



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Microbiología funcional en 10 agroecosistemas con diferentes órdenes de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional, Nicaragua, 2021

Autores

Br. Ana Belén Rocha Matus
Br. Axel Antonio Tórrez Martínez

Asesor

Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Managua, Nicaragua

Enero, 2022



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Microbiología funcional en 10 agroecosistemas con diferentes órdenes de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional, Nicaragua, 2021

Autores

Br. Ana Belén Rocha Matus

Br. Axel Antonio Tórrez Martínez

Asesor

Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

Managua, Nicaragua

Enero, 2022

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la facultad de Agronomía como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Rosario García Loaisiga

Presidente

MSc. Mercedes Ordoñez

Secretario (a)

MSc. Jorge Gómez Martínez

Vocal

Lugar y Fecha: Sala Magna, 11 de enero de 2022.

DEDICATORIA

A mis padres Juan Carlos Rocha Alvarado y Juana Aracelly Matus Arróliga por sus innumerables sacrificios y por ser el apoyo invaluable en cada momento de mi vida incluyendo este, mis padres toda mi fuente de amor y admiración.

A mi abuela paterna Rosa Emilia Alvarado Siles (q.e.p.d.) por su amor incondicional y valiosos consejos que ahora son parte de mi inspiración.

A todas las mujeres que a lo largo de la historia y de mi vida han logrado inspirar con sus acciones, logros y aportes significativos encaminados a grandes cambios.

Br. Ana Belén Rocha Matus

DEDICATORIA

A Dios, por el don de la vida, la salud y la fortaleza ante las adversidades presentes durante mi carrera universitaria y la elaboración de mi tesis.

A mi mamá Victoria del Rosario Martínez López, por ser mi maestra desde la niñez y haberme enseñado los valores de la vida, acompañarme en cada paso y apoyarme aun cuando estuve equivocado.

A mis abuelos y tíos, por su apoyo moral, económico, sus buenos consejos que me llevaron a cumplir esta meta.

Br. Axel Antonio Torrez Martínez

AGRADECIMIENTO

A mis padres Juan Carlos Rocha Alvarado y Juana Aracelly Matus Arróliga por brindarme todo su amor, dedicación, paciencia, apoyo moral y económico, todo esto cómo pilar fundamental para mi formación personal y ahora profesional.

A mi hermano Jostin Alberto Rocha Matus por su respaldo y cariño.

Agradecimiento especial a mis tíos y abuelo, Rosa, Maryin, Everth, Romel y Juan Rocha Alvarado (q.e.p.d.) todos excelentes seres humanos que en vida fueron grandes ejemplos de firmeza, constancia y gran amor.

A la UNAG y al MAONIC por brindarnos los recursos y herramientas necesarias para llevar acabo el proceso de investigación.

A mi asesor Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González por su valioso tiempo y gran apoyo.

A mi compañero de tesis Axel Antonio Torrez Martínez por su gran paciencia y buen desempeño.

A Kelly Massiel Rocha Trujillo y Héctor Isaac Ramos Munguía por su gran apoyo emocional.

Un agradecimiento especial a la Lic. Blanca Azucena Blanco, por sus muestras de confianza y ayuda desinteresada durante mi periodo de alumna apoyo en el Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria (CENIDA).

Br. Ana Belén Rocha Matus

AGRADECIMIENTO

A Dios, por derramar sobre mí y mi familia la paciencia para salir adelante aun cuando los tiempos son difíciles de superar.

A mis padres, por haberme dado la vida, y en especial a mi mamá Victoria del Rosario Martínez López que no me dejó solo en ninguna circunstancia de dificultad. A mis abuelos, José Antonio Martínez y Pía del Carmen López, quienes han sido como mis padres brindándome sabios consejos base fundamental para salir adelante.

A mis tíos Martínez, por apoyarme incondicionalmente en los cinco años de carrera universitaria y en cada circunstancia de mi vida. A mi hermano, por seguir los buenos pasos que nuestra familia nos ha inculcado desde la niñez y nunca dejar sola a mi mamá en el transcurso de mi carrera universitaria, cuando yo no pude estar con ella.

A los productores por su grato apoyo en prestar sus fincas para poder desarrollar nuestra tesis. A la UNAG y a MAONIC por permitir realizar estudios de ingeniería en fincas que son un foco agroecológico para Nicaragua. A la Universidad Nacional Agraria por acogerme durante la carrera y brindarme las condiciones necesarias para concluirla.

A mi compañera tesista Ana Belén Rocha Matus por el buen desempeño durante la realización de la tesis, su paciencia y excelente actitud que la caracteriza.

A los profesores que durante el periodo 2016-2020 compartieron sus conocimientos y consejos, haciendo mención especial a los excelentísimos Ing. Isidro Salinas, Dr. Víctor Aguilar y Dr. Francisco Salmerón por su humildad y entrega.

Agradecimiento especial a mi asesor Ing. MSc. Hugo René Rodríguez por su valioso tiempo, conocimiento y confianza brindada.

Al equipo del CENIDA, por su entera disposición para proporcionar información para el aprendizaje de los estudiantes de la Universidad.

A mis compañeros, amigos y colegas Ruiz, J., Rugama, J., Romero, K., García, W., Ramos, H. y Rodríguez, O, por la sincera amistad.

Br. Axel Antonio Torrez Martínez

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Microorganismos y su actividad en el suelo	4
3.2 Definición general de los microorganismos de mayor importancia	4
3.2.1 Actinomicetos	4
3.2.2 Hongos	4
3.2.3 Bacterias	5
3.3. Importancia de la microbiota edáfica	5
3.3.1 Actinomicetos	5
3.3.2 Hongos	5
3.3.3 Bacterias	6
3.4 Funcionalidad de la microbiota edáfica	6

3.4.1 Actinomicetos	7
3.4.2. Hongos	7
3.4.3 Bacterias	7
3.5 Interacción de la microbiota con los suelos tropicales	7
3.6 Taxonomía de suelos	8
3.6.1 Suelos entisoles	8
3.6.2 Suelos molisoles	8
3.6.3 Suelos alfisoles	9
3.6.4 Suelos andisoles	9
IV MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1 Ubicación y fechas de estudio	10
4.1.1. Descripción de los agroecosistemas	10
4.2. Diseño de la investigación	12
4.3. Manejo del estudio y metodología	12
4.3.1. Rubro principal	12
4.3.2. Enfoque de manejo	13
4.3.3 Suelo	14
4.4. Datos evaluados	15
4.4.1. Recolección de muestras de suelo	15
4.4.2. Análisis de laboratorio	16
4.5. Análisis de los datos	16
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5.1. Presencia de microorganismos según enfoque de producción	17

5.2. Tipología de los microorganismos más importantes observados en los diferentes agroecosistemas	18
5.2.1 Hongos	19
5.2.2. Bacterias encontradas en los agroecosistemas estudiados	21
5.2.3. Actinomiceto encontrado en los agroecosistemas estudiados	24
5.3. Taxonomía microbiológica y su relación con la taxonomía de suelo	26
5.4 Funcionalidad de los microorganismos presentes en los agroecosistemas	28
VI CONCLUSIONES	32
VII RECOMENDACIONES	33
VIII LITERATURA CITADA	34
IX ANEXOS	42

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Temperaturas y enfoques de producción presentes en los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	11
2	Rubros principales en los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Estelí, Chinandega y Matagalpa; durante el periodo 2015-2021	13
3	Codificación de las muestras según el agroecosistema y las localidades de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	15
4	Metodología de análisis microbiológico de suelos en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	16
5	Resultado de distribución de frecuencia para la presencia de microorganismos según enfoque de producción, en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí, Matagalpa, 2015-2021	17
6	Resultado de distribución de frecuencia para la presencia y tipología de microorganismos en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	18
7	Relación taxonómica de suelos y microorganismos en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	27
8	Funcionalidad microbiológica de los principales géneros encontrados en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Ubicación de los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, en el mapa de la República de Nicaragua, 2015-2021.	10
2	Mapa de los suelos de la República de Nicaragua- órdenes y sub-órdenes de suelo, desarrollado por MAG, MARENA, UNA, INAFOR, INETER (2015).	14
3	Géneros de hongos de mayor importancia en los agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y convencional de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.	19
4	Géneros de bacterias de mayor importancia en los agroecosistemas con enfoque producción agroecológico y convencional de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.	22
5	Presencia de <i>Streptomyces sp.</i> en los agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y convencional de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.	24

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Extracción de muestras de suelo, agroecosistemas Matagalpa (Rubro principal: café), Chinandega (Rubro principal: granos básicos) 2020	42
2	Materiales usados en el laboratorio de microbiología de suelo y vista panorámica de laboratorio, 2020	42
3	Imágenes referenciales con medios de cultivo para determinación de presencia de microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos) 2020	42

RESUMEN

La adopción de un enfoque agroecológico o convencional es una decisión filosófica que implica cambios en el agroecosistema y en la planificación adecuada a las condiciones en un área geográfica determinada. Con el objetivo de determinar presencia de microorganismos, analizar taxonomía de suelos y diferenciar grupos funcionales presentes en 10 agroecosistemas manejados con dos enfoques de producción (convencional y agroecológico). Se realizó un investigación mixta, no experimental, exploratoria, descriptiva y explicativa en donde se visitaron cinco localidades: San Ramón, Matagalpa; Condega, Estelí (agroecosistemas con café); Las Lagunas, Boaco (agroecosistemas con ganado); San Felipe, Chinandega y Diriamba, Carazo (agroecosistemas con granos básicos). Se realizó un muestreo aleatorio de suelo por lote a 20 centímetros de profundidad obteniendo un total 98 muestras compuestas llevadas al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Agraria. Se generaron las tablas de contingencia con los datos ya categorizados con el programa estadístico Infostat Estudiantil versión 2018. El enfoque convencional presentó una frecuencia acumulada de 1 430 y el enfoque agroecológico 1 281 microorganismos; de las tipologías: hongos, bacterias y actinomicetos. Los géneros de hongos más importantes observados en ambos agroecosistemas fueron *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.*, *Paecilomyces sp.* y *Mucor sp.* Los géneros de bacterias más representativos fueron *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Sarcina sp.* El género de actinomicetos presente en ambos enfoques fue *Streptomyces sp.* Los microorganismos que más destacaron fueron encontrados en los cuatro órdenes de suelo: Entisols, Andisols, Alfisols y Mollisols. Al diferenciar grupos funcionales de microorganismos se obtuvieron cuatro géneros con funcionalidad negativa: hongos (*Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.*) y Oomycetes parásitos (*Pythium sp.*). Seis géneros con funcionalidad positiva: hongos (*Paecilomyces sp.*, *Penicillium sp.*), de tipología bacteria los géneros *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.* y tipología actinomiceto el género *Streptomyces sp.*

Palabras clave: Microbiota, suelo, interacciones, descomposición, materia orgánica

ABSTRACT

The adoption of an agroecological or conventional approach is a philosophical decision that implies changes in the agroecosystem and in planning appropriate to the conditions in a given geographic area. In order to determine the presence of microorganisms, analyze soil taxonomy and differentiate functional groups present in 10 agroecosystems managed with two production approaches (conventional and agroecological). A mixed, non-experimental, exploratory, descriptive and explanatory investigation was carried out in which five localities were examined: San Ramón, Matagalpa; Condega, Estelí (agroecosystems with coffee); Las Lagunas, Boaco (agroecosystems with livestock); San Felipe, Chinandega and Diriamba, Carazo (agroecosystems with basic grains). A random sampling of the soil per lot was carried out at a depth of 20 centimeters, obtaining a total of 98 composite samples taken to the Laboratorio de Microbiología in the Universidad Nacional Agraria. Contingency tables were generated with the data and categorized with the statistical program Infostat Student version 2018. The conventional approach presented a cumulative frequency of 1,430 and the agroecological approach 1,281 microorganisms; of the typologies: fungi, bacteria and actinomycetes. The most important fungal genera observed in both agroecosystems were *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.*, *Paecilomyces sp.* and *Mucor sp.* The most representative bacterial genera were *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* and *Sarcina sp.* The genus of actinomycetes present in both approaches was *Streptomyces sp.* The microorganisms that stood out the most were found in the four soil orders: Entisols, Andisols, Alfisols and Mollisols. When differentiating functional groups of microorganisms, four genera with negative function were obtained: fungi (*Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.*) and parasitic Oomycetes (*Pythium sp.*). Six genera with positive functionality: fungi (*Paecilomyces sp.*, *Penicillium sp.*), of bacterial typology the genera *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.* and actinomycete typology of the genus *Streptomyces sp.*

Keywords: microbiota, soil, interactions, decomposition, organic materia

I. INTRODUCCIÓN

Adoptar un enfoque de sistemas es una decisión filosófica que implica cambios en el [manejo] agrícola (Hart, 1985, p. 7). Maldonado (1985) afirma que, desde el inicio de la historia hemos utilizado los recursos naturales para la subsistencia, desde el establecimiento en lugares donde se nos permita llevar a cabo actividades agrícolas y pecuarias para el consumo directo e indirecto (Celdas, 2013, p. 7). Esto ha desarrollado diversos estudios los cuales han determinado la idea de aplicar enfoques productivos. Hart (1985) expresa que, "la historia del concepto de sistemas es probablemente tan vieja como el ser humano mismo, pues siempre ha existido la necesidad de entender fenómenos complejos" (Sarandón, 2002, p 101).

Las actividades realizadas dentro de los agroecosistemas productivo los llevan a la categorización de dos enfoques, "agroecológico-convencional". El modelo agroecológico aparece en la década de 1970, principalmente como la implementación de prácticas conservacionista. Conduciendo las explotaciones agrícolas hacia este modelo con el uso eficiente de la energía, económicamente viable y socialmente aceptable" Altieri (1999, p. 9). En Nicaragua actualmente se ha implementado más ampliamente y se inicia la práctica de la agroecología, como una necesidad de responder a la demanda de alimentos en armonía con los sistemas naturales (Matamoros, 2017 p.1).

Es importante considerar la estabilidad de los agroecosistemas en la cual repercute principalmente el recurso "suelo". Aquiahualtl expresa que: "el suelo está formado por una fracción mineral, materia orgánica, agua y gases; los cuales permiten el desarrollo de una gran diversidad de organismos" (2017, p. 15).

Olías y Galván (2008), definen al suelo como una delgada capa fértil que cubre la mayor parte de la superficie terrestre, constituye un ecosistema vivo, en el que habitan millones de microorganismos que contribuyen a reciclar los restos orgánicos que reciben de esta forma se producen la mayor parte de los alimentos de la humanidad y muchos otros bienes de consumo. Sustentan la vegetación natural, que es la base de los diferentes ecosistemas. El suelo es un recurso no renovable a escala de la vida del hombre, tarda en formarse al menos miles de años, si se pierde o se degrada por una utilización inadecuada, no puede sustentar más vida (p. 50).

La interacción suelo-planta-microorganismos-ambiente repercuten, de forma directa, en el crecimiento y en el desarrollo de las especies vegetales, estos microorganismos dependen de los factores ambientales para expresar sus potenciales efectos benéficos; sin embargo, en la interacción de estos tres tipos de microorganismos, se pueden presentar efectos sinérgicos, que potencialicen los beneficios o por el contrario, efectos antagónicos o simplemente que no ocurra ningún efecto en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas (Cano, 2011, p. 1).

FAO (2021), expresa que los organismos del suelo actúan como agentes primarios, para que se lleven a cabo diferentes procesos como el ciclo de nutrientes, la regulación de materia orgánica, el secuestro de carbono, emisiones de gases, y almacenamiento de agua, generando de esta forma un servicio esencial para el funcionamiento de los ecosistemas (p. 1).

En el siglo XX se dió un incremento de la población lo que causo el incremento del hambre en el mundo, por esta razón fue necesario llevar a cabo nuevas prácticas de producción más tecnificadas que suplieron las necesidades alimentarias de la humanidad así dio inicio la agricultura convencional en la época de la colonización esto causo un importante cambio en la agricultura tradicional al surgir una gran pérdida de los saberes ancestrales sobre el manejo de sistemas tropicales cambiándolos por nuevas formas de manejo que generaran mayor cantidad de alimentos (Celdas, 2013, p.17).

La primera revolución verde fue considerada como un cambio radical en las prácticas agrícolas hasta entonces utilizadas y fue definida como un proceso de modernización de la agricultura, donde el conocimiento tecnológico suplantó al conocimiento empírico determinado por la experiencia práctica del agricultor (Ceccon, 2008, p. 22). León y Rodríguez, (2002) expresan que estas tecnologías fueron empleadas en países europeos y norteamericanos donde se empleaban agroquímicos, semillas híbridas, riego abundante y uso de maquinaria (Caldas, 2013, p.17).

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la presencia y relación entre microorganismos en 10 agroecosistemas diversificados con diferente taxonomía de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar las funciones de los microorganismos presentes en 10 agroecosistemas diversificados con diferente taxonomía de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar la presencia de microorganismos y su tipología, manejados con dos enfoques de producción.
2. Analizar la relación que existe entre la taxonomía microbiológica presente y la taxonomía de suelos de agroecosistemas diversificados.
3. Diferenciar grupos funcionales de microorganismos que contribuyen positivamente y aquellos que causan efectos negativos en el diseño y en la productividad de los agroecosistemas.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Microorganismos y su actividad en el suelo

Los microorganismos tienen un gran valor para la agricultura, son organismos causantes de enfermedades o por su importante papel dentro de la lucha biológica, como entomopatógenos de gran efectividad y perspectivas entre ellos están presentes: bacterias, actinomicetos...y hongos (Rodríguez, M. et al., 1987, p. 255). La evolución de microorganismos ha causado variantes en la forma que se alimentan, una de ellas es parasitar tejidos de plantas, otra es consumirlos, por lo tanto, se consideran plagas (Díaz, et al., 2018, p. 44).

Correa (2013) afirma que, la actividad microbiana del suelo (hongos, bacterias y actinomicetos) contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas por ser los principales responsables en el reciclaje de nutrientes y en la dinámica de la materia orgánica del suelo, la captura de carbono, la estructuración del suelo y la captación de agua, el aumento en la capacidad de absorción de nutrientes y el mantenimiento de la sanidad vegetal (p. 1).

Soria (2016) conceptualiza que, “los componentes microbianos de los diferentes ecosistemas podrían compartir ciertas características dinámicas y funcionales. Y en casi todos estos casos estamos descubriendo que cumplen roles más importantes de los que pensábamos hace sólo unos años atrás” (p. 9).

La diversidad de microorganismos que se encuentran en una fracción de suelo cumple funciones determinantes en la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos que se le incorporan. La microflora del suelo está compuesta por bacterias, actinomicetos, hongos, algas, virus y protozoarios (Delgado, 2016, p. 1).

3.2 Definición general de los microorganismos de mayor importancia

3.2.1 Actinomicetos

A nivel cosmopolita, existe un gran grupo de microorganismos relacionados con las bacterias en sus características químicas, pero son más complejos en su morfología al formar filamentos a manera de micelios y esporas. En los actinomicetos, se incluyen desde organismo unicelulares hasta formas ramificadas que semejan estructuras micelares rudimentarias (Ferrera y Alarcón, 2007, p. 43).

3.2.2 Hongos

Navarro 2013 expresa que los hongos:

Son microorganismos vegetales inferiores, por lo que están desprovistos de clorofila, por lo tanto, son incapaces de sintetizar sus propios alimentos. Son organismos heterótrofos, que pueden obtener sus nutrientes de materias muertas, como los saprofitos o se nutren como parásitos de los huéspedes vivos (p.11).

3.2.3 Bacterias

FAO, 2002 expresa que,

Las bacterias son microorganismos simples que constan de células individuales, se conocen alrededor de 1600 especies, en su mayoría son saprofitas y como tales, benefician al hombre que ayudan a la descomposición de las enormes cantidades de materia orgánica, existen las que causan enfermedades. La mayoría de bacterias tienen formas de bastón, son más o menos cortas y cilíndricas, difíciles de observar a simple vista. Se disponen individuales, en pares o en cadenas y son translucidas de color blanco-amarillento, su reproducción es por fisión binaria es decir por división en dos partes iguales (p.6).

3.3. Importancia de la microbiota edáfica

Garden City Composting (2002) afirman que, “un grupo de estos microorganismos son denominados microorganismos patógenos capaces de producir enfermedades en plantas, animales, y contaminación en el entorno. El otro grupo de microorganismos que ejercen funciones muy amigables son denominados microorganismos benéficos o eficientes” (Heredia y Fernanda, 2017, p. 1).

3.3.1 Actinomicetos

Quiñones et al., 2003 afirma que.

Los actinomicetos o actino bacterias son microorganismos de importancia en la industria y en la agricultura debido a la gran cantidad de compuestos antimicrobianos que producen, característica que los hace excelentes candidatos para su empleo como agentes de control biológico de microorganismos fitopatógenos (p. 271).

3.3.2 Hongos

Pelczar et al., (1996) argumentan que,

Los hongos son heterótrofos pues como saprofitos obtienen su alimento de la materia orgánica muerta o como parásitos se alimentan de huéspedes vivos. Como saprofitos destruyen plantas complejas y restos de animales degradándose a formas químicas simples que pasan a formar parte del suelo para que sea absorbida por las generaciones futuras de las plantas. La actividad de los hongos es en gran parte un factor en la alta o baja fertilidad de un suelo (p. 247).

3.3.3 Bacterias

Ezpeleta y De la Hiera, (2007) expresan que:

La bacteria es el más simple y abundante de los organismos y puede vivir en tierra, agua, materia orgánica o en plantas y animales. Una bacteria de tamaño típico es tan pequeña que es completamente invisible a la vista, tienen una gran importancia en la naturaleza que pueden transformar sustancias orgánicas en inorgánicas y viceversa (p.1).

3.4 Funcionalidad de la microbiota edáfica

Las funciones más importantes de la microbiota edáfica es la conversión de desechos animales o vegetales, esto se debe a la actividad de hongos, bacterias, protozoarios entre otros... Los microorganismos actúan en la formación y estabilización del suelo (Garassini, 1967, p. 345).

Ibanes (2007) expresa que:

Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Son el principal agente del ciclo de los nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo, la retención del carbono y la emisión de gases de efecto invernadero, modifican la estructura material del suelo y los regímenes del agua, mejorando la cantidad y eficacia de la adquisición de nutrientes de la vegetación y la salud de las plantas. Estos servicios no sólo son decisivos para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas (párr. 4).

3.4.1 Actinomicetos

Correa, (2000), menciona que los actinomicetos son microorganismos muy abundantes en el suelo, poseen gran importancia en el equilibrio ecológico del mismo al presentar una alta actividad metabólica, con la cual pueden desencadenar reacciones que conllevan a la transformación del nitrógeno atmosférico molecular en nitrógeno asimilable por las plantas, producen pigmentos y enzimas extracelulares con las que son capaces de degradar materia orgánica de origen vegetal o animal (Salazar y Guerrero, 2013, p.23).

3.4.2. Hongos

Guzmán et al., (2009) sostienen que los hongos:

Constituyen un grupo muy numeroso de organismos (se han descrito aproximadamente 500.000, pero se estima que pueden existir entre 1 y 1,5 millones de especies) que presentan una amplia distribución en la naturaleza, contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica y participando en los ciclos biológicos, solo un pequeño número son patógenos a animales y plantas (p.2).

Los hongos pueden ser usados para ayudar o perjudicar a los organismos vivos y a los ecosistemas. El desarrollo humano ha dado paso a la evolución de los hongos y en la actualidad son utilizados como alimento, elementos transformadores de los mismos y la cura de enfermedades (Cuevas, 2016, p. 9).

3.4.3 Bacterias

Las bacterias benéficas del suelo son indispensables para recuperar la estructura perdida por las prácticas agrícolas, para hacer disponibles los nutrientes que hay en el suelo y para incorporar la materia orgánica que necesita para mejorar la fertilidad (Delgado, 2009, párr. 6 “las bacterias del suelo”).

3.5 Interacción de la microbiota con los suelos tropicales

Garassini (1967) describe que, la actividad microbiana en los suelos tropicales está sujeta al pH, al clima y a su vegetación. En zonas boscosas la materia orgánica que se almacena en el suelo es de rápida reducción y totalmente metabolizada, no se forma el humus, por consiguiente, estos suelos no poseen reservas nutricionales (p. 457).

Lynch (1990) afirma que, el hábitat específico de las bacterias, algunas se pueden encontrar adheridas a la superficie de las partículas de suelo como agregados o interactuando específicamente con las raíces de las plantas; sin embargo, la concentración de bacterias en el suelo que se encuentra alrededor de las raíces de las plantas en la rizosfera es mucho mayor que en el resto del suelo (Calvo y Vélez, et al., 2008, p. 142).

Osorio (2009) afirma que los microorganismos del suelo:

Son entidades que influyen varios aspectos del suelo y cada uno desempeña diferentes actividades. De particular interés son aquellos microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Así, en muchos casos, los microorganismos del suelo pueden determinar la disponibilidad de nutrientes y por eso se consideran herramientas para el manejo del suelo y la nutrición de la planta (p.44).

Los hongos constituyen la mayor masa microbiana en suelo con cobertura vegetal entre el 0,02% y el 0,1%. En algunos ambientes los micelios se desarrollan en un gran volumen del suelo y puede llegar a cientos de metros por cada gramo de suelo. Los suelos minerales son un medio pobre para los hongos que no cuentan con la cantidad de sustratos aprovechables y son resistentes a los pH ácidos (Fracchia, 2002, p. 1).

3.6 Taxonomía de suelos

3.6.1 Suelos entisoles

Artola, 1998 expresa que:

Los entisoles son suelos de reciente formación (jóvenes) y no presentan una secuencia de horizontes bien diferenciada, los procesos de formación no han actuado en mayor cuantía o por que los materiales del cual se está desarrollando el suelo son recientes y en algunos casos por estar ubicados en áreas de pendientes bien pronunciadas en donde el proceso de erosión juega un papel muy importante en el desarrollo de suelo mismo. Los entisoles presentan poco espesor (suelos superficiales) por que han estado sometidos al constante rejuvenecimiento (p. 61).

3.6.2 Suelos molisoles

Betancourt y Calderón (2013) describen que los molisoles son:

Suelos minerales con estado de desarrollo: incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón móllico) de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (un horizonte argílico, o un horizonte cámbico cargado de arcilla); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroplásticas (p.14).

3.6.3 Suelos alfisoles

Reyes, describe los suelos Alfisoles como:

Minerales maduros, bien desarrollados. Con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (horizonte argílico); de muy profundos a pocos profundos (60 a > 120 cm). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas (2010, p. 14).

3.6.4 Suelos andisoles

Staff (1999) “Expresa que “los suelos derivados de cenizas volcánicas son aquellos formados a partir de la meteorización de depósitos de materiales provenientes de eyecciones volcánicas, los cuales han sido denominados andisoles” Hincapié y Tobón (2012). Ante esto Moreno et al., (2011) reafirma que “los andisoles son suelos desarrollados sobre materiales piroclásticos depositados por erupciones volcánicas cuya principal característica es la variedad de material parental debido a la naturaleza de los materiales expulsados en las erupciones” (párr.1 “Concepto central de orden”).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y fechas de estudio

El estudio se realizó en 10 agroecosistemas manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional, ubicados en las localidades: Las Lagunas; Boaco, Diriamba; Carazo, San Felipe; Chinandega, Condega; Estelí y San Ramón; Matagalpa en el periodo 2015-2021.

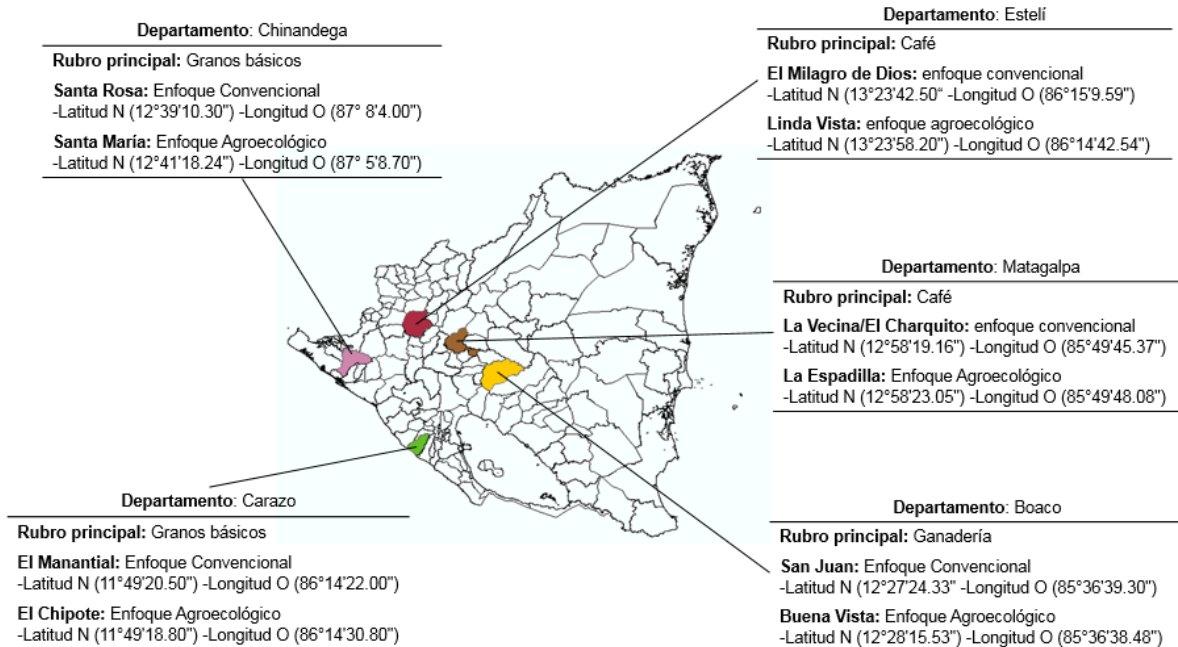


Figura 1. Ubicación de los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, en el mapa de la República de Nicaragua, 2015-2021.

4.1.1. Descripción de los agroecosistemas

Las localizaciones, el nombre de los agroecosistemas, sus propietarios, el área, temperaturas, altitud y el enfoque de producción son las condiciones existentes durante la recolección de microorganismos en el campo (cuadro 1). Las temperaturas entre los agroecosistemas se presentaron en un rango de 20 - 42 °C siendo los agroecosistemas de Chinandega los que tienen las temperaturas más elevadas y en Estelí las más frías. Esto corresponde con un rango de altitud entre 75 – 1 200 m. A partir de los resultados agroecológicos se determinó que por cada 51.13 m de altitud se redujo en un grado Celsius la temperatura presente en los agroecosistemas.

Cuadro 1. Temperaturas y enfoques de producción presentes en los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021

Departamento	Agroecosistema	Propietario	Área del agroecosistema (ha)	Temperaturas promedio (°C)	Altitud (msnm)	Enfoque de producción
Boaco	Buena Vista	José García	19.03	27 a 30 °C	360	agroecológico
	San Juan	José Benito Sánchez Paz	13	27 a 30 °C	360	convencional
Carazo	El Manantial	Evelio Sandino	9.8	25 a 27 °C	468	agroecológico
	El Chipote	Miguel Ángel Sandino	9.1	25 a 27 °C	468	convencional
Chinandega	Santa María	Blanca Landeros	2.1	26 a 42 °C	220	agroecológico
	Santa Rosa	Alejandro García	8.4	26 a 42 °C	75	convencional

Cuadro 1. Continuación ...

Departamento	Agroecosistema	Propietario	Área del agroecosistema (ha)	Temperaturas promedio (°C)	Altitud (msnm)	Enfoque de producción
Estelí	Linda Vista	Julio Peralta	39.2	20 a 22 °C	1200	agroecológico
	Milagro de Dios	Sixto Talavera	5.6	20 a 22 °C	1150	convencional
Matagalpa	La Espadilla	Martin Padilla	3.5	24°C	850	agroecológico
	La Vecina/El Charquito	Francisco Padilla y Juan Altamirano	2.3/3.99	24°C	850	convencional

Fuente: Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017a); Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017b) y Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017c).

4.2. Diseño de la investigación

El enfoque de investigación fue mixto por la utilización de variables cualitativas y cuantitativas; el estudio no es experimental, es exploratorio, descriptivo y explicativo, esto se determinó en base a la metodología de Hernández, et al., (2004).

4.3. Manejo del estudio y metodología

4.3.1 Rubro principal

Se determinó de forma visual el rubro con mayor relevancia o rubro principal del agroecosistema, según la necesidad de cada productor y las características que lo llevan a la decisión de mantener un rubro específico con más atención dentro del agroecosistema.

Cuadro 2. Rubros principales en los agroecosistemas de los departamentos Boaco, Carazo, Estelí, Chinandega y Matagalpa; durante el periodo 2015-2021

Departamento	Municipio	Agroecosistema	Rubro principal	Enfoque de producción
Boaco	Boaco	Buena Vista	ganadería	agroecológico
	Boaco	San Juan	ganadería	convencional
Carazo	Diriamba	El Chipote	granos básicos	agroecológico
	Diriamba	El Manantial	granos básicos	convencional
Chinandega	Chinandega	Santa María	granos básicos	agroecológico
	Chinandega	Santa Rosa	granos básicos	convencional
Estelí	Condega	Linda Vista	café	agroecológico
	Condega	Milagro De Dios	café	convencional
Matagalpa	San Ramón	La Espadilla	café	agroecológico
	San Ramón	La Vecina/El Charquito	café	convencional

4.3.2 Enfoque de manejo

El enfoque de los agroecosistemas se determinó en base a las principales prácticas de producción que los productores realizan en sus agroecosistemas su visión, acciones para producir, actividades y la influencia de agroquímicos.

Enfoque agroecológico

El enfoque agroecológico se especifica en la producción con prácticas relacionadas a la agroecología que permitan una producción sana con la menor utilización de productos sintéticos. Dentro de este enfoque se hace uso de productos derivados del mismo agroecosistema como el reciclaje de nutrientes utilizando material vegetal o estiércoles, la producción de plaguicidas utilizando sustancias de las plantas entre otras.

Enfoque convencional

El enfoque convencional dentro de un agroecosistema está íntimamente relacionado al uso de tecnologías que permitan un incremento en la producción, de esto se hace mención al uso de agroquímicos.

4.3.3 Suelo

En base al mapa de los suelos de Nicaragua desarrollado por MAG, MARENA, UNA, INAFOR, INETER (2015), se determinó el tipo de suelo de cada agroecosistema y utilizando resultados de análisis de suelo del Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria, (UNA).

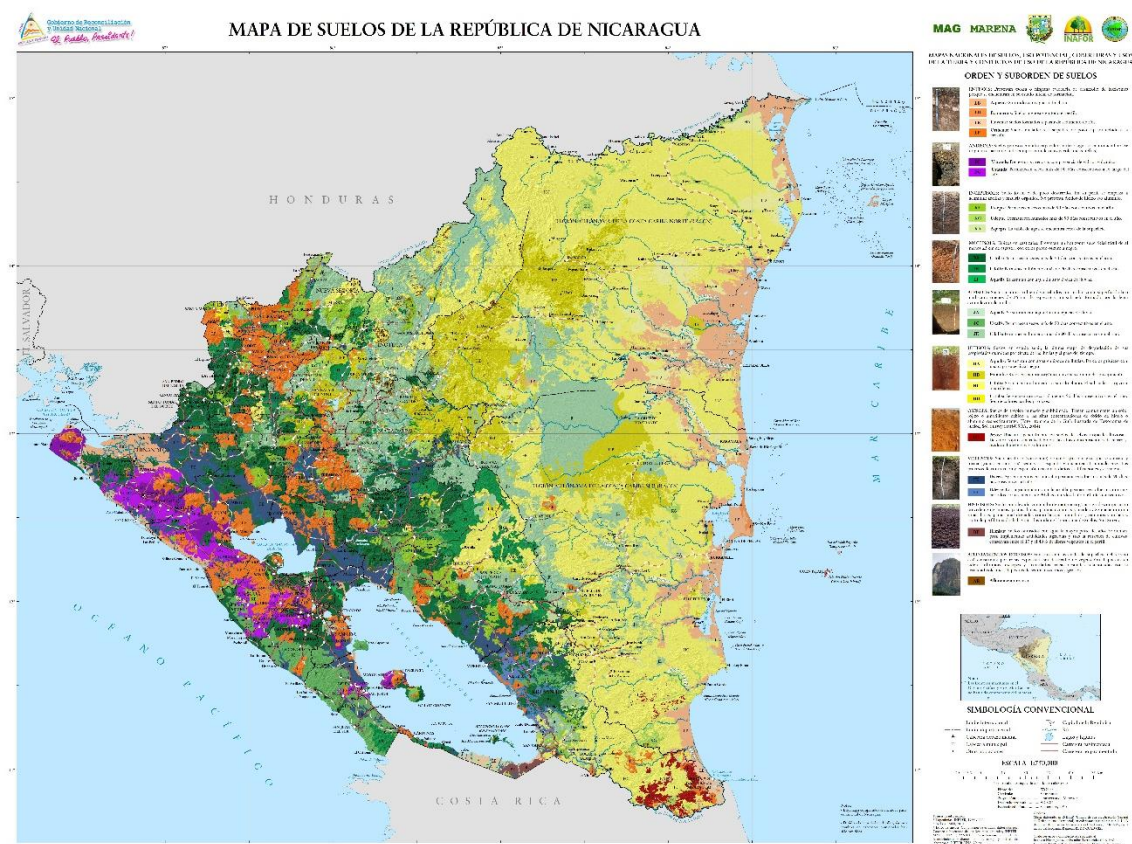


Figura 2. Mapa de los suelos de la República de Nicaragua- órdenes y sub-órdenes de suelo, MAG, MARENA, UNA, INAFOR, INETER (2015).

4.4. Datos evaluados

4.4.1 Recolección de muestras de suelo

Se realizó una visita a cada agroecosistema para un muestreo aleatorio de suelo, se extrajeron las muestras de suelo a 20 centímetros de profundidad en cada agroecosistema; tomando en cuenta lo establecido por Mendoza y Espinoza (2017) el estándar de muestreo usado en el país es de 0 a 20 cm, porque la mayoría de las plantas tiene su mayor densidad radicular en este segmento del suelo. En total se obtuvieron 250 muestras compuestas (anexo 1); las muestras compuestas son el resultado de varias extracciones o muestras simples por subsistema. Las muestras fueron almacenadas en recipientes plásticos cada una con un código específico (cuadro 3). Las muestras simples obtenidas por subsistema fueron 30 a partir de diluciones.

Cuadro 3. Codificación de las muestras según el agroecosistema y las localidades de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021

Agroecosistema	Localidad	Código
San Juan	Boaco	BOSJ
Buena vista		BOBV
El Chipote	Diriamba	DFA
El Manantial		DFC
Santa María	Chinandega	CHFA
Santa Rosa		CHFC
Linda Vista	Condega	COLV
El Milagro de Dios		COMD
La Vecina/el charquito	San Ramón	SRLV
La Espadilla		SRLE

4.4.2 Análisis de laboratorio

El análisis de muestras de suelo de este estudio se realizó en el laboratorio microbiológico de suelo de la UNA (anexo 2) con la metodología establecida por Gutiérrez (2012) en “técnicas de laboratorio” para la determinación de presencia de hongos, bacterias y actinomicetos con medios de cultivos (anexo 3).

Cuadro 4. Metodología de análisis microbiológico de suelos en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021

Microorganismos	Medio 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)

Fuente: Rodríguez (2014).

4.5. Análisis de los datos

Los resultados del Laboratorio de Microbiología de la UNA muestran la presencia de hongos, bacterias y actinomicetos, se usaron para la elaboración de la base de datos que fue desarrollada el software Microsoft Excel v19.0, año 2019; se ordenaron los resultados tomando en cuenta los parámetros: año, mes, departamento, municipio, comunidad, productor, enfoque, finca, uso de la tierra, bloque, número, código, tipo, dilución, género, UFC/gramos de suelo.

Con el programa estadístico Infostat versión estudiantil (español) año 2018 se generaron las tablas de contingencia con los datos ya categorizados para obtener frecuencia acumulada y frecuencia relativa.

V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

5.1 Presencia de microorganismos según enfoque de producción

Los agroecosistemas con enfoque convencional presentaron una frecuencia absoluta acumulada (F_i) representativa de 1 430, siendo mayor al manejo agroecológico; este último presentó un total de 1 281, como resultado de la suma de frecuencias absolutas (f_i) o el número de veces que se encontraron hongos, bacterias y actinomicetos. Las frecuencias relativas (h_i) fueron 0.53 en agroecosistemas con enfoques de manejo convencional y 0.47 en agroecosistemas con enfoque de manejo agroecológico (cuadro 5).

El enfoque convencional, no estaba constituido por la aplicación exclusiva del uso de agroquímicos, presentaban un enfoque mixto donde utilizaban abonos orgánicos como el compost. En mayor proporción prevalecía la aplicación de fertilizantes sintéticos. Esta realidad propició la presencia de microorganismos en agroecosistemas convencionales. En la mayoría de los casos en ambos enfoques utilizaron controladores biológicos para el manejo de organismos que causan afectaciones en los sistemas de producción.

Cuadro 5. Resultado de distribución de frecuencia para la presencia de microorganismos según enfoque de producción agroecológico y convencional

Enfoque de producción	Frecuencia de los microorganismos encontrados	
	F_i	h_i
Agroecológico	1281	0,47
Convencional	1430	0,53

F_i : Frecuencia acumulada, h_i : frecuencia relativa

El enfoque agroecológico presenta un sistema donde las prácticas están interrelacionadas y no es exclusivo el uso de agroquímicos. Los productores suelen utilizar estos productos sintéticos cuando la afectación de una plaga o enfermedad supera el umbral de daño económico.

Cuadro 6. Resultado de distribución de frecuencia para la presencia y tipología de microorganismos en los agroecosistemas estudiados

Tipología de microorganismos	Frecuencia de presencia de microorganismos	
	Fi	hi
Actinomicetos	581	0, 21
Bacteria	1060	0, 39
Hongo	1070	0, 39

Fi: Frecuencia acumulada, hi: frecuencia relativa

El cuadro 6 muestra la presencia de los principales microorganismos del estudio, siendo los hongos los que registraron mayor presencia en el suelo, por ser de los microorganismos con un hábito de vida característico, tal como afirma, Gonzales (2019) “pueden ser de vida libre o estar unidos con las raíces de las plantas como es el caso de las micorrizas. Pertenecen a este grupo las levaduras y puede haber hongos beneficiosos, así como fitopatógenos” (párr. 3, “Principales microorganismos en el suelo”).

De igual forma las bacterias se consideran el grupo más diverso de microorganismos, en el suelo se multiplica una amplia gama de subgrupos con diversas características.

5.2. Tipología de los microorganismos más importantes observados en los diferentes agroecosistemas

Entre los géneros de hongos encontrados en los suelos de los agroecosistemas destacaron los géneros *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.*, *Paecilomyces sp.* y *Aspergillus sp.* (figura 3).

“Los hongos son un componente vital en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, desempeñan diversas funciones de tipo ecológico y fisiológico; pueden ser mediadores e integradores que contribuyen al desarrollo de las poblaciones vegetales” (Cappello, et al., 2006, p.46).

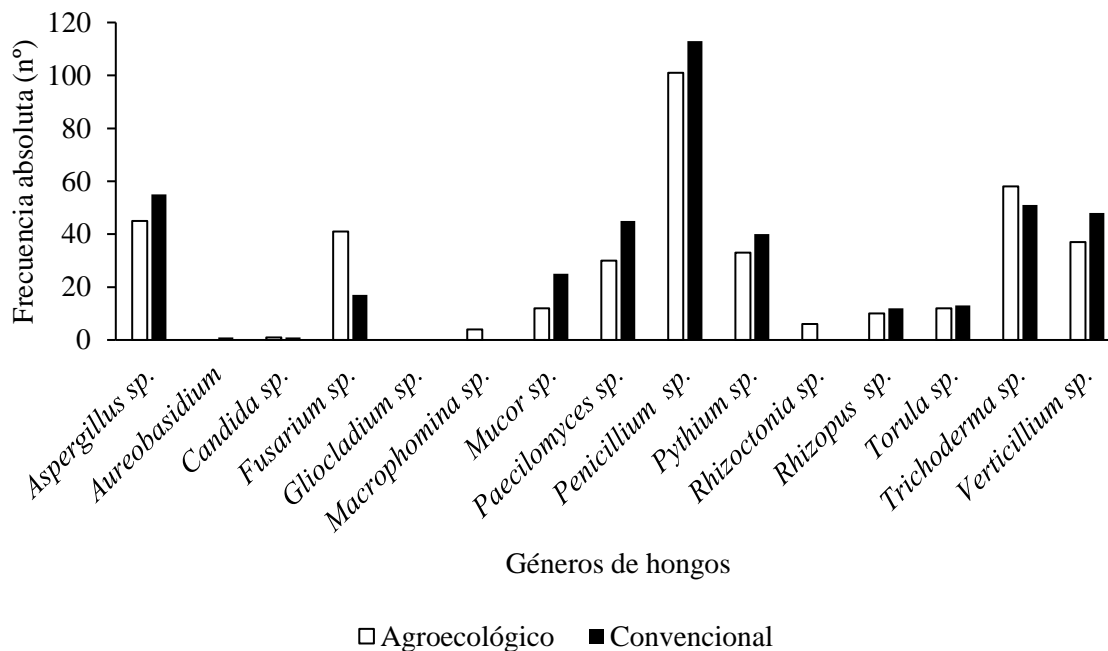


Figura 3. Géneros de hongos de mayor presencia en los agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y convencional de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.

5.2.1 Hongos

Género Penicillium

El género *Penicillium sp.* fue encontrado en 101 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y 103 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional, esto se debe a la alta capacidad de este microorganismo de desarrollarse en casi cualquier tipo de suelo. *Penicillium sp.* se encuentra entre los géneros de hongos más comunes en una amplia gama de hábitats, incluidos ambientes extremos con alta salinidad (Gonçalves et al., 2019 p. 3014) esto justifica la presencia de *Penicillium sp.* en la mayoría de agroecosistemas con manejo convencional, donde el uso de agroquímicos y fertilizantes es evidente, a su vez crea una mayor adaptabilidad y resistencia por parte del microorganismo. *Penicillium sp.* tiene una gran importancia ecológica, protegen las plantas al producir sustancias antimicrobianas, este y otras especies de hongos segregan restos orgánicos que promueven el crecimiento de las plantas (Santillán et al., 2018, p.4). *Penicillium sp.* se encontró en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa (figura 3).

Género *Aspergillus*

El género *Aspergillus sp.* fue encontrado en 45 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y en 55 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional, al tener la capacidad de desarrollarse casi en cualquier tipo de suelo o sustrato, de igual forma tiene la capacidad de colonizar alimentos y restos de cosecha dentro de los agroecosistemas, tal como lo señala Piontelli (2008), quien afirma que *Aspergillus* se considera entre los organismos de más amplia distribución cosmopolita, capaces de colonizar una gran variedad de sustratos en los diferentes nichos ecológicos del suelo; en general, son frecuentes en climas tropicales y subtropicales, pero disminuyen en los climas fríos, mientras algunas especies son restringidas a hábitat específico. Se consideran contaminantes comunes de varios sustratos, en especial alimentos, granos, suelos (salinos, cultivados, desérticos y de pastoreo) (...) (p. 49).

Género *Trichoderma*

El género *Trichoderma sp.* fue encontrado en 58 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y en 55 muestras de enfoque de producción convencional en los departamentos estudiados, este hongo es muy habitual como controlador biológico, por dicha razón se encontró en sistemas de producción con enfoque agroecológico, sin embargo, este posee una alta capacidad para reproducirse y desarrollarse en diferentes hábitats tal como lo afirma.

Valdés (2014), el hongo del género *Trichoderma sp.*:

Es un tipo de hongo anaerobio facultativo que se encuentra de manera natural en un número importante de suelos agrícolas y otros tipos de medios. *Trichoderma* tiene diversas ventajas como agente de control biológico. Lleva a cabo la toma de nutrientes de los hongos (a los cuales degrada) y de materiales orgánicos ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostaje lo favorecen; requiere de humedad para poder germinar, su velocidad de crecimiento es bastante alta, por esto es capaz de establecerse en el suelo y controlar enfermedades (Pazmiño, 2020, p.11).

Género *Verticillium*

El género *Verticillium sp.* fue encontrado en 37 muestras de agroecosistemas con enfoques de producción agroecológico y en 48 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional al ser utilizado en agroecosistemas cafetaleros como un controlador biológico de la roya del café tal como afirma Canjura et al., quienes expresan que el hongo *Verticillium sp.* es uno de los hiperparásitos más comunes de roya del café (*Hemileia vastratix*), se presenta en los cafetales en forma natural y podría ser un buen candidato para el control biológico de la roya (2000, p.7). sin embargo, este hongo (...) se encuentra frecuentemente atacando áfidos y escamas en zonas tropicales y subtropicales. Ha sido encontrado sobre insectos del orden Coleoptera, Diptera, Hymenoptera y sobre ácaros. Los insectos infectados por este hongo tienen una apariencia blanquecina (Jiménez, 2008, p.75).

Género *Paecilomyces*

El género *Paecilomyces sp.* fue encontrado en 30 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y en 45muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional siendo utilizado como controlador de nematodos de café, este es producido y comercializado por casas distribuidoras de insumos agropecuarios para el servicio de los productores como controlador biológico por poseer una amplia capacidad para parasitar nematodos e insectos plaga tal como afirma Suárez y Peña, 2015 quienes afirman que el hongo *Paecilomyces* es un entomopatógeno que causa la enfermedad y posterior muerte en nemátodos, por lo tanto, es utilizado como un bionematicida” (p.183). Monzón entre otros, describen a este hongo con la habilidad de sobrevivir en materia orgánica en el suelo y siempre estar presente en el campo principalmente en zonas húmedas y donde la presencia de bastante plaga (2009, p. 4).

5.2.2. Bacterias encontradas en los agroecosistemas estudiados

Entre los géneros de bacterias de mayor importancia encontrados en los agroecosistemas se encuentra *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Sarcina sp.* (figura 4). Los géneros *Bacillus sp.* y *Pseudomonas sp.* poseen características encaminadas al control biológico y son de los más utilizados con este propósito por lo que su presencia tiende a favorecer e inhibir frente a otros géneros de bacterias fitopatógenas, sin dejar de mencionar *Sarcina sp.* que tiene influencia positiva en los agroecosistemas y sus enfoques en dependencia de su objetivo.

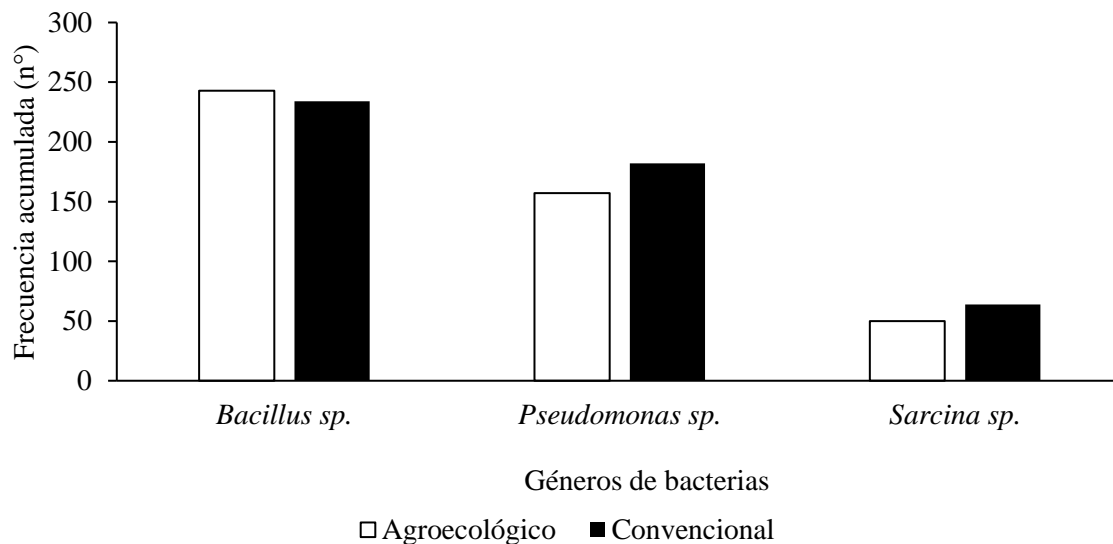


Figura 4 . Géneros de bacterias de mayor presencia en los agroecosistemas con enfoque producción agroecológico y convencional en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.

Género *Bacillus*

El género *Bacillus sp.* fue encontrado en 243 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y 234 muestras de los agroecosistemas con enfoque de producción convencional, a pesar de que esta bacteria no es utilizada por los productores para el control de microorganismo se encontró una gran proliferación de esta por su alta capacidad para desarrollarse en el suelo tal y como expresa.

Orberá et al., (2005) quien afirma que *Bacillus*:

es uno de los géneros más comunes de bacterias de vida libre presentes en el suelo. En este hábitat, se ubica desde las capas más superficiales hasta las más profundas y se encuentra colonizando la rizósfera de las plantas. Estas bacterias han demostrado tener una amplia distribución en todas las regiones geográficas del planeta, alcanzando alrededor del 24% del total de bacterias aisladas en el suelo. 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 (p.189).

Género *Pseudomonas*

El género *Pseudomonas sp.* fue encontrado en 157 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y en 182 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional principalmente en agroecosistemas con café como cultivo principal, se desarrolla en las raíces de las plantas (rizosfera) siendo el sistema agroforestal (SAF) de café un sistema que favorece su desarrollo, ante esto Mayz y Manzi, agregan que el género *Pseudomonas* es el grupo más heterogéneo y ecológicamente importante debido a que sus requerimientos nutricionales son muy simples, tienden a ser predominantes entre las bacterias asociadas a la rizosfera de las plantas se encuentran prácticamente en todos los hábitats naturales (2017, p, 30). Orberá et al., afirman que no desarrollan esporas y que por sus características genéticas pueden adaptarse y colonizar diferentes tipos de suelos (2005, p, 2). Este género de bacterias fue encontrado en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa.

Género *Sarcina*

Las bacterias del género *Sarcina sp.* fueron encontradas en 50 muestras de los agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y en 64 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional, *Sarcina sp.* se encontró principalmente en agroecosistemas con presencia de ganado, estas bacterias favorece la digestión del ganado bovino, ante esto, 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 (Rodríguez 2014, p. 36, párr. 1).

La presencia de bacterias desempeña un papel muy importante en los suelos; así como lo declara (Alexander, 1980) “las poblaciones de bacterias en el suelo no se distribuyen al azar. Factores como la composición de los suelos, la materia orgánica, el pH, el agua y la disponibilidad de oxígeno junto con la planta huésped, desempeñan un papel importante” (Calvo y Zúñiga 2010, p. 1).

5.2.3. Actinomiceto encontrado en los agroecosistemas estudiados

Género *Streptomyces*

El género *Streptomyces sp.* fue encontrado en 96 muestras de agroecosistemas con enfoques de producción agroecológico y en 93 muestras de agroecosistemas con enfoque de producción convencional en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa (figura 5).

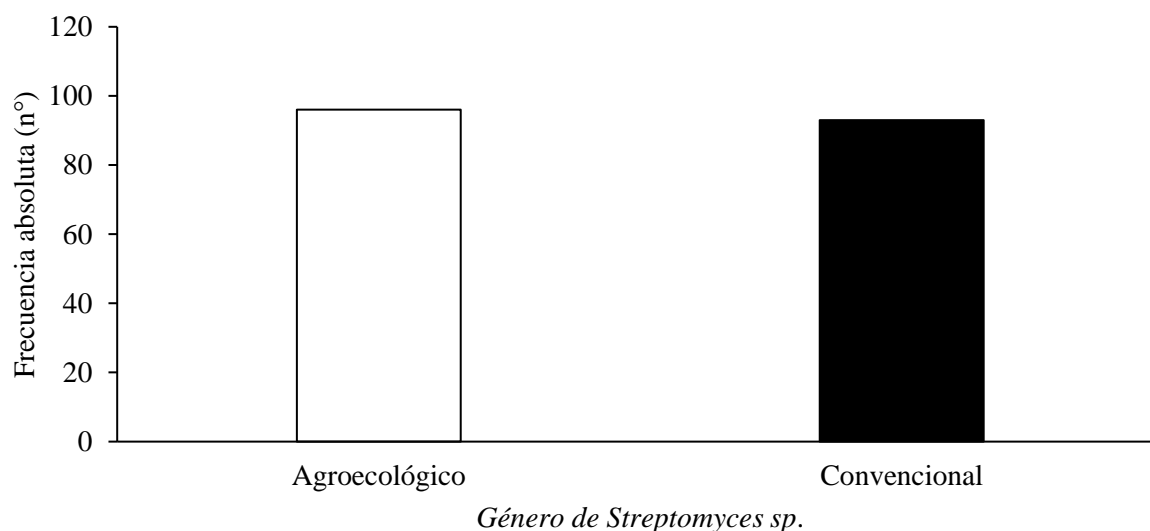


Figura 5. Presencia de *Streptomyces sp.* en los agroecosistemas con enfoque de producción agroecológico y convencional en los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021.

El único género de actinomicetos encontrado en los agroecosistemas es *Streptomyces sp.* (figura 5) el número de este género de actinomicetos es mayor en suelo con abundante materia orgánica y poseen una gran capacidad de proliferación así lo definen Albarracín et al. (2005) Entre los microorganismos del suelo, los actinomicetos son uno de los grupos más abundantes (90%), mostrando actividad biodegradativa al secretar un amplio rango de enzimas que les permiten metabolizar moléculas recalcitrantes (Cardona, et al., 2009, Párr. 3).

Los agroecosistemas que dieron como resultado la presencia de este género podría obtener en sus plantas la capacidad de regular metabolismos mediante la producción de reguladores de crecimiento, potenciar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y reducir el estrés ambiental.

López, et al., (2020) expresan que:

Streptomycetes son habitantes naturales del suelo, que conforman un grupo heterogéneo de microorganismos unicelulares; producen la sustancia geosmin, responsable de la fragancia terrosa después de las lluvias; contienen una amplia variedad de metabolitos secundarios que poseen antibacterianos, antifúngicos y antivirales, entre otros: ellos juegan un papel importante en la mineralización en los procesos del suelo (p.15).

En aspectos generales todos los microorganismos de suelo son componentes y pioneros de procesos importantes y su presencia pone a disposición nutrientes para el desarrollo vegetal, así lo estableció Cervantes (2015) “Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para la planta, o una población microbiana que libere nutrientes que permitan un buen desarrollo vegetal” (párr. 3. Importancia de los microorganismos)

Ferrera, R., y Alarcón A (2001) afirman que:

La importancia de la actividad de los microorganismos en los diferentes aspectos denota la fertilidad de un suelo y la sostenibilidad de ecosistemas y agroecosistemas (...). El conocimiento de la actividad fisiológica de los microorganismos del suelo ha permitido seleccionar aquellos con potencial de uso en la agricultura. De esta manera, el hombre ha utilizado bacterias y hongos que propician mejor crecimiento y desarrollo de las plantas en los agroecosistemas donde se aplican (p. 181).

Cada microorganismo cumple funciones específicas y por esto conocer sobre los microorganismos presentes, sus hábitos alimenticios y sus principales funciones es necesario para una buena gestión y uso de suelos.

Causa (2016) afirma que:

El suelo es una de las reservas más importantes de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en su superficie y al interior de este; la abundancia es tal, que se cree, supera la establecida por encima de este cuerpo natural. vale subrayar, que los servicios ecosistémicos que presta el suelo dependen de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio (p. 120).

5.3. Taxonomía microbiológica y su relación con la taxonomía de suelo

Tipológicamente los géneros de microorganismos que más destacaron de los 10 agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa con ambos enfoques de producción (agroecológico y convencional) y con suelos entisols, andisols, alfisols y mollisols fueron hongos *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.* y *Mucor sp.*, y bacterias del género *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Sarcina sp.*

Actinomicetos del género *Streptomyces sp.* fue encontrado en los agroecosistemas de los departamentos Boaco Chinandega, Estelí y Matagalpa con suelos Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols.

En diferentes órdenes de suelo hay géneros de microorganismos que se adaptan a las condiciones y sí poseen influencia positiva en los sistemas de producción son los que se debería priorizar, el género de bacterias con mayor presencia en todos los tipos de suelo y ambos enfoques de producción (agroecológico y convencional) fue *Bacillus sp.* (cuadro 7)

Los microorganismos en los diferentes tipos de suelo cumplen diversas funciones de gran importancia e indispensables, así como lo expresa Giménez (2019) los microorganismos desempeñan un papel esencial en numerosos procesos edáficos y contribuyen al mantenimiento de la fertilidad química, física y biológica del suelo, transformando determinados nutrientes inorgánicos que no pueden ser absorbidos por la planta.

Existen géneros de microorganismos que se adaptan a diferentes taxonomías de suelo. Se deben de priorizar los que poseen influencia positiva en los sistemas de producción, los microorganismos del suelo, aunque de manera lenta, son capaces de adaptarse mediante diferentes mecanismos y participar así en algunos procesos como recuperación y rehabilitación de suelos, reducción de residuos peligrosos, control de plagas y enfermedades.

Cuadro 7. Relación taxonómica de suelos y microorganismos en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021

Tipología de microorganismos	Géneros	Departamento	Taxonomía del suelo
Hongos	<i>Aspergillus sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols Alfisols, Mollisols
	<i>Fusarium sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols Alfisols, Mollisols
	<i>Mucor sp.</i>	Boaco, Carazo Chinandega, Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols Alfisols y Mollisols
	<i>Paecilomyces sp.</i>	Boaco, Carazo y Matagalpa	Entisols, Alfisols y Mollisols
	<i>Penicillium sp.</i>	Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols y Alfisols
	<i>Pythium sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega y Matagalpa	Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols
	<i>Rhizopus sp.</i>	Boaco, Chinandega, Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Alfisols y Mollizols
	<i>Torula sp.</i>	Boaco y Matagalpa	Alfisols y Mollisols
	<i>Trichoderma sp.</i>	Chinandega y Matagalpa	Andisols y Alfisols
	<i>Verticillium sp.</i>	Carazo y Chinandega	Andisols y Entisols

Cuadro 7. Continuación ...

Tipología de microorganismos	Géneros	Departamento	Taxonomía del suelo
Bacterias	<i>Bacillus sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols
	<i>Pseudomonas sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols
	<i>Sarcina sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	Entisols, Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols
Actinomicetos	<i>Streptomyces sp.</i>	Boaco Chinandega, Estelí y Matagalpa	Andisols, Entisols, Alfisols y Mollisols

5.4 Funcionalidad de los microorganismos presentes en los agroecosistemas

Al diferenciar grupos funcionales de microorganismos se observó a 10 géneros de mayor importancia, cuatro de ellos con funcionalidad negativa como lo son *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.* y *Pythium sp.*; y seis con funcionalidad positiva; *Paecilomyces sp.*, *Penicillium sp.*, de tipología bacteria los géneros *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.* y tipología actinomiceto al género *Streptomyces* (cuadro 8).

Cuadro 8. Funcionalidad microbiológica de los principales géneros encontrados en los agroecosistemas de los departamentos: Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa, 2015-2021

Tipología de microorganismos	Géneros	Departamento	Funcionalidad (+) (-)
Hongos	<i>Aspergillus sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	-
	<i>Fusarium sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	-
	<i>Mucor sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	-
	<i>Paecilomyces sp.</i>	Carazo, Matagalpa y Boaco	+
	<i>Penicillium sp.</i>	Estelí, Chinandega, Carazo y Matagalpa	+
	<i>Pythium sp.</i>	Chinandega, Carazo Matagalpa y Boaco	-

Cuadro 8. Continuación ...

Tipología de microorganismos	Géneros	Departamento	Funcionalidad (+) (-)
Bacterias	<i>Bacillus sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega Estelí y Matagalpa	+
	<i>Pseudomonas sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	+
	<i>Sarcina sp.</i>	Boaco, Carazo, Chinandega, Estelí y Matagalpa	+
Actinomiceto	<i>Streptomyces sp.</i>	Boaco Chinandega, Estelí y Matagalpa	+

El sistema convencional alcanzó mayor presencia microbiológica de los géneros de influencia negativa *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.* y *Pythium sp.*; dos géneros de hongos con influencia positiva (*Paecilomyces sp.* y *Penicillium sp.*) por encima de los resultados del enfoque agroecológico.

El enfoque agroecológico en cambio posee dos de los microorganismos de mayor importancia con funcionalidad positiva y con mayores incidencias en las estructuras de los sistemas de producción, el primero con tipología bacteria y del género *Bacillus sp.*, el segundo con tipología actinomiceto y siendo el único género encontrado en todo el estudio; *Streptomyces sp.* (cuadro 8).

La funcionalidad de los microorganismos aporta a la sostenibilidad de los agroecosistemas, favorecen significativamente a la descomposición de material vegetal donde se hospedan y se reproducen, Los microorganismos según por su hábito de vida, participan en diferentes procesos y cumplen diferentes funciones que favorecen a la nutrición vegetal, a manera general la importancia de las interacciones planta-microorganismos en la estructura de los sistemas de producción es ampliamente reconocida y dicha asociación es esencial para el crecimiento de cualquier especie vegetal (Bashan et al., 2015).

En el cuadro 6 se muestra la funcionalidad de los géneros de microorganismos con mayor presencia en los agroecosistemas y sus enfoques de producción, las funcionalidades positivas y negativas fueron clasificadas en dependencia de los rubros principales en los agroecosistemas.

VI. CONCLUSIONES

La presencia de microorganismos y su tipología destacaron los géneros de hongos *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.* y *Paecilomyces sp.* Las bacterias observadas fueron *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Sarcina sp.*; y actinomicetos con el género *Streptomyces sp.*, todos estos encontrados en las cinco localidades y en ambos enfoques de producción. El enfoque convencional presentó mayor número de microorganismos en comparación al enfoque agroecológico.

La relación de la taxonomía microbiológica con la taxonomía de suelo permitió observar a los géneros *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.*; *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.*, *Pythium sp.*, *Rizhopus sp.* y *Streptomyces sp.* presentes en los órdenes de suelos Entisols, Andisols, Alfisols, Mollisols. El género *Paecilomyces sp.* se encontró en suelos Entisols, Alfisols y Mollisols. *Penicillium sp.* en suelos Entisols, Andisols, Alfisols y a *Trichoderma sp.* en suelos Andisol, Alfisol; *Verticillium sp.* en Andisoles, Entisoles, al género *Torula sp.* en suelo alfisol y molisol.

Se determinaron 10 géneros de mayor importancia ubicados en grupos funcionales de microorganismos; cuatro de ellos con funcionalidad negativa: *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Mucor sp.* y *Pythium sp.* Se observaron seis con funcionalidad positiva: géneros *Paecilomyces sp.*, *Penicillium sp.*, de tipología bacteria los géneros *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Sarcina sp.* y tipología actinomiceto al género *Streptomyces sp.*

VII. RECOMENDACIONES

Considerar los análisis microbiológicos de suelo para gestionar el manejo de los agroecosistemas sin excepción de su enfoque de producción.

Evaluar funcionalidad de los grupos microbiológicos presentes en los suelos de los agroecosistemas y planear las diferentes actividades en base a dicha evaluación.

Potenciar la efectividad de los microorganismos presentes en los suelos con funcionalidad positiva creando las condiciones necesarias para su proliferación.

Promover prácticas que permitan el desarrollo de microorganismos con influencia positiva para sistemas de producción.

Desarrollar prácticas con enfoques agroecológico para obtener presencia de microorganismos encaminados al control biológico.

VIII. LITERATURA CITADA

- Altieri M. (1999). *Agroecología, bases científicas de la agricultura sostenible*.
<http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Aquihualtl Ramos, M. (2017). *Ecología Microbiana*.
<http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/ecomicrob.pdf>
- Artola, I. (1998). *Actualización del levantamiento de suelos y capacidad de uso de la tierra zona de amortiguamiento en el municipio de el castillo Rio San Juan* [Tesis de grado; Universidad Nacional Agraria] Repositorio UN.
<https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp32a792.pdf>
- Bashan, Y., Puente, E., Salazar, B., De-Bashan, L., Bacilio, M., Hernández, J., Leyva, L., Romero, B., Villalpando, R. & Bethlenfalvay, G. (2015). Reforestación de tierras erosionadas en el desierto: el papel de las bacterias promotoras de crecimiento en plantas y la materia orgánica. *Suelos Ecuatoriales* p 70.
- Betancourt, L., y Calderón, M. (2013). *Evaluación del estado actual de los suelos en Villanueva y Chinandega, en base a sus características físicas y químicas. En el periodo comprendido entre Junio del 2012- Julio 2013* [Tesis de grado; Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua] Repositorio UN.
<https://repositorio.unan.edu.ni/5229/1/6065.pdf>
- Caldas, M. 2013. Entre la agricultura convencional y la agroecología. El caso de las prácticas de manejo en los sistemas de producción campesina en el municipio de Silvania Pontificia Universidad Javeriana
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12482>
- Calvo y Vélez, P., Meneses, L. R., y Zúñiga-Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa (*Solanumtuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1, 2), 141-148.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a17v7n1-2.pdf>
- Calvo, P y Zúñiga, D. (2010). CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA DE CEPAS de *Bacillus* spp. AISLADAS DE LA RIZÓSFERA DE PAPA (*Solanum tuberosum*). *Ecología aplicada*. 9(1), 31-39. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v9n1/a04v9n1>

- Canjura, E., Sánchez, V., Krauss U, y Somarriba, E. (2002). Reproducción masiva de *Verticillium sp.*, hiperparásito de la roya del café, *Hemileiavastatrix*. *Articulos*. 1(66) 13 - 19. <http://www.sidalc.net/repdoc/A2009e/A2009e.pdf>
- Cano, A. (2011). *Interacción de microorganismos benéficos en plantas. Micorrizas, Trichoderma sp. y Pseudomonas sp.* SciELO, 14(2), 15-31. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262011000200003&script=sci_abstract&tIng=es
- Cappello, S., López E., y Sánchez, V. (agosto, 2006). Educación ambiental para conocimiento y uso de hongos en una comunidad chontal. Olcuatitán, Nacajuca. Tabasco. *Educación ambiental*. 5(2), 44-54 <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5305208.pdf>
- Cardona, G., Peña, C., Venegas, y García, M. (2009). *Comunidades de hongos actinomicetos en tres tipos de vegetación de la Amazonia colombiana: abundancia, morfotipos y el gen 16s ADNr.* *Revista de biología natural*. 57(4). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000400017
- Causa; H. (mayo, 2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 117-124. DOI: <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Ceccon, E. (Julio- septiembre, 2008). La revolución verde, tragedia en dos actos. *Redalyc* 1(91) 21 - 29. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Celdas M. (2013). *Entre la agricultura convencional y la agroecología. El caso de las prácticas de manejo en los sistemas de producción campesina en el municipio de Silvana* [tesis de grado Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio UN. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12482/CaldasMejiaRobertoFelipe2013.pdf?sequence=1>
- Cervantes, A. (2015). Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos. *INFOAGRO*. https://www.infoagro.com/Hortalizas/Microorganismos_Beneficiosos_Cultivos.Htm

- Correa, O. (2013). *Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal*. https://www.researchgate.net/publication/306960003_Los_microorganismos_del_suelo_y_su_rol_indiscutido_en_la_nutricion_vegetal
- Cuevas, J. (septiembre, 2016). Los hongos: héroes y villanos de la prosperidad humana. *Revista digital universitaria*, 17(9), 1-10. <http://www.revista.unam.mx/vol.17/num9/art69/art69.pdf>
- Delgado (2009). *Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal*. Oriusbiotech. https://www.oriusbiotech.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutrici%C3%B3n_vegetal.
- Delgado, M. (2016). *Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal*. <https://portalcamaronero.com/wp-content/uploads/2016/10/Los-microorganismos-del-suelo-en-la-nutrici%C3%B3n-vegetal.pdf>
- Díaz, S., Cotes A., Caro, A., Bustillo, A., Escobar, A., Balbin, A., Díaz, A., Cardona, A., Carabalí A., Vásquez, A., Lohr, A., Oehlschlager, L., Moreno, C., Carlos A., Correal E, González C., Clerck, C., De Hoy, C., Casey W., Narváez, C., León, C., y Martínez, A. (2018). Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33829>
- Ezpeleta, M., y De la Hiera C. (2007). *Las bacterias*. https://iesbaran.educacion.navarra.es/plan_lectura/Las%20bacterias_procesos.pdf
- FAO (2002). Curso Eco-Suelos: *Los secretos de la vida del suelo y su manejo para una agricultura más sostenible*. Métodos de campo. <http://www.fao.org/3/b1060s/b1060s.pdf>
- FAO (2021). *La biodiversidad del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/>
- Ferrera R. y Alarcón, A. (2007). Microbiología agrícola hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Trillas.
- Ferrera, R., y Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia ergo sum*. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10402108.pdf>
- Fracchia, S. (2002). *Hongos saprotrofos del suelo como microorganismos auxiliares de micorrización* [Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca digital. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3430_Fracchia.pdf

- Garassini, L. A. (1967). Microbiología Agraria. Imprenta Universitaria de Caracas.
- Giménez, A. (2019). *Microorganismos los grandes desconocidos de nuestro suelo*. Fertibox. <https://www.fertibox.net/single-post/microbiologia-agricola>
- Gonçalves, M., Santos, L., Silva, B., Abreu, A., Vicente, T., Esteves, A., & Alves, A. (2019). Biodiversity of *Penicillium* species from marine environments in Portugal and description of *Penicillium lusitanum* sp. nov., a novel species isolated from sea water. *Microbiology Society*. 69 (10), 3014–3021. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003535>
- Gonzales, A., (2019). Microorganismos, los grandes desconocidos de nuestro suelo. Fertibox. <https://www.fertibox.net/single-post/microbiologia-agricola>
- Gutiérrez, Y. 2012. Módulo práctico: Técnicas de laboratorio. Compendio de guías. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 61 p.
- Guzmán, M., Zúñiga, N., Santafé, G., Torres, O y Angulo, A. (Julio- Diciembre, 2009). Actividad antioxidante y estudio químico del hongo pleurotus djamor recolectado en córdoba. *Tierra latinoamericana*, 7(2), 64-69. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a09.pdf>
- Hart, R. (1985). Conceptos básicos sobre agroecología. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/891/Conceptos_basicos_sobre_agroecosistemas.pdf;jsessionid=74601110507CF9264663C279C0FAEF72?sequence=1
- Heredia, Z, y Fernanda, M. (2017). *Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. Repositorio institucional. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6199/1/IAD-2017-049.pdf>
- Hernández, S., Fernández, C, y Baptista, P. (2004). Metodología de la investigación. Ultra, S. A. de C. V., Centeno 162-2, Col. Granjas Esmeralda C.P. 09810, México. D.F
- Hincapié, E, y Tobón, C. (2012). Dinámica del agua en andosoles bajo condiciones de ladera. Scielo. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n2/v65n2a20.pdf>
- Ibanes, J. (2007, marzo 27). *Funciones de los microorganismos del suelo: La biota edáfica*. Blogs Madrid. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/25/62254>

- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2005). *Clasificación climática Koppen*. <https://webserver2.ineter.gob.ni/mapas/Nicaragua/clima/atlas/index.html>
- Jiménez E. (2008). *Manejo integrado de plagas*. <https://cenida.una.edu.ni/textos/nh10j61m.pdf>
- López, R., Álvarez, A., León, D., Taylor, V., Guiral, D., Cifuentes, E., Pavas, L, y Acevedo, S. (2020). *La investigación con Streptomyces spp. como herramienta para el estudio de los microorganismos del suelo*. Universidad Libre Pereira. ISBN: 978-958-8859-62-0
- MAG, MARENA, UNA, INAFOR, INETER. (2015). Mapa de suelos de la República de Nicaragua. (H. R. Rodríguez González, Ed.) Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/egre9anqo2cj/atlas-de-nicaragua/>
- Matamoros, A. (2017). *Análisis de sistemas de producción agrícola con enfoque agroecológico, en siete municipios de Carazo, Nicaragua, 2014-2016* [Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria]. Repositorio UN. <https://repositorio.una.edu.ni/3771/1/tne90m425.pdf>
- Mayz, J, y Manzi L. (junio, 2017). Bacterias hidrocarburoclásticas del género Pseudomonas en la rizosfera de Samaneasaman (Jacq.) Merr. *Revista colombiana de biotecnología*. 19(1) DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.57408>
- Mendoza, R., y Espinoza, A. (2017) Guía técnica para muestreo de suelo. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS)
- Monzón, A., Herrera, I., Méndez, E. (2009) *Uso y manejo de Paecilomyces lilacinus para el control de nematodos*. <https://funica.org.ni/index/biblioteca/resultados-de-investigacion/category/87Cafe.html?download=447:Guia%20Uso%20y%20manejo%20paecilomyces%20ES>
- Moreno, R., Ibáñez, A, y Gisbert, J. (2011) Andisoles. Universidad Politecnica de valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13676/Andisoles.pdf>
- Navarro, O. (2013). *Micología veterinaria*. <https://repositorio.una.edu.ni/2470/1/nl73n322.pdf>
- Olías, M., y Galván, L. (2008). Geología de Huelva. <http://hdl.handle.net/10272/7494>

- Orberá, T., Pérez, I., Salas, D., Cortés, N, y Gonzáles, Z. (2005). Aislamiento de cepas del género *Bacillus*. Con potencialidades para la bioprotección y la estimulación del crecimiento vegetal. *Revista Cubana de Química*. 17(1) 189-195. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543685078.pdf>
- Osorio, N. (2009). *Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3
- Pazmiño, J. (2020). *Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional UTB. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7963/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pelczar, M., Reid, D, y Chan, E, S. (1996). *Microbiología*. McGraw-Hill Interamericana.
- Piontelli, E. (2008). Aportes morfotaxonomicos en el género *Aspergillus link*: claves para las especies ambientales y clínicas más comunes. *Boletín micológico*. 1(23), 49-56. <http://revistas.uv.cl/index.php/Bolmicol/article/download/122/107>
- Quiñones, E., Qui, J., Rincon, G., Evangelista, Z., López, L y Palacios, A. (noviembre 2003). Actinomicetos del suelo para el control biológico para el hongo fitopatógeno *Fusarium Solani*. *Tierra latinoamericana*, 1(3), 271-276. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/309/1/13.%20Qui%20C3%B1onesAguilar%20et%20al.%202013%20%28Fs%20vs%20actinos%29.pdf>
- Reyes, O. (2010). *Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional UN. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/893/1/217579.pdf>
- Rodríguez, H. (2014). *Evaluación agronómica con enfoque agroecológico en un sistema diversificado de guayaba (*Psidiumguajava* L.), nopal (*Opuntia ficus* L.), piña (*Ananascomosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.) utilizando vermicompost, Managua, Nicaragua, 2009-2011*. [Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria]. Repositorio UN. https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04r6_96a.pdf

- Rodríguez, H. (2020). Mapa de suelos de la república de Nicaragua [mapa]. <https://prezi.com/egre9anqo2cj/?preview=1>
- Rodríguez, M., Hernández, P, y Suárez, R. (1987). Sanidad Vegetal. Pueblo y Educación.
- Salazar, A, y Guerrero, C. (2013). *Aislamiento e identificación de actinomicetos fijadores de Nitrógeno en suelo del jardín botánico de la universidad Tecnológica de Pereira*. [Tesis de grado;Universidad Tecnológica de Pereira] Library. <https://1library.co/document/zlgxgory-aislamiento-identificacion-actinomicetos-fijadores-nitrogeno-botanico-universidad-tecnologica.html>
- Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017a). *(Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua)*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017b). *(Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramon y dos en Condega, Nicaragua)*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar, D., García, L., Rodríguez, H., Calero, C., Morales, M., Valverde, L. (2017c). *(Evaluación agroecológica en dos agroecosistemas con ganado bovino en las Lagunas, Boaco, Nicaragua)*. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Santillán, M., Tamariz, C., Olivera P., Briceño V, y Villena L. (2018). Evaluación del potencial biotecnológico de dos cepas de *Penicillium* sp. altoandinos nativos: actividad antimicrobiana, tipos de metabolitos secundarios asociados, e identificación molecular. [Informe final, Universidad Nacional “Santiago Antúnez De Mayolo”. Repositorio UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3683>
- Sarandón, S. (2002). El Agroecosistema: un ecosistema modificado. S. Sarandón., *La agroecología*. (100-130). Ediciones Científicas Americanas
- Soria, M. (agosto, 2016). ¿Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura?. *Química Viva*, 15(2), 3-10. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86347590002.pdf>

Suárez, L. y Peña, W. (2015). *Caracterización molecular mediante ITS del biocontrolador Paecilomyces sp. del banco de cepas de la universidad Francisco de Paula Santander, sede campos elíseos- Los patios.* http://www.ufps.edu.co/ufps/IIsemanainternacional_cyt/media/19_CHARACTERIZACION%20MOLECULAR.pdf

IX. ANEXOS

Anexo 1. Extracción de muestras de suelo, agroecosistemas Matagalpa (Rubro principal: café) Chinandega (Rubro principal: granos básicos) 2020



Anexo 2. Materiales usados en el laboratorio de microbiología de suelo y vista panorámica de laboratorio 2020



Anexo 3. Imágenes referenciales con medios de cultivo para determinación de presencia de microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos) 2020

