.ar)
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M., y Huising, E. J. (2012). *El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general*. 29-52.
- Tanaka, M.A.S.; Ito, M.F.; Braga, C.A.S y Armond, G. (2003). Tratamiento Térmico Solar da Água para Controle de Fitopatógenos. *Fitopatol. Bras*, (28) 4: 386-393. C:\Documents and Settings\Admin (scielo.br)
- Tangarife García, N.S. (2021). *Control biológico, la nueva era de la agricultura*. [Monografía para optar al título de ingeniero agrónomo, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales], Bogotá, Colombia. P. 76. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4001>
- TEEB (2010b) Una guía rápida: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad para Diseñadores de Políticas Locales y Regionales. TEEB (2010) *Una guía rápida: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad para Diseñadores de Políticas Locales y Regionales*. - Dra. Ma. Cristina Cortinas Durán
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity TEEB (2010a). *Chapter 1: Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation*. Chapter 1 Framework of integration of ecology and economy [prov (teebweb.org)]

- Thomas G (1982) Exchangeable Cations. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs N° 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 159-165.
- Toledo, Milton. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos* / Milton Toledo. – Honduras : IICA, 2016. PP 33.
- Torres, R.D. (2003). *El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. Ecosistemas (2)*: (PDF) El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos (researchgate.net)
- Valdés Ríos, E. (2014). *Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de Trichoderma como control biológico*. (Vol. 2. Núm 1): P. 254-264
- Varela, A. (1996). *Enfoques microbiológicos para el estudio de la biología y ecología de suelos. Universitas Scientiarum*. (Vol 3. Núm 1-2), (p. 137-144).
- Vasquez, A. D. (2019). *Características físicas y químicas de un suelo con especies forestales y su relación con los microorganismos*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. P. 85.
- Vázquez L. L y Matienzo Y. (2010). *Metodología para la caracterización rápida de la diversidad biológica en las fincas, como base para el manejo agroecológico de plagas*. Habana, Cuba. 2-12.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S. y Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Papel del crecimiento vegetal que promueve las rizobacterias en la sostenibilidad agrícola: una revisión. *Moléculas* (Basilea, Suiza), 21 (5), 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
- Velázquez del Valle, M. G.; Bautista Baños, S. Hernández Lauzardo, A. N.; Guerra Sánchez, M. G. y Amora Lazcano, E. (2008). Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, (Vol26. Núm 1). p. 50
- Velázquez- Gurrula. A. y Ramos-Alegria M. (2015). Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas. *VIII Congreso Mundial de la Palta*, Lima, Perú. p. 495 – 499.
- Velázquez, M.; Bautista, S. y Hernández A. (2007). Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. *Revista Mexicana. Instituto Politécnico Nacional*, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Departamento de Interacciones Planta-Insecto, km 8.5 Carr. Yautepec-Jojutla, San Isidro, Yautepec, Morelos, México. (p 49 - 51).
- Velázquez-Gurrola, A. y Ramos-Alegría, M.P. (2015). Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas. *Actas Proceedings, VIII*

- Villa-Martínez, A.; Pérez-Leal, R.; Morales-Morales, H.A.; Basurto-Sotelo, M.; Soto-Parra, J.M. y Martínez-Escudero, E. (2014). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*. 64 (2) 2015. (p 194-205)
- Villarreal-Delgado, María Fernanda, Villa-Rodríguez, Eber Daniel, Cira-Chávez, Luis Alberto, Estrada-Alvarado, María Isabel, Parra-Cota, Fannie Isela, & Santos-Villalobos, Sergio de los. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>
- Villarreyña A, R. A. (2016). *Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos*. CATIE. Informe de Cascada.
- Viteri Florez, P. A.; Castillo Guerra, S. A. y Viteri Rosero, S. E. (2016). Capacidad y diversidad de bacterias celulolíticas aisladas de tres hábitats tropicales en Boyacá, Colombia. *Acta Agron.* (65) 4: 362-367. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.50181>
- Vizuet García, R.A.; Pascual Barrera, A.E.; Taco Taco, C.W. y Morales Padilla, M.M. (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. *Revista Lasallista de Investigación*, (17) 1: 177-DOI: 10.22507/rli.v17n1a19
- Walkley, A.J. and Black, I.A. (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.
- Xiao, C., Zhang, H., Fang, Y. (2013). Evaluation for Rock Phosphate Solubilization in Fermentation and Soil-Plant System Using A Stress-Tolerant Phosphate-Solubilizing *Aspergillus niger* WHAK1. *Appl Biochem Biotechnol*, (169): 123–133. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9967-2>.
- Zavaleta Díaz, M. A. y González Castro, J.B. (2018). *Macrofauna y propiedades fisicoquímicas del suelo de cultivos de Coffea arabica L., Moyobamba (Perú)*. Conocimiento para el Desarrollo (9) 1: 121-128.
- Zavaleta, M. A. (2019). Macrofauna y propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café del Distrito de Jepelacio-Moyobamba. [Unidad de Posgrado En Ciencias Biológicas], 70. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12889>
- Zerbino, M. S. (2010). *La macrofauna del suelo y su relación con la heterogeneidad florística*. P. 97-109