

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Efecto de prácticas agroecológicas en la microbiota del suelo en la
Finca Agroecológica de Zamorano

Estudiante

Jader Gómez Tamayo

Asesores

Carolina Avellaneda Barbosa, Ph.D.

Josué Anibal León Carbajal, Mtr.

Jose Fernando Tercero, M.Sc.

Honduras, agosto de 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidente y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Metodología	12
Ubicación del Sitio de Estudio	12
Elección de Tratamientos	12
Caracterización Físico Química de los Tratamientos	13
Toma de Muestras de Suelo	14
Identificación de Microorganismos	15
Identificación de Hongos Filamentosos	16
Identificación de Bacterias	17
Tinción de Gram	17
Diseño experimental	18
Análisis Estadístico	18
Resultados y Discusión	19
Caracterización del Suelo	19
Caracterización del Material de Cobertura	19
Identificación de Bacterias	20
Cuantificación de Bacterias	21
Identificación de Hongos	24
Cuantificación de Hongos	25

Conclusiones30

Recomendaciones31

Referencias.....32

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de los tratamientos del estudio	13
Cuadro 2 Caracterización de suelo por textura y contenido de materia orgánica para cada tratamiento	19
Cuadro 3 Caracterización de materia seca incorporada por tratamiento en t/ha.....	20
Cuadro 5 Análisis de varianza para bacterias.....	22
Cuadro 6 Prueba Duncan en bacterias por tratamiento.....	23
Cuadro 7 Prueba Duncan en bacterias por profundidad	24
Cuadro 8 Análisis de varianza en poblaciones de hongos.....	27
Cuadro 9 Prueba Duncan para hongos por tratamiento.....	28
Cuadro 10 Prueba Duncan en poblaciones de hongos por profundidad.....	29

Índice de Figuras

Figura 1 Finca Agroecológica de Zamorano	12
Figura 2 Bacterias identificadas en los diferentes tratamientos en profundidades de 0 - 15 cm y 16 - 30 cm A: Bacillus spp, B: Spirillum spp, C: Cocobacilos	21
Figura 3 Recuento bacteriano de los diferentes tratamientos en diluciones de 10^6 , 10^7 , 10^8 y 10^{10} a profundidad de 0 – 15 cm y 16 – 30 cm.	22
Figura 4 Hongos identificados en los diferentes tratamientos A: Penicillium spp, B: Aspergillus spp, C: Trichoderma spp, D: Cladosporium spp.	25

Resumen

El suelo es un organismo vivo, ya que en él existe gran cantidad de microorganismos que tras su actividad favorecen a su formación y fertilidad. Por tal motivo, se está promoviendo la implementación de prácticas productivas amigables por medio de las cuales se beneficie la conservación y desarrollo de la actividad microbiana. El objetivo del presente estudio se basó en cuantificar e identificar las comunidades de bacterias y hongos tras la ejecución de prácticas agroecológicas en la Finca Agroecológica de Zamorano. El estudio se llevó a cabo aplicando cinco tratamientos, dentro de los cuales están la incorporación de abono verde al suelo, terreno en barbecho, agricultura convencional y un tratamiento control que es suelo de bosque. Se realizó un muestreo a dos profundidades de cada uno de los suelos, se prepararon medios de cultivo sintéticos para el aislamiento e identificación de bacterias y hongos. Como resultados del estudio se encontró que el control (bosque) presentó las poblaciones más altas tanto en hongos como en bacterias con valores de Log_{10} 5.15 Colonias/g de suelo y Log_{10} 11.53 UFC/ g de suelo, respectivamente. Luego están los tratamientos de agricultura de conservación con concentraciones entre Log_{10} 4.99 Colonias/g de suelo y Log_{10} 5.12 Colonias/g de suelo para hongos y Log_{10} 11.31 UFC/g de suelo y Log_{10} 11.33 UFC/g de suelo para bacterias. El tratamiento de agricultura convencional presentó las poblaciones microbiológicas más bajas con un total de Log_{10} 4.68 Colonias/g de suelo para hongos y Log_{10} 9.10 UFC/g de suelo para bacterias. Luego de realizar la cuantificación de microorganismos en los tratamientos, se comprobó que la agricultura influye en las poblaciones microbiológicas ya que el bosque tenía mayor abundancia microbiana.

Palabras clave: Agricultura convencional, bacterias, hongos, microorganismos, poblaciones microbiológicas

Abstract

Soil is a living organism, since it contains a large number of microorganisms whose activity favors its formation and fertility. For this reason, the implementation of friendly productive practices that benefit the conservation and development of microbial activity is being promoted. The objective of this study was to quantify and identify the bacterial and fungal communities after the implementation of agroecological practices in the Zamorano Agroecological Farm. The study was carried out by applying five treatments, including the incorporation of green manure to the soil, fallow land, conventional agriculture and a control treatment, which is forest soil. Each soil was sampled at two depths and synthetic culture media were prepared for the isolation and identification of bacteria and fungi. As results of the study it was found that the control (forest) presented the highest populations in both fungi and bacteria with values of Log₁₀ 5.15 colonies/g soil and Log₁₀ 11.53 CFU/g soil, respectively. Then there are the conservation agriculture treatments with concentrations between Log₁₀ 4.99 colonies/g soil and Log₁₀ 5.12 colonies/g soil for fungi and Log₁₀ 11.31 CFU/g soil and Log₁₀ 11.33 CFU/g soil for bacteria. The conventional agriculture treatment presented the lowest microbiological populations with a total of Log₁₀ 4.68 Colonies/g soil for fungi and Log₁₀ 9.10 CFU/g soil for bacteria. After the quantification of microorganisms in the treatments, it was found that agriculture influences the microbiological populations since the forest had a higher microbial abundance.

Keywords: Bacteria, conventional agriculture, fungi, microbiological populations, microorganisms

Introducción

El suelo es un recurso natural renovable, pero las prácticas agrícolas actuales provocan su deterioro a una velocidad mayor a la de su formación, por lo cual, está siendo considerado finito (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2015). Aunque el suelo se renueva por sí mismo, su capacidad de regeneración es bastante lenta, llegando a tardar desde cientos hasta miles de años en conformarse, puesto que su proceso de formación depende de factores como el clima, tiempo, acción de microorganismos y la descomposición del material parental (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)., 2022a). Una vez se ha conformado un suelo, este poseerá una composición textural propia, la cual es dada por el material a partir del cual se originó, en combinación con la biodiversidad existente sobre él. Por esta razón, los suelos son considerados organismos vivos que cumplen con funciones importantes para el desarrollo de actividades productivas y cuando estos tienen la capacidad de conservar características como las propiedades físicas, químicas y buena actividad biológica se catalogan como saludables (Nadal Rocamora, 2016).

La agricultura convencional ha estado generando graves afectaciones a la salud del suelo, las prácticas realizadas han hecho que se pierda suelo por diferentes causas. Dentro de estas se pueden mencionar: erosión hídrica, dada a la excesiva escorrentía superficial provocada por malas prácticas agrícolas, erosión eólica, pérdida de estructura, disminución en los nutrientes disponibles, pérdida de macro y microfauna. Además, se ven afectadas otras propiedades como la porosidad, el pH, la relación entre nutrientes y respiración basal (Acevedo et al., 2021). Por tal motivo, para conservar, mejorar y aumentar las propiedades de un suelo se ha estado impulsando la ejecución de actividades con enfoques ecológicos, teniendo como propósito establecer una producción agrícola integrada que permita su permanencia a través del tiempo.

Según la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)., 2022b), la agroecología es un modelo productivo que puede ayudar a conservar los recursos naturales

y su biodiversidad. A esto se le suma la capacidad de proporcionar otros beneficios como la creación de microclimas, acumulación de materia orgánica, viéndose reflejado en la biota del suelo, tanto micro como macroscópica (Sánchez et al., 2012). Además, esto ayuda a crear resiliencia y adaptación a los fenómenos naturales causados por el cambio climático.

“Los suelos son soporte indispensable de la vida sobre el planeta Tierra, pero lejos de ser una matriz de materiales inertes, son sistemas vivos y dinámicos” (Alvarez et al., 2018). Es por esto, que la diversidad biótica y macrobiótica en él, es de suma importancia para su salud, viéndose directamente relacionado con su capacidad productiva. Por tal razón, se ha buscado la manera de incrementar las poblaciones microbiológicas existentes en los suelos agrícolas, realizando múltiples prácticas con enfoques conservacionistas y ambientalistas; dentro de las cuales se emplean la labranza cero o mínima, siembra directa, cultivos de cobertura, policultivos, rotación de cultivos, dejar terrenos en descanso, entre otras.

Una práctica realizada ha sido la aplicación e incorporación de material orgánico descompuesto en las áreas destinadas a la producción, obteniendo resultados positivos. Lo anterior queda evidenciado en un estudio realizado, donde se obtuvo como resultado el incremento de la biomasa del suelo y la respiración basal, siendo comparados con suelos sin estas aplicaciones (Nadal Rocamora, 2016). La alta biodiversidad de la fauna edáfica trae múltiples beneficios a los suelos y los cultivos, lo cual está demostrado por González García et al., (2021) en su investigación, lograron determinar que donde se encontraron plantas con mayor vigorosidad, existía una mejor condición del suelo, debido a la alta concentración y actividad de microorganismos.

Morales et al., (2021), en su revisión bibliográfica encontraron como resultado que, los cultivos de cobertura diversificados mejoraban los procesos de absorción de nutrientes por los cultivos. Esto es debido al incremento de las poblaciones microbianas y su actividad, ya que mineralizaban los elementos nutricionales, haciéndolos asimilables para las plantas. Estos autores indican que existió diferencia estadística de abundancia entre bacterias y hongos, siendo mayor en las

bacterias. Mientras que Martínez et al., (2018) en su investigación realizada a nivel de laboratorio, encontraron que tras la aplicación de abonos orgánicos las poblaciones cambiaban a medida que pasaba el tiempo, siendo atribuida más a una reactivación de las poblaciones ya existentes en el suelo, encontrando que los abonos generaban condiciones favorables para su desarrollo a través del tiempo.

La importancia de tener en consideración los factores ambientales propios de cada área, garantiza la estabilidad de cada uno de sus componentes naturales, enfatizando principalmente sobre la fauna y flora y como pueden influir en las poblaciones microbianas edáficas. Estas se desarrollan de manera natural en los lugares que les proporcionan las condiciones ideales. Siguiendo este principio, Quintero García, (2021) comparó la existencia de hongos en suelos con diferentes usos, encontrando mayor diversidad en áreas con bosques nativos. Con base en estos principios ambientales se rige la agroecología, tratando de hacer que los sistemas productivos se asimilen a los sistemas naturales, ya que la diversidad existente arriba del suelo se ve reflejada abajo del mismo (Sánchez et al., 2012).

Como se mencionó, se están realizando prácticas agrícolas que deterioran progresivamente la calidad del suelo, dejando como consecuencia una disminución en la productividad. Ante esto, surge la necesidad de implementar prácticas que ayuden en la recuperación del suelo a la vez que está siendo cultivado. Esto ayuda a comprender la importancia que tiene la aplicación de material orgánico al suelo, ya sea descompuesto o como abono verde y que las condiciones naturales propias de un área también influyen en la existencia y diversidad de poblaciones microbianas. Lo anterior permitió determinar el propósito de este trabajo definiendo como el objetivo general de este estudio, determinar el efecto de la implementación de las prácticas agroecológicas sobre la microbiota del suelo de la Finca Agroecológica de Zamorano. Para lograr el alcance de este objetivo se establecieron como objetivos específicos los siguientes: a) Cuantificar las poblaciones de hongos y bacterias existentes en el suelo en cuatro prácticas agrícolas; y, b) Identificar las poblaciones de hongos y bacterias, su abundancia y diversidad en el suelo, con respecto a las prácticas agrícolas.

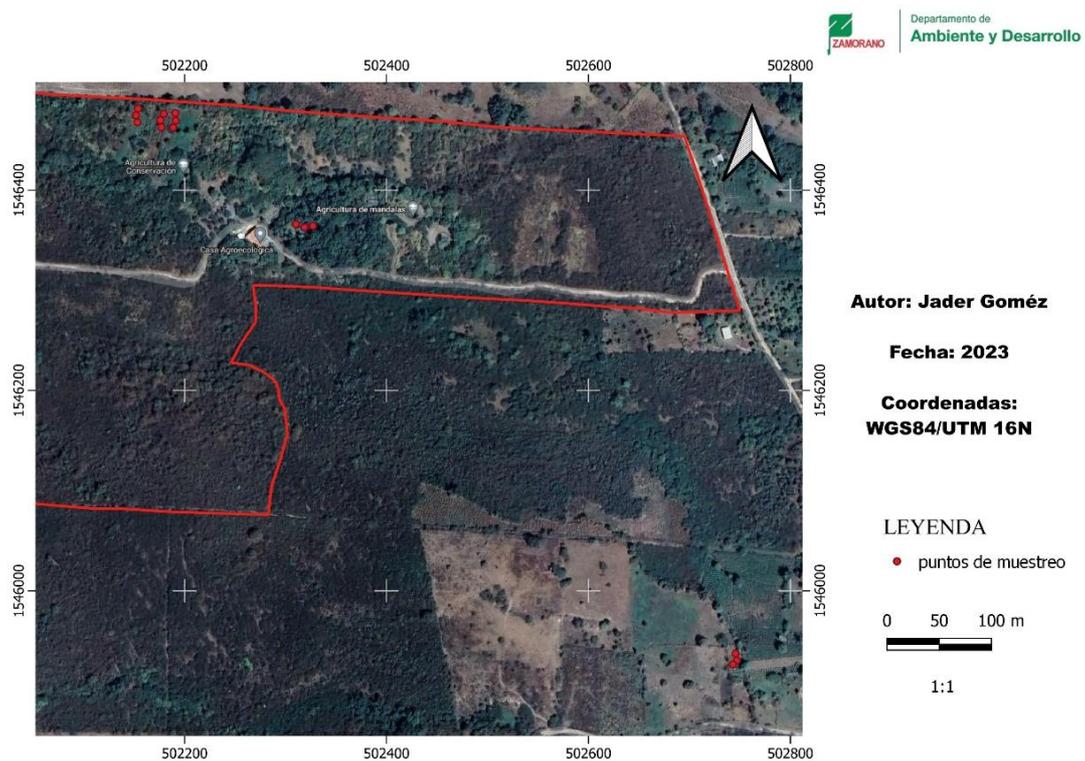
Metodología

Ubicación del Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Finca Agroecológica de Zamorano, ubicada en el municipio de San Antonio de Oriente, a una distancia de 7 km de la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, en la aldea Santa Inés. La finca tiene las coordenadas 13°59'1"N, 86°58'0"O, situada a la altura de 780 msnm, con una temperatura media de 24 °C y una precipitación anual promedio de 1,100 mm (Griffith y Rodriguez, 2014) citados por (Curimilma Ojeda, 2020).

Figura 1

Finca Agroecológica de Zamorano



Elección de Tratamientos

Para la determinación de los tratamientos a estudiar, se realizó un recorrido por los diferentes lotes de la finca donde se ha realizado prácticas agroecológicas por varios años. Se tomó en

consideración el tiempo de intervención con las prácticas establecidas por lote. Para el estudio se eligió el lote de agricultura de conservación, ya que este es sobre el que se ha tenido control sobre las diferentes prácticas agroecológicas realizadas. El área de estudio se dividió en un total de cinco lotes, en cuatro lotes el suelo ha sido tratado con diferentes prácticas convencionales de producción agrícola y uno de ellos es suelo de bosque. Cada práctica fue tomada como un tratamiento para la investigación (Cuadro 1).

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos del estudio

Tratamiento	Características
T1	Aplicación de cobertura de suelo con residuos de cosecha obtenidos del cultivo de maíz y frijol.
T2	Aplicación residuos de cosecha y cobertura verde.
T3	Barbecho de tres años.
CR: Tratamiento 4	Prácticas de agricultura convencional ejecutadas en una unidad productiva continua a la finca.
BQ: Control	Suelo del bosque, el cual fue tomado como el tratamiento control.

Caracterización Físico Química de los Tratamientos

Para la caracterización de los lotes de estudio, se realizó la estimación de la cobertura vegetal, biomasa no descompuesta y rastrojos de los cultivos de la última cosecha en toneladas por hectárea. Para la estimación se colectó muestras y para esto se trazaron tres líneas diagonales en zigzag en los T1 y T2 de agricultura de conservación. Luego en el tercio medio de cada línea se tomaron las muestras. Como herramienta de aforo se utilizó un cuadrado de 1 × 1 m siendo este el método del botanal (Tothill et al., 1978). El material recolectado del T1 tuvo un peso de 0.56 kg/m² y del T2 tuvo 0.63 kg/m², ambos son en peso con contenido de humedad al momento de recolección del material. Para la cuantificación en materia seca, se tomaron muestras de 100 g del material de cobertura, se pusieron en el horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas, luego se pesó, llevaron nuevamente al horno por 12 horas más y nuevamente se pesaron hasta obtener peso constante. En el T3 no se realizó aforo, ya que se encuentra en descanso, dejando que se desarrolle el barbecho. El CR

correspondiente a agricultura convencional, el cual se encontraba con un asocio de cultivos de maíz de 20 días y frijol de 60 días de sembrado. Por su parte BQ, cuenta con una cobertura de bosque seco tropical con algunos árboles maduros característico del área donde está ubicada la Finca Agroecológica de Zamorano.

Para la cuantificación de la materia seca presente en los suelos de los T1 Y T2 se utilizó la Ecuación 1.

$$\text{Humedad \%} = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-C} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

C = Peso de crisol

MH = Peso de materia húmeda

MS = Peso de materia seca

Toma de Muestras de Suelo

Para la obtención de las muestras de suelo se utilizó un barreno, bolsas de polietileno para la recolección de las muestras y traslado hacia laboratorio (100 g de suelo por cada muestra), marcador para identificación: el muestreo se realizó a dos profundidades (0 a 15 cm y 16 a 30 cm). Al momento del muestreo se midió la humedad del suelo utilizando un medidor de suelo de tres vías, el cual mide la humedad en un rango de 1 a 10. Cabe mencionar que las muestras fueron tomadas en temporada seca. Los sitios de muestreo se eligieron tomando como referencia puntos de aforo en los tratamientos de agricultura de conservación. En el tratamiento de agricultura convencional se hizo un recorrido conveniente, buscando los puntos con el mismo nivel de humedad del suelo a los encontrados en la finca agroecológica para disminuir error por variabilidad. En el bosque se eligieron los puntos considerando un área similar al de los tratamientos agrícolas considerando de igual manera que la humedad del suelo sea similar en todos los sitios muestreados. A cada tratamiento se le realizó

un análisis de suelo en el laboratorio para determinar la textura y contenido de materia orgánica. Estos parámetros se evaluaron con el propósito de relacionarlos en los resultados con la presencia de microbiota.

Identificación de Microorganismos

La identificación de hongos y bacterias se realizó por medio de un protocolo establecido por el laboratorio de Fitopatología de Zamorano. Este garantiza las condiciones asépticas del proceso. De igual manera permite obtener las condiciones necesarias para el crecimiento de los organismos deseados, dicho protocolo es el siguiente:

Para iniciar con las diluciones se pesan 5 g de suelo seco y se afora hasta llegar a 50 mL de agua destilada estéril en un tubo Falcón, posteriormente se coloca la muestra en el orbital por 5 min/300 rpm, se obtiene la dilución 10^1 . Con la ayuda de una pipeta estéril, se transfiere 1 mL del sobrenadante a un tubo que contenga 9 mL de agua destilada estéril (dilución 10^{-2}). Se realizan diluciones seriadas de 1:10, es decir, se coloca 9 mL de agua destilada estéril y se añade 1 mL del tubo anterior hasta la dilución 10^{-7} debidamente rotuladas o hasta alcanzar la dilución a trabajar, en este estudio se llegó hasta 10^{-10} .

Se prepararon los medios de cultivo de Agar Nutritivo (AN), y Agar Papa Dextrosa (PDA), para la preparación de 1 L de AN se utilizó: Agar Nutritivo en polvo, una balanza, recipiente para pesar el AN dos beaker de 1 L, dos magnetos, un calentador de agua, agua destilada y un agitador de laboratorio. Para la preparación del medio de cultivo se puso a calentar agua destilada, se procedió a pesar 23 g de AN, se agregaron 490 mL de agua destilada en un beaker, se introdujo un magneto y se puso en el agitador, posteriormente se agregó poco a poco 11.5 g del AN para evitar generación de grumos y espuma. Esto se dejó en agitación alrededor hasta ver una mezcla completamente homogénea, en el otro beaker se agregaron 490 mL de agua destilada, el magneto y los 11.5 g de AN faltantes, procedimiento exactamente la misma manera. El mismo procedimiento se ejecutó con la preparación del PDA, a diferencia que en lugar de agregar 490 mL de agua destilada, se agregaban 480

mL de agua destilada y en lugar de 11.5 g de AN de agregaban 19.5 g de PDA, este fue acidificado con 10 mL de ácido tartárico para inhibir el crecimiento de bacterias, el pH del medio de cultivo PDA al ser acidificado queda alrededor de 3.5. Luego esta preparación se llevó al autoclave a una presión de 121 psi, con una temperatura de 105 °C, por 30 minutos. Posteriormente, se dejaron enfriar los medios de cultivo a una temperatura que se pudieran manipular, se agregaron 25 mL por placa Petri, se deja hasta que gelifique quedando listos para realizar la siembra de microorganismos.

Para realizar la siembra se aclimataron los platos Petri en la cámara de flujo laminar (se recomienda que sean tres por muestra). Los platos son rotulados con: nombre de la muestra, fecha, y dilución de la muestra. Se agita la muestra y de esta se toman 100 µL y colocándolos en el centro del medio de cultivo. Con la ayuda de un asa de "Digrafsky" estéril se esparce la muestra en el medio de cultivo, hasta que sea absorbido por el medio de cultivo. Por último, se procede a sellar los medios con "Parafilm" e incubarlos a 27 °C. Por último se observan los platos Petri a las 24 y 48 horas después de la siembra, contando el número de hongos y bacterias encontrados. Para el recuento total de las poblaciones que crecieron se utilizó la Ecuación 2.

$$UFC/g \text{ suelo} = \frac{N^{\circ} \text{ colonias} \times FD}{Vol. \text{ muestra sembrada}} \quad [2]$$

Dónde:

FD = Factor de dilución

Identificación de Hongos Filamentosos

Para la identificación de hongos se observó el crecimiento en el plato, observando la morfología colonial de cada una de las placas, su elevación, borde y forma, luego se tomó una muestra del medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) por sus iniciales en inglés, y se aisló en platos Petri de 35 mm. Una vez se desarrolló de manera aislada se tomó una pequeña muestra, se colocó sobre un portaobjetos, se le agregó una gota de azul de lactofenol y se observó en el microscopio. De está

manera se determinó; tipo de micelio, estructura y tipos de esporas como: conidios, conidióforos, basidiocarpos, pústulas, clamidiosporas, etc.

Identificación de Bacterias

Para la identificación de las bacterias en los medios de cultivos sintéticos se inicia por observar algunas características físicas de cada colonia, como lo es: elevación, forma, tamaño, color, borde, olor, densidad, consistencia (Bou et al., 2011). Ya que ciertas de estas características son propias de algunas especies, además hay pruebas bioquímicas que permiten identificar con mayor precisión la especie en estudio. Tras la identificación principalmente por formas y color se realizó el aislamiento de las diferentes bacterias que crecieron. Para el aislamiento de las bacterias, la siembra se realizó con el método de "Frobisher", luego de su crecimiento se tomó una colonia y se le realizó la tinción de "Gram". Como último paso se procedió a observar en el microscopio a 40X, identificando por coloración y morfología de las bacterias, como cocos, cocobacilos, bacilos o espirilos.

Tinción de Gram

Las bacterias se clasifican en dos grupos, Gram positivas y Gram negativas la diferencia de estas radica en la estructura de la pared celular y como interactúa con los colorantes utilizados. Las bacterias Gram positivas contienen una capa gruesa de peptidoglicano, tiñéndose de color violeta, por su parte las Gram negativas contienen una capa delgada del mismo compuesto y otra más externa de lipoproteínas y fosfolípidos, tiñéndose de color rosa. Para realizar la prueba de Tinción de Gram se efectúa el siguiente procedimiento:

Se limpia el portaobjetos con alcohol al 70% y se deja secar, posteriormente ponemos una gota de agua destilada sobre el portaobjetos. Con el asa bacteriológica tomamos una muestra de bacteria y se pone sobre la gota de agua, se realiza un frotis, se fija pasando el portaobjetos 3 veces por el mechero. Se cubre el frotis con cristal violeta, se deja actuar por 1 minuto, se retira el exceso con agua destilada, luego se coloca lugol, dejándolo actuar por 1 minuto y se lava con agua destilada, se aplica alcohol acetona por ocho segundos y se retira con agua destilada. Por último, se pone

safranina, dejando actuar por 45 segundos, se lava con agua destilada y se deja secar al aire por 2 minutos. Para observar en el microscopio se pone un cubreobjetos sobre el frotis y se agrega una gota de aceite de inmersión. Se observa la coloración, Gram positivas de color morado y las Gram negativas color rosa.

Diseño experimental

El diseño utilizado es un cuasi experimental, ya que los tratamientos no fueron asignados de manera aleatoria, el diseño contó con cuatro tratamientos, un control y tres repeticiones para cada uno, muestreando a dos profundidades una de 0 a 15 cm y otra de 16 a 30 cm. Los T1, T2, T3 y el control están situados en la Finca Agroecológica, el tratamiento cuatro es un lote aledaño a la Finca Agroecológica, en este se realizan prácticas de agricultura convencional.

Análisis Estadístico

Se obtuvo los estimadores de tendencias central (media) y de dispersión (desviación estándar) para conocer la tendencia de agrupación de los datos. Se aplicó un Análisis de Varianza (ANDEVA) de doble vía con interacciones y se aplicó la prueba Duncan para separar las medias de cada factor fijo para los tratamientos y las profundidades 0 a 15 y 16 a 30. Los datos fueron procesados utilizando el programa "InfoStat®" versión 2020 y las diferencias estadísticas son reportadas con una probabilidad menor al 0.05 de significancia.

Resultados y Discusión

Caracterización del Suelo

Luego de hacer los análisis texturales a las muestras de suelos correspondiente a cada tratamiento del estudio se obtuvo información detallada de la textura en cada tratamiento, su granulometría y el contenido de materia orgánica, mostrando los resultados en el Cuadro 2. Se puede observar que en los suelos de textura Franco Arenosa y Arenoso Franco el contenido tanto de materia orgánica como de carbono orgánico es más baja, siendo comparado con el suelo de textura Franco Arcillo Arenoso. Cabe resaltar que las texturas Franco Arenosas se encuentran en los suelos de la Finca Agroecológica de Zamorano y el suelo Franco Arcillo Arenoso en el lote de agricultura convencional (Cuadro 2).

Cuadro 2

Caracterización de suelo por textura y contenido de materia orgánica para cada tratamiento

Muestra	Textura	Granulometría			%		N _{total}
		Arena	Limo	Arcilla	C.O	M.O	
BQ: Bosque	Franco Arenoso	56	24	20	1.82	3.14	0.16
T1: Residuos de cosecha de maíz y frijol	Arenoso Franco	84	8	8	1.54	2.65	0.13
T2: Residuos de cosecha y cobertura verde	Franco Arenoso	66	18	16	1.35	2.33	0.12
T3: Barbecho 3 años	Franco Arenoso	70	14	16	1.8	3.11	0.16
CR: Convencional	Franco Arcillo Arenoso	58	20	22	2.02	3.48	0.17
					1.2	2	0.1
Rango Medio					2.3	4	0.2

Nota. C.O: Carbono Orgánico. M.O: Materia Orgánica.

Caracterización del Material de Cobertura

Luego de aplicar la fórmula para realizar los cálculos de materia seca de la cobertura, se observó que la cantidad de materia seca de la cobertura que es incorporada al suelo es de 5.04 t/ha para el T1 y 4.41 t/ha para el T2. Una vez realizado el proceso de deshidratado para obtener la materia

seca, se evidenció que el contenido es más bajo en el T2, en el cual hay presencia de cobertura verde (Cuadro 3).

Cuadro 3

Caracterización de materia seca incorporada por tratamiento en t/ha

Material de cobertura	Peso de material en materia seca (kg/m ²)	t/ha
Residuo de cosecha de maíz y frijol (T1)	0.504	5.04
Residuo de cosecha y cobertura verde (T2)	0.441	4.41

Nota. t/ha: toneladas por hectárea

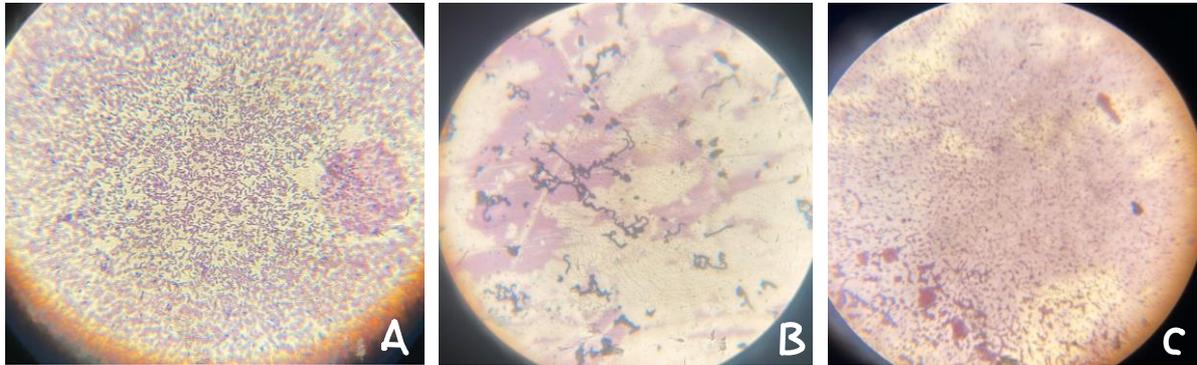
Identificación de Bacterias

Luego de realizar la identificación de bacterias a través microscopía clasificándolas por coloración en la tinción de Gram y morfología, se pudo inferir en el género de algunas de estas, determinando así que estaban presentes los géneros *Bacillus* spp y *Spirillum*spp y por formas se observó presencia de cocobacilos. Todas las bacterias observadas son Gram positivas y se evidenció que existe presencia de bacterias del género *Bacillus* spp y forma de cocobacilos en cada uno de los tratamientos del estudio, mientras que el género *Spirillum* spp solo se encontró en el tratamiento de agricultura convencional (Figura 2). El género de bacterias de mayor abundancia siempre fue *Bacillus* spp, seguido de los cocobacilos y el de menor abundancia fue el género *Spirillum* spp. Lo anterior coincide con lo reportado por Reinoso Pozo et al., (2006) quienes encontraron que los Gram positivos son abundantes en suelos, mientras que Julca-Otiniano et al., (2006) indica que las formas más comunes de bacterias en suelos son los cocos y los bastones pertenecientes a los *Bacillus*. Hernández et al., (2003) encontraron que en los suelos cultivados con maíz se encuentran frecuentemente el género *Bacillus* spp. Mientras que en el estudio realizado por Rocha y Torres, (2022) se evidencia que el género *Bacillus* spp es común e importante en los suelos.

Figura 2

Bacterias identificadas en los diferentes tratamientos en profundidades de 0 - 15 cm y 16 - 30 cm A:

Bacillus spp, B: Spirillum spp, C: Cocobacilos



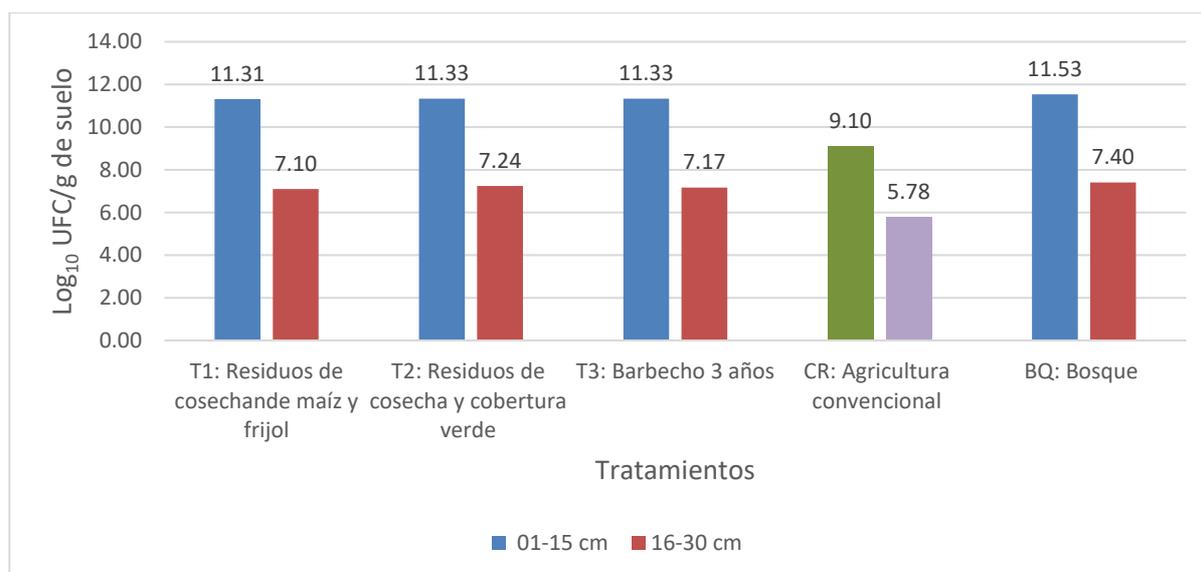
Cuantificación de Bacterias

Tras realizado el recuento de bacterias, se puede observar que las poblaciones son mayores en el suelo de bosque, seguido de los tratamientos realizados en la agricultura de conservación, mientras que las prácticas de agricultura convencional tienen las poblaciones más bajas. Los resultados tienen el mismo patrón de abundancia en profundidades de 0 a 15 cm y de 16 a 30 cm para todos los tratamientos, teniendo en cuenta que el número total de bacterias disminuye a mayor profundidad en cada tratamiento (Figura 3). El conteo para bacterias a la profundidad de 0 a 15 centímetros estuvo en 108 y 1011 para bacterias y para hongos 105, estos resultados se asemejan a los obtenidos por Calvo et al., (2008) en su investigación, donde obtuvieron resultados de 106 y 108 para bacterias, 104 y 105 para hongos. Los recuentos a mayor profundidad fueron menores coincidiendo con estudios anteriores donde se evidencia que a mayor profundidad las poblaciones de bacterias disminuyen (Córdova-Bautista et al., 2009; Hernández y Lizarazo, 2015). Por su parte Culchac et al., (2021) en su estudio indican que la presencia de bacterias a menor profundidad se da por la presencia de oxígeno, lo que favorece su desarrollo, en especial de bacterias nitrificantes. Alcantara et al., (2016) indican que las poblaciones microbiológicas son más altas en ambientes naturales dada la estabilidad del suelo allí a través del tiempo, permitiendo que exista mejor adaptabilidad de los microorganismos a

diferencia de los suelos agrícolas que a menudo están expuestos a actividades que perturban su estabilidad.

Figura 3

Recuento bacteriano de los diferentes tratamientos en diluciones de 10^6 , 10^7 , 10^8 y 10^{10} a profundidad de 0 – 15 cm y 16 – 30 cm.



En el ANDEVA realizado para las bacterias se encontró que al observar el cuadro de análisis de varianza tanto para los tratamientos, profundidad y la interacción tratamiento por profundidad presentaron diferencias significativas en cada uno de ellos. Ante estos resultados, se infiere que cada uno de los factores evaluados tuvo influencia sobre la abundancia de las poblaciones de microorganismos existentes en los suelos. Por lo cual la variación de las poblaciones microbiológicas puede tener variaciones positivas o negativas dependiendo del factor de variación que se esté analizando (Cuadro 5).

Cuadro 4

Análisis de varianza para bacterias

Factor de Variación	SC	GL	CM	F	P-Valor
Modelo	222.8193	9	24.7577	1788.4785	<0.0001

Factor de Variación	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	3.8499	4	0.9625	69.5292	<0.0002
Profundidad	217.3052	1	217.3052	15697.9697	<0.0003
Tratamiento*profundidad	1.6642	4	0.416	30.055	<0.0004
Error	0.2769	20	0.0138		
Total	223.0962	29			
CV	1.22				
R2	0.99				

Nota. SC: suma de cuadrados; GL: grados de libertad; CM: coeficiente medio de contingencia; F: valor f

A los datos obtenidos se les aplicó la prueba Duncan, mediante la cual se puede observar que existen diferencias significativas entre el tratamiento de agricultura convencional con los tratamientos uno, dos y tres, pertenecientes a agricultura de conservación y estos a la vez presentan diferencias significativas con el tratamiento de bosque. Aquí una vez más se logra apreciar como la media de las muestras es más abundante en el tratamiento bosque, seguido de los tratamientos dos, tres y uno, correspondientemente y con las poblaciones más bajas el tratamiento de agricultura convencional (Cuadro 6).

Cuadro 5

Prueba Duncan en bacterias por tratamiento

Tratamiento	Medias Log ₁₀ UFC/g de suelo
BQ	9.97a
T1	9.71b
T2	9.75b
T3	9.79b
CR	8.93c
E. E	0.048

Nota. E.E: error estándar. a, b, c: diferencia estadísticamente diferente

Los resultados de las medias por profundidad indican que existe diferencias significativas, entre ambas, entendiendo así que las poblaciones de bacterias más altas se encuentran a menor profundidad (Cuadro 7). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Culchac et al., (2021), donde tras realizar el análisis estadístico a comunidades bacterianas en suelos, encontraron que existían diferencias estadísticas. Indicando así que la mayor abundancia microbiana se encuentra a menor profundidad.

Cuadro 6

Prueba Duncan en bacterias por profundidad

Profundidad (cm)	Medias Log ₁₀ UFC/g de suelo
0 - 15	12.3216a
16 - 30	6.9388b

E. E 0.0304

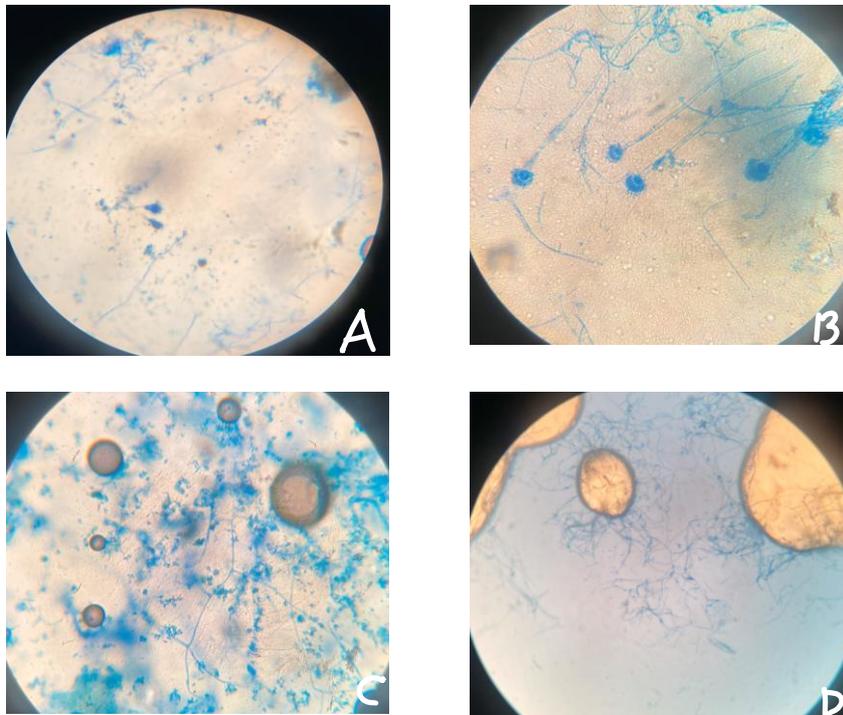
Nota: E.E: error estándar. a, b: diferencia estadísticamente diferente

Identificación de Hongos

Se encontró que en el tratamiento bosque existe la presencia de hongos pertenecientes a los géneros *Penicillium* spp, *Trichoderma* spp, y *Aspergillus* spp, en los tratamientos uno, dos y tres se encontraron hongos de los géneros *Penicillium* spp, *Trichoderma* spp, *Aspergillus* spp, el género *Cladosporium* spp solo se encontró en el tratamiento dos. Por su parte en el tratamiento de agricultura convencional se encontraron hongos de los géneros *Trichoderma* spp y *Aspergillus* spp (Figura 4). Algunos de estos géneros encontrados coinciden con los reportados por Tanya y Leiva, (2019), los cuales fueron *Penicillium* spp, *Trichoderma* spp, y *Aspergillus* spp, resaltando que estos poseen una ventaja competitiva para poder desarrollarse en ambientes de condiciones limitadas. Por su parte Rocha y Torres, (2022) reportaron los mismos géneros en suelos donde se realizan prácticas agroecológicas y convencionales. Los autores indican que el género *Penicillium* spp y *Aspergillus* spp se encontró en mayor proporción en agricultura convencional en comparación a la producción agroecológica, sustentando así que este hongo tiene la capacidad de crecer en diferentes tipos de suelos.

Figura 4

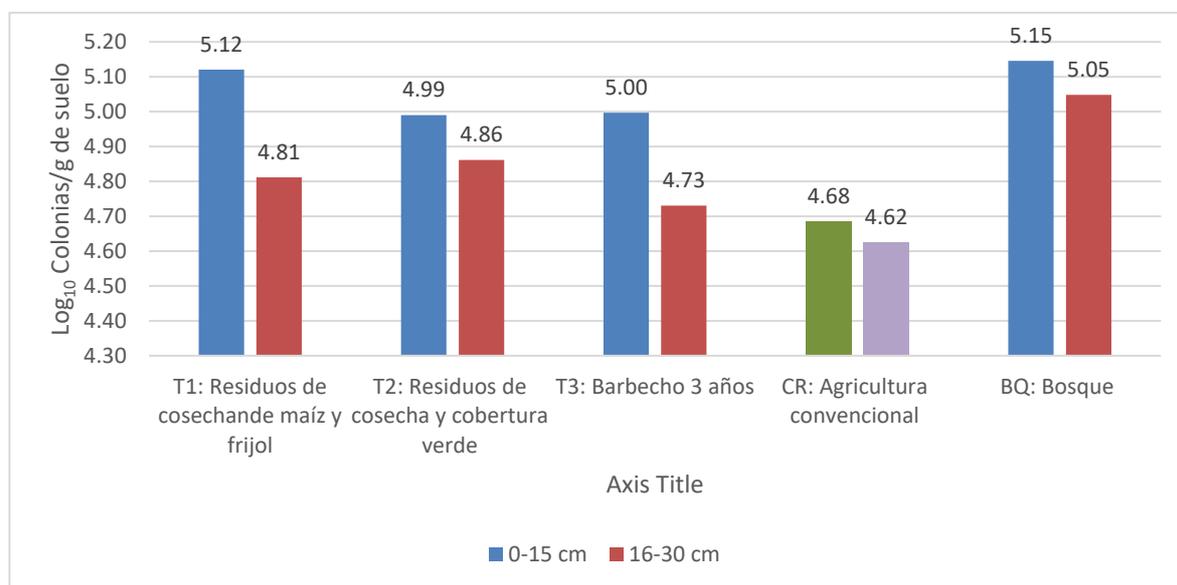
Hongos identificados en los diferentes tratamientos A: *Penicillium spp*, B: *Aspergillus spp*, C: *Trichoderma spp*, D: *Cladosporium spp*.

**Cuantificación de Hongos**

Tras realizar el conteo de colonias de hongos en la profundidad de 0 - 15 cm, se pudo observar que las poblaciones son más altas en el bosque, seguido de los T1 y T3, correspondientes a agricultura de conservación y barbecho, luego se encuentra el T2 de agricultura de conservación y por último el CR donde se realizan prácticas de agricultura convencional. En la cuantificación e identificación de los hongos a la profundidad de 16 - 30 cm encontró que las poblaciones siguen siendo más altas en el bosque, seguido de los T2 y T1 correspondientes a agricultura de conservación. Luego se encuentra el T3 y por último el CR donde se realizan prácticas de agricultura convencional (Figura 5).

Figura 5

Recuento de hongos de los diferentes tratamientos en una dilución de 10^5 en profundidad de 0 - 15 cm y 16 - 30 cm



La variación en las poblaciones por tratamiento puede ser atribuida al uso de suelo, como lo menciona Pacasa et al., (2017) en su estudio, donde indica que las poblaciones varían en los suelos dependiendo de su uso. El autor indica que la producción agrícola genera alteraciones en suelos, perturbando el correcto desarrollo de microorganismos, especialmente hongos. Se puede ver que las poblaciones en el suelo de bosque son altas, ante lo cual estudios anteriores indica que cuando el suelo se encuentra con una cobertura natural, como el bosque, las poblaciones microbiológicas son abundantes dado que aquí se encuentran en un ambiente apto, sin perturbaciones, con disponibilidad de sustratos de carbono y otros compuestos como ácidos orgánicos y azúcares que sirven como alimento para poder desarrollarse (Broeckling et al., 2008). Los suelos cultivados con prácticas de agricultura de conservación presentan concentraciones inferiores pero cercanas a las encontradas en bosques, evidenciando que ayudan en la conservación de la biodiversidad y ambientes saludables (Gonzalez Pérez, 2017). La profundidad es otro factor que influye en el desarrollo microbiano, la mayor abundancia se encuentra en la rizosfera, estando allí las mejores condiciones para su desarrollo

de manera activa y en equilibrio (Pedraza et al., 2010). De igual manera Chindoy Lizarazo, (2018) en su investigación reportaron que a mayor profundidad las poblaciones de hongos disminuían y en algunos casos no se encontraban poblaciones.

El contenido de materia orgánica en un suelo es indicador de su calidad tanto para sus funciones agrícolas como ambientales (Cantú Silva y Yañez Díaz, 2018). Esto no garantiza que existirá una población abundante microbiológica, ya que en este estudio el lote con mayor contenido de materia orgánica presentó la menor abundancia tanto de hongo como de bacterias. Esto se relaciona con lo reportado por Acuña et al. (2006), donde obtuvieron resultados similares y se dijo que existía una baja actividad microbiana en relación con el contenido de materia orgánica en el suelo, mientras que Chirinos et al., (2013) reportan la observación de una correlación negativa entre el contenido de materia orgánica y el microbiológico, comprendiendo así que las poblaciones microbiológicas abundantes en un ecosistema son dependientes principalmente de las actividades realizadas que de las diferentes propiedades del suelo.

Tras realizar el ANDEVA se observó que tanto en los tratamientos por si solos como en la profundidad existió diferencia significativa en la variable dependiente, obteniendo un valor $P < 0.05$, indicando que las poblaciones de hongos son diferentes en al menos dos tratamientos y dos profundidades. Mientras que para la interacción tratamiento por profundidad no existió diferencia significativa ya que el valor $P > 0.05$, indicando que esta relación no tiene influencia en las poblaciones de hongos (Cuadro 8).

Cuadro 7

Análisis de varianza en poblaciones de hongos

Factor de Variación	SC	GL	CM	F	P-Valor
Modelo	0.93	9	0.1	7.79	0.0001
Tratamiento	0.63	4	0.16	11.97	0.0001
Profundidad	0.16	1	0.16	12.42	0.0021
Tratamiento *profundidad	0.13	4	0.03	2.44	0.0804
Error	0.27	20	0.01		
Total	1.19	29			

CV	2.35
R ²	0.78

Nota: SC: suma de cuadrados. GL: grados de libertad. CM: coeficiente medio de contingencia. F: valor f.

Se realizó una prueba Duncan, ordenando resultados de manera descendente, como resultados se obtuvo que en tratamiento de agricultura convencional es estadísticamente diferente de los tratamientos de agricultura de conservación y de bosque. Los tratamientos de agricultura de conservación no tienen diferencia estadística entre ellos, mientras que el T1 no tiene diferencia significativa con el bosque, pero los T2 y T3 si tienen diferencia con el tratamiento bosque (control). Esto quiere decir que el tratamiento donde se encuentran las mejores poblaciones de hongos son el tratamiento bosque o control y T1, seguido de los T2 y T3, mientras que las poblaciones más bajas se encuentran en el tratamiento de agricultura convencional (Cuadro 9).

Cuadro 8

Prueba Duncan para hongos por tratamiento

Tratamiento	Medias Log ₁₀ Colonias/g de suelo
BQ	5.1a
T1	4.97ab
T2	4.93b
T3	4.86b
CR	4.65c
E.E	0.05

Nota: E.E: error estándar. a, b, c: diferencia estadísticamente diferente

En cuanto a las poblaciones de hongos en relación con la profundidad se encontró en las medias que, si hay diferencias estadísticas entre las poblaciones existentes, encontrando mayor población en la profundidad 0 - 15 cm en comparación con la profundidad 16 - 30 cm. Las poblaciones de hongos se encuentran principalmente a menor profundidad, ya que encuentran mejores condiciones para su desarrollo (Cuadro 10). Estas poblaciones se reducen a mayor profundidad ya que se reduce la disponibilidad de alimentos (Paul, 2007 citado por Pacasa et al., 2017).

Cuadro 9

Prueba Duncan en poblaciones de hongos por profundidad

Profundidad	Medias Log ₁₀ Colonias/g de suelo
0 - 15	4.98a
16 - 30	4.83b
E.E 0.03	

Nota. E.E: error estándar. a, b: diferencia estadísticamente diferente con una probabilidad de <0.05

Conclusiones

Después de la cuantificación de hongos y bacterias en los diferentes tratamientos, se evidencia que las prácticas agrícolas tienen impactos sobre estas poblaciones microbiológicas. El tratamiento control, el cual se encuentra libre de perturbaciones de origen antrópicas, presentó mayor abundancia de hongos y bacterias respecto a los demás tratamientos.

En el estudio, tras la identificación de hongos y bacterias en los diferentes tratamientos fue común encontrar la presencia de microorganismos pertenecientes a los mismos géneros, siendo indiferente el tratamiento aplicado. Por lo cual, la presencia de estos organismos puede ser atribuida a las condiciones agroambientales que predominan en el área de estudio.

Los resultados obtenidos en la cuantificación de hongos y bacterias revelan una clara diferencia entre las poblaciones de los diferentes tratamientos evaluados, el tratamiento de agricultura convencional mostró los resultados más bajos. Lo anterior sugiere que las prácticas de agricultura convencional tienen efectos negativos sobre las poblaciones microbiológicas en comparación con los demás tratamientos. Mientras que la incorporación de rastrojo en la agricultura de conservación proporciona buenas condiciones para la actividad microbiana

Al interpretar los resultados obtenidos de análisis de materia orgánica en los suelos y relacionando estos con las poblaciones microbiológicas existentes en cada uno de ellos, se encontró que no existe una relación positiva entre estos. Esto debido a que el suelo con mayor contenido de materia orgánica presentó las concentraciones microbiológicas más bajas, por lo que se puede asociar que actividad de poblaciones microbianas es dependientes de las prácticas agrícolas realizadas. Donde los tratamientos de agricultura de conservación proporcionan condiciones similares a las del tratamiento control para el buen desarrollo de los microorganismos. Mientras que el tratamiento de agricultura convencional genera grandes perturbaciones, afectando las condiciones para la actividad microbiana.

Recomendaciones

Para estudios posteriores, en cuanto al trabajo, en campo se recomienda incluir muestreo de suelos en época húmeda, el cual permita comparar el desarrollo de las poblaciones microbiológicas con las obtenidas en época seca y así determinar la influencia del contenido de humedad en el desarrollo microbiano.

Con respecto al trabajo en laboratorio para la identificación de hongos y bacterias, utilizar pruebas de biología molecular, que a través de reactivos permita obtener secuencias de ADN propias de algunas especies, logrando conocer así de manera específica los hongos y bacterias encontrados.

Para conocer la biomasa total de microorganismos presentes en suelos bajo diferentes tratamientos, se recomienda realizar la prueba de respiración inducida por sustrato, ya que en este proceso la cantidad de CO₂ está directamente relacionado con la actividad microbiana, permitiendo así estimar la población total microbiana.

Referencias

- Acevedo, I., Sánchez, A. y Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127–134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7904321>
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos Javier y Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Acu%C3%83%C2%B1a-et-al-2006.pdf>
- Alcantara Aguila, E., Marrero Pérez, Y., Hernández Arboláez, H. P. y Ruiz Gonzáles, Y. (2016). Efecto del uso del suelo sobre la calidad en áreas de la finca "Baños de Marrero. *Centro Agrícola*, 43(2). <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n2/cag02216.pdf>
- Alvarez, V. E., Cardozo, A. G., El Mujtar, V. A. y Tiftonell, P. (2018). El universo escondido bajo nuestros pies: la importancia de conocer y preservar los organismos del suelo. 0326-7040. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/102194>
- Bou, G., Fernández-Olmos, A., García, C., Sáez-Nieto, J. A. y Valdezate, S. (2011). Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología [Bacterial identification methods in the microbiology laboratory]. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(8), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2011.03.012>
- Broeckling, C. D., Broz, A. K., Bergelson, J., Manter, D. K. y Vivanco, J. M. (2008). Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(3), 738–744. <https://doi.org/10.1128/AEM.02188-07>
- Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L. y Zuñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizosfera del cultivo de papa en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1-2). <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a17v7n1-2.pdf>
- Cantú Silva, I. y Yañez Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(45). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Chindoy Lizarazo, E. R. (2018). *Caracterización de la actividad fungica y bacteriana sobre los suelos...* [Tesis de pregrado]. Universidad de los Llanos, Colombia. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1371/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20actividad%20Fungica%20y%20Bacteriana%20Sobre%20los%20Suelos...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chirinos, E., Campos Yris y Mogollon, P. (2013). Relación entre la materia orgánica y las propiedades biológicas de un suelo de la llanura de Coro, bajo los efectos de enmiendas orgánicas. https://www.academia.edu/6582104/RELACI%C3%93N_ENTRE_LA_MAT%C3%89RIA_ORG%C3%81NICA_Y_LAS_PROPIEDADES_BIOL%C3%93GICAS_DE_UN_SUELO_DE_LA_LLANURA_DE_CORO_BAJO_LOS_EFECTOS_DE_ENMIENDAS_ORG%C3%81NICAS
- Córdova-Bautista, Y., Rivera-Cruz, M. C., Ferrera-Cerrato, R., Obrador-Olán, J. J. y Córdova-Ávalos, V. (2009). Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (*Musa AAA Simmonds*) cultivar 'Gran enano' y su potencial para integrar un biofertilizante. *Universidad Y Ciencia*, 25(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000300007

- Culchac Cuaran, L. Y., Estrada Marcillo, J. S. y Ordóñez Jurado, H. R. (2021). Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo Typic melanudands en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), 1424. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1424
- Curimilma Ojeda, S. I. (2020). *Análisis hidrológico para la recolección y almacenamiento de agua lluvia en la finca Agroecológica de Zamorano, Honduras* [Tesis de pregrado]. EAP ZAMORANO, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e49f6c2e-eae6-491d-988a-926fa41da15d/content>
- González García, H., Fernández González, A., Pineda, M., Escalante, H., Rodríguez Yzquierdo, G. A. y Soto Bracho, A. (2021). Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor y contraste y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro*, 33(2), 143–148. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7904323>
- González Pérez, V. (2017). *Evidencias agroecológicas para la agricultura del futuro* [Tesis]. Miguel Hernández. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/4481/1/TD%20Gonzalez%20P%C3%A9rez%2c%20Victoriano.pdf>
- Hernández, Annia, Caballero, Alberto, Pazos, Mabel, Ramírez, Rolando, Heydrich y Mayra (2003). Identificación de algunos géneros microbianos asociados al cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en diferentes suelos de Cuba. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 5(1), 45–55. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77650106.pdf>
- Hernández, D. R. y Lizarazo, L. M. (2015). Bacterias heterotróficas y oligotróficas en zonas conservadas e intervenidas del páramo de la Cortadera, Boyacá, Colombia, 18(2), 475–483. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262015000200021&script=sci_arttext
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R. y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Martínez, L., Vallone, R. y Pino, M. M. (2018). Variación temporal de los indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos, 44(2), 39–47. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v44n2/v44n2a07.pdf>
- Morales, M. E., Iocoli, G. A., Villamil, M. B. y Zabaloy, M. C. (2021). Efecto de los cultivos de cobertura invernales sobre el microbioma del suelo: revisión sistemática de la literatura [Effect of winter cover crops on the soil microbiome: a systematic literature review]. *Revista Argentina de microbiología*, 54(1), 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.02.008>
- Nadal Rocamora, I. (2016). *Alteraciones fisiológicas, metabólicas y de la composición de las poblaciones bacterianas de la microbiota de un suelo agrícola tras la aplicación de residuos orgánicos urbanos* [Tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/36128/1/T36922.pdf>
- Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (2015). El suelo es un recurso no renovable. <https://www.fao.org/3/i4373s/i4373s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022a). *Definiciones clave*. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022b). *Noticias: La agroecología puede ayudar a mejorar la producción mundial de alimentos*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1113675/icode/>
- Pacasa Quisbert, F., Loza Murguía, M. G., Bonifacio Flores, A., VINO Nina, L. y Serrano Canaviri, T. (2017). Comunidad de hongos filamentosos en suelos del agroecosistema de K'iphak'iphani, comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1). http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v8n1/v8n1_a02.pdf
- Pedraza, R., Teixeira, K., Fernández Scavino, A., García de Salamone, I., Baca, B. E., Azcón, R., Baldani, V. y Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Corpoica*, 11(2), 155 a 164. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029007.pdf>
- Quintero García, B. S. (2021). *Estudio de la microbiota fungica asociada a suelos de bosques nativos y plantaciones forestales usando técnicas independientes de cultivo en la provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador]. [dspace.espace.edu.ec. http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/15939](https://dspace.espace.edu.ec/http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/15939)
- Reinoso Pozo, Y., Casadesús Romero, L., García Suárez, A., Gutiérrez Pérez, J. y Álvarez-Rivera, V. P. (2006). Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género bacillus actagonistas de *Pectobacterium Carotovorum*, 10(3), 187–191. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209116108001.pdf>
- Rocha Matus, A. B. y Torres Martínez, A. A. (2022). *Microbiología funcional en 10 agroecosistemas con diferentes órdenes de suelo y manejados con enfoques de producción agroecológico y convencional, Nicaragua 2021* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4485/1/tnp34r672.pdf>
- Sánchez, M., Prager M, M., Naranjo, R. y Sanclemente, O. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*, 7(1), 19–34. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/170971>
- Tanya Morocho, M. y Leiva Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Ciencia Ergo Sum*, 46(2). <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>
- Tothill, J., Hargreaves, J., Jones, R. y McDonald, C. K. (1978). *BOTANAL A comprehensive sampling procedure for estimating pasture yield and composition I Field sampling*. https://www.researchgate.net/profile/Cam-Mcdonald/publication/303169091_BOTANAL_A_comprehensive_sampling_procedure_for_estimating_pasture_yield_and_composition_I_Field_sampling/links/5a3a12f4458515889d2bd450/BOTANAL-A-comprehensive-sampling-procedure-for-estimating-pasture-yield-and-composition-I-Field-sampling.pdf