

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Efecto del uso de la tierra en Zamorano en la relación Hongos:
Bacterias del suelo**

Estudiantes

Eliazar Andonie Martínez Cruz

Jonathan Jafed Laínez Orellana

Asesores

Ricardo Alexander Peña Venegas, Ph.D.

Carolina Avellaneda Barbosa, Ph.D.

Honduras, Julio 2023

Autoridades

SERGIO A. RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidente y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora de Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Figuras	4
Índice de Anexos	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos	11
Localización	11
Diseño y Establecimiento del Experimento	12
Muestreo de Suelos	12
Variables Medidas.....	13
Determinación de la Relación Hongos: Bacterias del Suelo y Biomasa Total Activa	13
Determinación de Parámetros Físicos y Químicos del Suelo.....	14
Resultados y Discusión.....	15
Conclusiones	26
Recomendaciones.....	27
Referencias.....	28
Anexos.....	32

Índice de Figuras

Figura 1 Localización de los sitios muestreados para la determinación de propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo: lote de frutales, agricultura orgánica, producción de granos y semillas, lote de ganado y bosque en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	11
Figura 2 Diagrama de distribución de los puntos de muestreo utilizando tres cajuelas mediante un muestreo en Zig-zag realizados en cada uno de los lotes en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	13
Figura 3 Efecto del Uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en la Actividad Microbiana del Suelo (a) Relación Hongos: Bacterias del Suelo y (b) Biomasa Microbiana Total Activa (mg.g^{-1}).	17
Figura 4 Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en a) la Densidad Aparente del Suelo y el b) Espacio Poroso del Suelo.	19
Figura 5 Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en a) el Contenido de Carbono Orgánico del Suelo (%) b) el Contenido de Carbono Orgánico del Suelo Almacenado en la Capa Arable (t ha^{-1}) c) Contenido de Nitrógeno Total del Suelo (%) y d) relación Carbono: Nitrógeno del Suelo.	22
Figura 6 Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en el pH del suelo.	25

Índice de Anexos

Anexos A Descripción Textural y Contenido de Humedad	32
Anexos B Relación Hongos: Bacterias	33
Anexos C Biomasa Total Activa	34
Anexos D Densidad Aparente	35
Anexos E Contenido de Espacio Poroso	36
Anexos G Contenido de Carbono Orgánico del Suelo.....	37
Anexos H Contenido de Carbono Orgánico Almacenado en la Capa Arable	38
Anexos I Contenido de Nitrógeno Total del Suelo	39
Anexos J Relación Carbono: Nitrógeno del Suelo	40
Anexos K pH del Suelo	41
Anexos L Delimitación y Realización de las Cajuelas	42
Anexos M Recolección de las Muestras de Suelo	43
Anexos N Toma de la Densidad Aparente	44
Anexos O Medición del Contenido de Humedad del Suelo	45
Anexos P Traslado y Almacenamiento en el Laboratorio de Suelos.....	46

Resumen

El uso de la tierra es una de las principales actividades antrópicas que genera un impacto directo en las propiedades más fundamentales del suelo. A partir de esto surge la agricultura regenerativa la cual tiene como objetivo principal restaurar las funciones del suelo. Para lograrlo, es importante entender que el suelo está estructurado por una red alimentaria principalmente dominado por hongos y bacterias quienes son las dos rutas principales de descomposición de la materia orgánica. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del uso de la tierra en la relación Hongos: Bacterias (H:B) del suelo, en la biomasa microbiana total activa y en sus propiedades fisicoquímicas relacionadas, en la profundidad de la capa arable. Este experimento se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Se utilizó un diseño cuasiexperimental en donde se seleccionaron cinco lotes con manejo contrastante, un lote de bosque, agricultura orgánica, ganado, frutales y producción de granos y semillas. La relación H:B del suelo se determinó mediante el método respiración inducida por sustrato con inhibición selectiva. Todos los parámetros evaluados presentaron diferencias significativas entre al menos dos de los cinco lotes. El lote de bosque presentó una relación H:B mayor a 1 ($p < 0.001$), lo que indica que es un suelo dominado por hongos, el resto de los lotes bajo uso agrícola presentaron dominancia de biomasa bacteriana con respecto a hongos. La biomasa total activa, contenido de carbono orgánico y nitrógeno total fue mayor en el lote de bosque y ganado ($p < 0.001$), en donde el lote de ganado presentó el mayor contenido de carbono orgánico almacenado. Se establece que el uso de la tierra afecta la relación H:B del suelo y sus propiedades relacionadas, en donde suelos sin ningún tipo de intervención presentan mejores parámetros físicos, químicos y biológicos.

Palabras clave: agricultura regenerativa, carbono orgánico, relación Hongos:Bacterias, uso de la tierra.

Abstract

Land use is one of the main anthropic activities that generates a direct impact on main soil properties. From this arises regenerative agriculture whose main objective is to restore soil functions. To achieve this, it is important to understand that soil is structured by a food web mainly dominated by fungi and bacteria which are the two main routes of organic matter decomposition. The main objective of this study was to evaluate the effect of land use on the soil fungi: bacteria ratio and its related physicochemical properties at the depth of the topsoil. This experiment was carried out at the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. A quasi-experimental design was used in which five plots were selected with contrasting management, a forest field, organic agriculture, livestock production, fruit trees, and grain and seed production. The soil fungi: bacteria ratio was determined using the substrate-induced respiration method with the use of fungal and bacterial inhibitors. All parameters evaluated showed significant differences between at least two of the five plots. The forest plot showed a fungi: bacteria ratio greater than 1, indicating that it is a soil dominated by fungi, the rest of the plots under agricultural use showed a dominance of bacterial biomass with respect to fungi. The total active biomass, organic carbon and total nitrogen content were higher in the forest and cattle plots, where the cattle plot had the highest organic carbon content stored. It is established that land use affects the fungi: soil bacteria ratio and its related properties, where soils without any type of intervention present better physical, chemical and biological parameters.

Keywords: fungi: bacteria ratio, land use, organic carbon, regenerative agriculture.

Introducción

El suelo es considerado la base de la producción agrícola dado que en este se cultivan el 95% de los alimentos producidos a nivel mundial (FAO 2015), por lo tanto, la seguridad alimentaria depende de su productividad (Álvarez Macías y Moreno Blanco 2014). Actualmente, el suelo está sufriendo fuertes amenazas a causa de actividades antrópicas que alteran su estructura, función y biodiversidad (Morgado et al. 2018). Dentro de las principales actividades antrópicas que alteran el suelo se encuentran la urbanización, industrialización y el cambio de uso de la tierra para la producción de cultivos (van Veen et al. 1997).

Para poder determinar el impacto de una actividad antrópica en el suelo, es necesario realizar algún tipo de análisis. En el manejo tradicional del suelo, generalmente se realizan análisis físicos y químicos para establecer su fertilidad y calidad para la producción agrícola, pero es poco común analizar las características biológicas para usarlas como referencia de manejo o como un indicador de respuesta ante cambios en el uso del suelo; esto no debería de ser así, ya que los organismos presentes en el suelo interfieren en sus procesos más importantes; tales como el ciclo de nutrientes, el movimiento y retención de agua, supresión de enfermedades, degradación de contaminantes y formación de la estructura del suelo (van Veen et al. 1997).

Debido a los efectos negativos generados por la agricultura convencional, surge la agricultura regenerativa, la cual es una filosofía orientada a restaurar las funciones del suelo, minimizar su alteración, asegurar la presencia de raíces vivas todo el año y mantener la cobertura del suelo (Newton et al. 2020), generando así un suelo saludable con una alta abundancia y diversidad de microorganismos benéficos.

Los principales grupos de microorganismos en el suelo son los hongos y las bacterias, los cuales representan aproximadamente el 85% de su fracción viva. Ambos grupos de microorganismos cumplen labores importantes en el funcionamiento de la planta y la actividad del suelo, generando cambios químicos y biológicos, como la descomposición de la materia orgánica, mineralización y

ciclaje de nutrientes (Pfenning y Magalhães de Abreu 2000), dando origen a la red alimentaria del suelo, definida como el conjunto de microorganismos que viven en el suelo y sus interacciones

Las dos rutas principales de descomposición de la materia orgánica son vía bacterias y vía hongos, las cuales incluyen cada uno de los depredadores de estos grupos de microorganismos (Rüter et al. 1993; Hooper et al. 2000). Por lo tanto, la comparación de la biomasa de Hongos – Bacterias es un indicador de esas dos rutas de la red alimentaria del suelo (Coleman et al. 2018). A partir de ello, se establece la relación Hongos:Bacterias (H:B), la cual, es una medida de qué proporción de la comunidad microbiana son hongos en comparación con la proporción de la comunidad microbiana que son bacterias (Wang et al. 2019). Este parámetro al ser un indicador de la actividad de esta red trófica que sucede en el suelo podría llegar a ser considerado un indicador de salud del suelo, dado que en suelos sanos o sin intervención se ha reportado que esta proporción puede ser alta (Vries et al. 2006).

Factores como el uso del suelo influyen en la estructura de la comunidad microbiana (Guo et al. 2019). Investigaciones han demostrado que los suelos manejados de forma intensiva o bajo agricultura convencional tienen una menor presencia de hongos que bacterias (Bailey et al. 2002). Una alta relación H:B en el suelo es un indicativo de sistemas agrícolas más sostenibles (Pfenning y Magalhães de Abreu 2000), esta relación puede variar de acuerdo con múltiples factores como el manejo de la tierra el cual determina en gran medida la red alimentaria del suelo y la población de Hongos y Bacterias presentes (Valle et al. 2021).

El cambio en la comunidad de microorganismos es mayor cuando el manejo afecta significativamente las condiciones del suelo (Thomson et al. 2015), pero los microorganismos responden de manera diferente a las prácticas realizadas y a su nivel de intensidad (Hartmann et al. 2015), por lo tanto, cada caso debe ser analizado de manera particular para determinar cómo el manejo impacta en las comunidades microbianas del suelo.

La Soil Food Web School (2022), indica que la sucesión de las plantas es causada por la sucesión biológica de suelo y que cada cultivo forma parte de esa línea de sucesión, por lo tanto, posee una relación H:B ideales para su correcto desarrollo la cual puede ser manejable mediante prácticas al suelo. Por esta razón, la determinación de la relación H:B podría indicarnos cuál es el impacto que se ha generado por el uso del suelo y cuál es la aptitud o vocación de ese suelo de acuerdo con sus comunidades microbianas.

En atención a lo anteriormente expuesto, se estableció como objetivo del presente estudio el evaluar el efecto del uso de la tierra en Zamorano en la relación H:B del suelo, la biomasa microbiana total activa de la capa arable y sus parámetros fisicoquímicos relacionados. El experimento fue realizado en cinco lotes con manejo contrastante: bosque, ganadería, frutales, agricultura orgánica y producción de granos y semillas.

Dado a las problemáticas que ocurren en la actualidad debido al uso inadecuado de la tierra, se reconoce que el manejo de suelos es importante, puesto que las pérdidas y degradación de este recurso han incrementado en una forma progresiva, alcanzando hasta 24.000 millones de toneladas de pérdidas anuales de la capa fértil (ONU 2019). Por lo tanto, este proyecto pretende ser una herramienta de planificación para la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en la que se busca incorporar la relación Hongos: Bacterias como un indicador de sostenibilidad, salud y calidad del suelo y sus ecosistemas adyacentes. Estos principios están estrechamente relacionados con la Agricultura regenerativa, la cual tiene como uno de sus objetivos principales la conservación, restauración y manejo adecuado del suelo.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del uso de la tierra en Zamorano en la relación Hongos:Bacterias del suelo, en su biomasa microbiana total activa y en las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la microbiota del suelo.

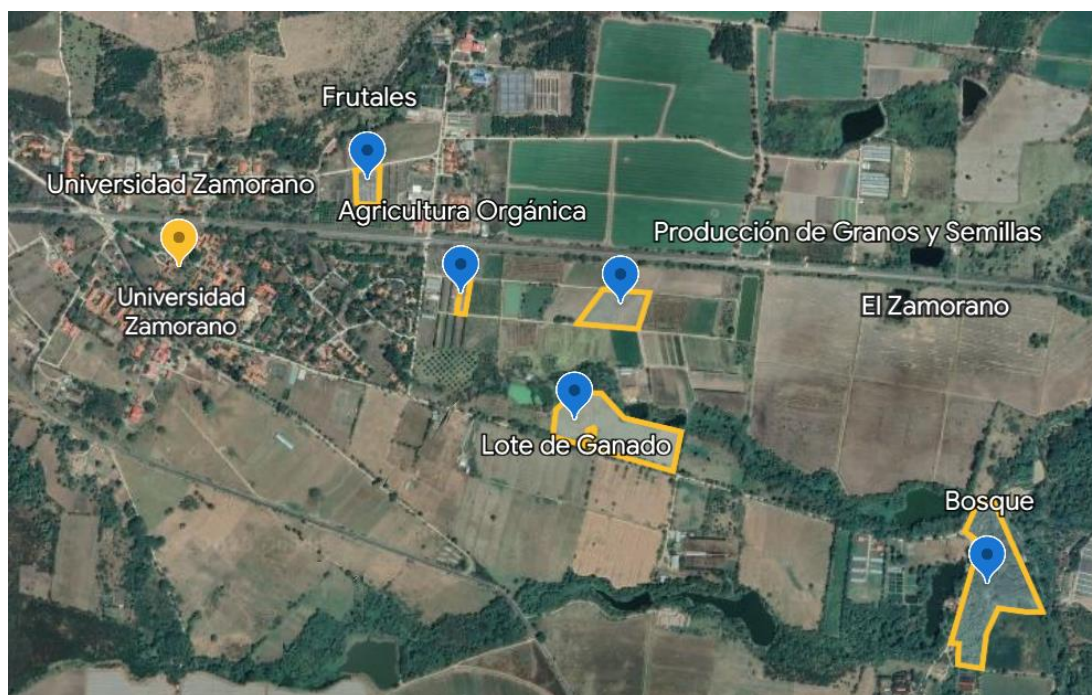
Materiales y Métodos

Localización

Este estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Valle de Yegüare, localizado en el Municipio San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras, ubicado a $87^{\circ} 00' 40''$ de longitud Oeste y $14^{\circ} 00' 36''$ de latitud Norte, a 800 msnm. Este Valle presenta una temperatura media anual de 26°C , precipitación de 1200 a 1300 mm, humedad relativa del 65% y un clima cálido seco bajo un régimen de precipitación bimodal. El área de estudio consta de cinco lotes que comprenden áreas con distintos manejos: Lote de ganado $14^{\circ}00'14''$ N $86^{\circ}59'55''$ W, Lote Frutales 4: $14^{\circ}00'44''$ N $87^{\circ}00'21''$ W, Bosque: $14^{\circ}00'04''$ N $86^{\circ}59'18''$ W, Producción de granos y semillas: $14^{\circ}00'32''$ N $86^{\circ}59'55''$ W, y Agricultura Orgánica: $14^{\circ}00'30''$ N $87^{\circ}00'13''$ W (Figura 1).

Figura 1

Localización de los sitios muestreados para la determinación de propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo: lote de frutales, agricultura orgánica, producción de granos y semillas, lote de ganado y bosque en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Diseño y Establecimiento del Experimento

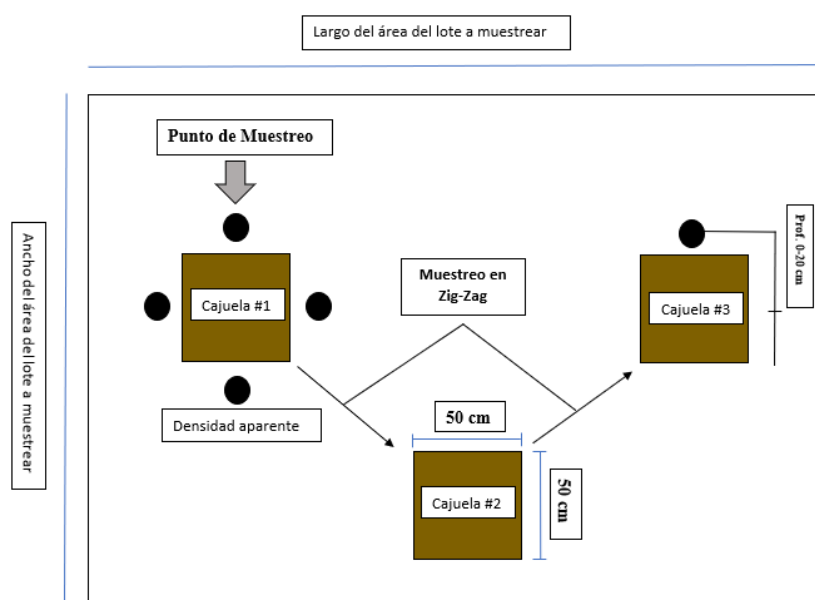
Se utilizó un diseño cuasi experimental, constituido de cinco tratamientos y tres repeticiones, siendo los tratamientos equivalentes al manejo realizado en cada uno de los lotes y las repeticiones a los sitios de muestreo. Para esta investigación se seleccionaron cinco lotes con manejos contrastante con las siguientes características: bosque, producción de granos y semillas, frutales, ganado bovino y agricultura orgánica.

Muestreo de Suelos

El muestreo se realizó en época seca. Por cada lote se tomaron tres muestras compuestas a dos profundidades de muestreo de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm, cada una de las profundidades fueron analizadas en laboratorio por separado, pero expresadas en conjunto como profundidad 0 – 20 cm para su análisis estadístico. Cada muestra compuesta tenía un peso de aproximadamente 1 kg, dicha muestra estuvo compuesta de un total de tres submuestras provenientes de las tres caras de la cajuela, la cara restante se utilizó para tomar la muestra indisturbada para la determinación de la densidad aparente y así posteriormente obtener el contenido de Carbono Orgánico expresado en $t\ ha^{-1}$. (Figura 2) En total se tomaron 30 muestras compuestas, dichas muestras fueron guardadas en refrigeración a 4°C previo a su análisis microbiológico en laboratorio. En el caso de las muestras para análisis fisicoquímico se conservaron en un lugar fresco hasta el día del procesamiento y análisis.

Figura 2

Diagrama de distribución de los puntos de muestreo utilizando tres cajuelas mediante un muestreo en Zig-zag realizados en cada uno de los lotes en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Variables Medidas

En este estudio se evaluó la relación Hongos:Bacterias, la biomasa microbiana total activa, el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total, relación C: N, pH, densidad aparente, contenido de humedad y textura.

Determinación de la Relación Hongos: Bacterias del Suelo y Biomasa Total Activa

El contenido de biomasa fúngica y bacteriana se determinó haciendo uso del método, respiración inducida por sustrato. Para este experimento se implementó un proceso de inhibición selectiva mediante el uso de cicloheximida al 0.2% y cloranfenicol al 0.1% como inhibidores de actividad fúngica y bacteriana respectivamente. Se pesaron 20 gramos de suelo previamente tamizados, se colocaron en recipientes de vidrio con 250 mL de capacidad, se mezclaron con 160 mg de glucosa diluidos en 5 mL de agua destilada y 2 mL de inhibidores microbianos. El CO₂ liberado durante el período de incubación de 5 horas a 25° C, fue atrapado en una solución de NaOH (0.1M) y

titulado con HCl (0.1 M). La biomasa fúngica y bacteriana fueron determinadas por separado mediante el uso de antimicrobianos mencionados anteriormente, esta se determinó a partir del CO₂ generado por la respiración de los microorganismos, tomando en consideración que 1 mL de HCl (0.1 M) equivale a 2.2 mg de CO₂ emitido y que con un coeficiente de respiración igual a 1, se cumple que 1mg de CO₂ /100 gh=20,6 mg C-biomasa/100 g. La biomasa microbiana total activa se obtuvo a partir de la suma de la biomasa fúngica y bacteriana y fue expresada en mg g⁻¹ de suelo.

Determinación de Parámetros Físicos y Químicos del Suelo

La textura se determinó mediante el método de Bouyoucos, la densidad aparente mediante cilindros metálicos, con un volumen de 100 cm³ y la humedad del suelo se obtuvo a partir de un medidor de humedad en campo. El carbono orgánico se determinó mediante el método de Walkley-Black, el contenido de nitrógeno total se obtuvo a través del método de Kjeldahl y el pH se estableció en solución suelo y agua (1:1) por potenciometría rango de 4 a 10.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) haciendo uso del programa Infostat, para la comparación de medias se utilizó la prueba Tukey (Honestly-significant-difference) con un nivel de significancia $p < 0.05$. Para las variables que no cumplían con la premisa de igualdad de varianzas entre los tratamientos, el análisis estadístico se realizó haciendo uso del programa JASP mediante un WELCH-ANDEVA y Games-Howell test para realizar la comparación de medias entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

Descripción Textural y Contenido de Humedad del Suelo

Todos los lotes del experimento se caracterizaron por tener clases texturales medias, el lote de bosque, agricultura orgánica y frutales presentaron un suelo con textura franca, y los lotes de ganado y de producción de granos y semillas exhibieron suelos de textura franco-arenosa (Anexo A).

El contenido de humedad promedio en el lote de Bosque, agricultura orgánica y producción de granos y semillas fue de 14%, el lote de frutales y el lote de ganado presentaron un contenido de humedad de 8.47% y 9.25%, respectivamente (Anexo A).

Actividad Microbiana

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, señalando que existe un efecto del uso del suelo de los lotes evaluados sobre la actividad microbiana. Como se observa en la (Figura 3a y Anexo B), la relación Hongos:Bacterias (H:B) fue significativamente mayor en el suelo de bosque, en comparación a los lotes de Agricultura Orgánica, Frutales, Ganado y Producción de Granos y Semillas, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 3a y Anexo B). El bosque presentó dominancia de biomasa fúngica sobre biomasa bacteriana, el resto de los lotes presentaron mayor biomasa bacteriana que fúngica, lo cual concuerda con lo reportado por Ananyeva et al. (2015) en donde establece que los sitios naturales o con menor intervención presentan mayor relación H:B que en los suelos agrícolas. Esto posiblemente podría estar relacionado a factores como la aplicación de fertilizantes nitrogenados como lo demuestra Vries et al. (2006) quienes en su estudio encontraron que altos niveles de fertilización nitrogenada tendían a disminuir la relación H:B del suelo. Bailey et al. (2002) reportaron un resultado similar, demostraron que los suelos con cultivos de producción de granos y semillas presentaron relación H:B menores a 1, significativamente menor a lotes con prácticas de restauración en donde la biomasa fúngica fue dominante. Otra de las posibles causas podría ser el tipo de labranza realizado en dichos lotes; Gao M et al. (2022), encontraron que, suelos con labranza cero presentaron mayor

diversidad y abundancia fúngica que aquellos bajo sistemas convencionales. El valor de la relación H:B reportado en lote de ganado se relaciona con lo encontrado por Mencil et al. (2022) en donde establece que los pastizales tienden a presentar dominancia de actividad bacteriana con respecto al resto de microorganismos presentes. De acuerdo con Hoorman (2016) suelos con dominancia de biomasa fúngica tienden a presentar mayor transformación de materia orgánica recalcitrante en formas aprovechables por otros tipos de microorganismos, lo que aumenta el porcentaje de materia orgánica fácilmente disponible. Por otro lado, suelos con alta presencia de bacterias generan una rápida tasa de mineralización de la materia orgánica a base de compuestos simples y en suelos con bajo nivel de intervención ayudan a la formación de estructura mediante la unión de micro agregados.

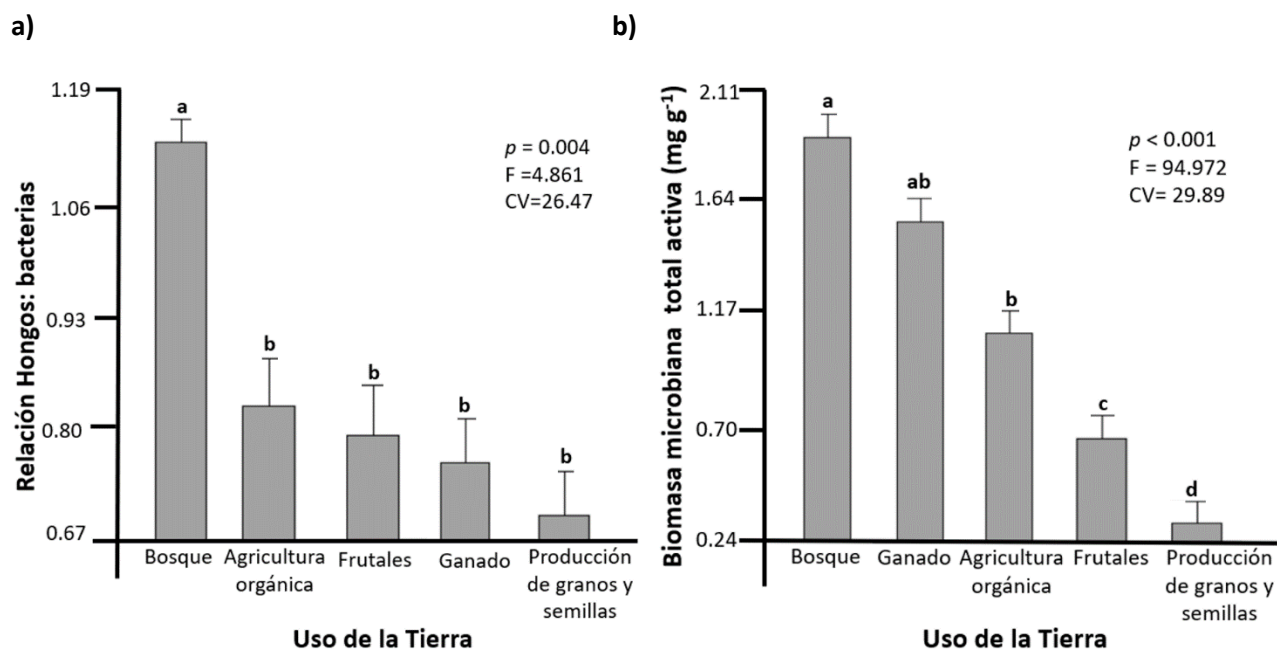
Los resultados indican que la biomasa total activa del bosque no presentó diferencias significativas con el lote de ganado, pero sí con los lotes de agricultura orgánica, frutales y producción de granos y semillas, los cuales presentaron diferencias estadísticas entre sí. El lote de agricultura orgánica presentó diferencias significativas con respecto a todos los lotes, excepto con el lote de ganado. El lote de bosque y producción de granos y semillas presentaron el mayor y menor contenido de biomasa microbiana activa, respectivamente (Figura 3b y Anexo C).

Esto concuerda con lo presentado por Cruz Ruiz A et al. (2012) en donde suelos bajo cultivos agrícolas exhibieron una biomasa microbiana significativamente menor a suelos de montaña. También coincide con lo demostrado por Laurent et al. (2020); Lepcha y Devi (2020) en donde encontraron que el uso de la tierra afectaba la biomasa microbiana del suelo, siendo mayor el contenido de carbono microbiano en suelos sin intervención, seguido de pastizales, caso similar al del presente estudio. El lote de ganado a pesar de presentar una relación H: B menor a 1, es decir, un suelo dominado por bacterias, presentó un alto contenido de biomasa microbiana, lo cual podría atribuírsele al alto contenido de carbono orgánico presente en dicho lote, esto es explicado por Liddle et al. (2020), quien encontró que existe una correlación positiva entre el contenido de carbono orgánico del suelo y el contenido de biomasa microbiana, esto también podría explicar el alto contenido de biomasa total

activa en el suelo bajo el bosque y el bajo contenido en el lote de frutales y producción de granos y semillas. En el caso del lote de Agricultura orgánica, este presentó un alto contenido de biomasa microbiana, lo cual podría estar relacionado a ciertas prácticas como la adición de residuos orgánicos, lo cual, resulta en un aumento de la actividad microbiana total (Araújo y Melo 2010). El lote de frutales presenta un bajo contenido de biomasa microbiana total activa, pero sigue siendo mayor al lote de producción de granos, esto probablemente a que, a pesar de ser un lote con bajo contenido de carbono orgánico, presenta un nivel bajo de intervención del suelo, lo que quizás ha conllevado a conservar de manera moderada su actividad microbiana; que, aunque, no tan favorables como los sitios naturales, pero sí, con mejores promedios que lo sitios con un manejo intensivo.

Figura 3

Efecto del Uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en la Actividad Microbiana del Suelo (a) Relación Hongos: Bacterias del Suelo y (b) Biomasa Microbiana Total Activa (mg.g^{-1}).



Densidad Aparente y Espacio Poroso del Suelo

El análisis de varianza mostró que el lote de bosque presenta una densidad aparente significativamente más baja que el resto de los lotes (0.97 ± 0.009) (Figura 4a y Anexo D). Los resultados también mostraron que no se encontraron diferencias significativas entre los lotes de frutales y de ganadería. El lote de producción de granos y semillas fue el que presentó el mayor valor de densidad aparente (1.395 ± 0.061). A su vez, en el análisis de medias se observó que el lote de bosque (63.34 ± 0.35) presentó un mayor espacio poroso en el suelo en comparación con los demás tratamientos. En cuanto al lote de Agricultura orgánica, ganado y frutales, no se encontraron diferencias significativas entre sí ($p \geq 0.05$) (Figura 4b y Anexo E). De igual manera, el lote de frutales no presentó diferencias significativas en comparación con el lote producción de granos y semillas el cual presentó diferencias significativas con el lote de frutales y ganado ($p \leq 0.05$). El lote de producción de granos y semillas mostró el porcentaje de espacio poroso más bajo de todos los lotes, con un valor de 47.34 ± 1.321 .

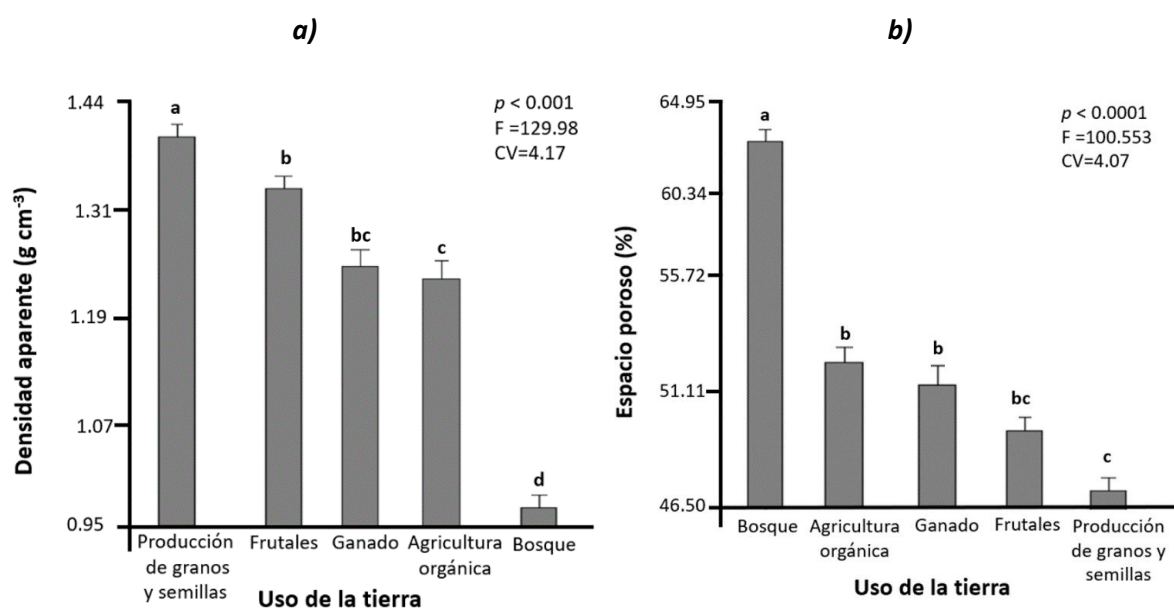
La densidad aparente está estrechamente relacionada con las prácticas de manejo de suelos tal y como indica Salamanca Jimenez y Sadeghian Khalajabadi (2005) y tiene un impacto directo en la productividad, su importancia radica en su estrecha relación con otras propiedades del suelo (Wild 1992). A medida que aumenta la densidad aparente, se produce una mayor compactación que afecta el contenido de humedad y la circulación de oxígeno, lo que limita el crecimiento de las raíces (Wolf y Snyder 2003). Esto reduce el espacio poroso, el cual, a su vez, está determinado por la materia orgánica del suelo y la actividad microbiana (Barry 1999). Nuestros hallazgos concuerdan con la tendencia de cómo funciona la densidad aparente en los tratamientos donde se minimiza la perturbación, y a medida que aumenta el porcentaje de materia orgánica, disminuye la densidad aparente y por ende, el espacio poroso, tal como lo describen Stine y Weil (2002).

La baja densidad aparente y alto porcentaje poroso en el bosque, podría deberse al mayor contenido de materia orgánica presente, debido a la contribución de residuos vegetales de la

vegetación existente en ese lote. Este proceso ayuda a mantener y mejorar la estructura del perfil del suelo y de igual manera, el porcentaje de espacio poroso tiene una relación directa con la densidad aparente que concuerda con lo descrito por Salamanca Jimenez y Sadeghian Khalajabadi (2005) quienes afirman que el aumento de la densidad aparente tiene como consecuencia un aumento en la compactación del suelo y por ende una disminución en su porosidad, lo cual impide la actividad microbiana y por lo tanto afecta el crecimiento correcto de las plantas. Esta investigación nos permite inferir que las prácticas de manejo aplicadas en los lotes tienen una influencia directa en el estado de las propiedades físicas del suelo.

Figura 4

Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en a) la Densidad Aparente del Suelo y el b) Espacio Poroso del Suelo.



Carbono Orgánico del Suelo

El contenido de carbono orgánico del suelo fue estadísticamente igual entre los lotes de bosque (3.06 ± 0.09) y ganadería (2.65 ± 0.20), pero significativamente más altos que el resto de los lotes (Figura 5a y Anexo F). Por otro lado, el carbono orgánico del lote de agricultura orgánica fue significativamente más alto que el de los lotes de frutales y de producción de granos y semillas, de

igual manera, no se observaron diferencias significativas entre el lote de frutales y producción de granos y semillas, en donde el lote de producción de granos y semillas presentó el contenido de carbono orgánico más bajo de todos los lotes, con un valor de 0.88 ± 0.05 .

El carbono orgánico almacenado en la capa arable del suelo, expresado en toneladas por hectárea, mostró ser dependiente del uso del suelo. Los resultados destacan que el carbono almacenado fue significativamente mayor en el lote de ganado (70.497 ± 3.563) en comparación a los demás lotes (Figura 5b y Anexo G). El carbono almacenado en la capa arable del suelo de los lotes de bosque, agricultura orgánica, frutales y producción de granos y semillas fue significativamente diferente entre estos ($p \leq 0.05$). El lote de producción de granos y semillas exhibió el contenido de carbono orgánico más bajo de todos los lotes, con un valor de (24.44 ± 1.37) toneladas por hectárea.

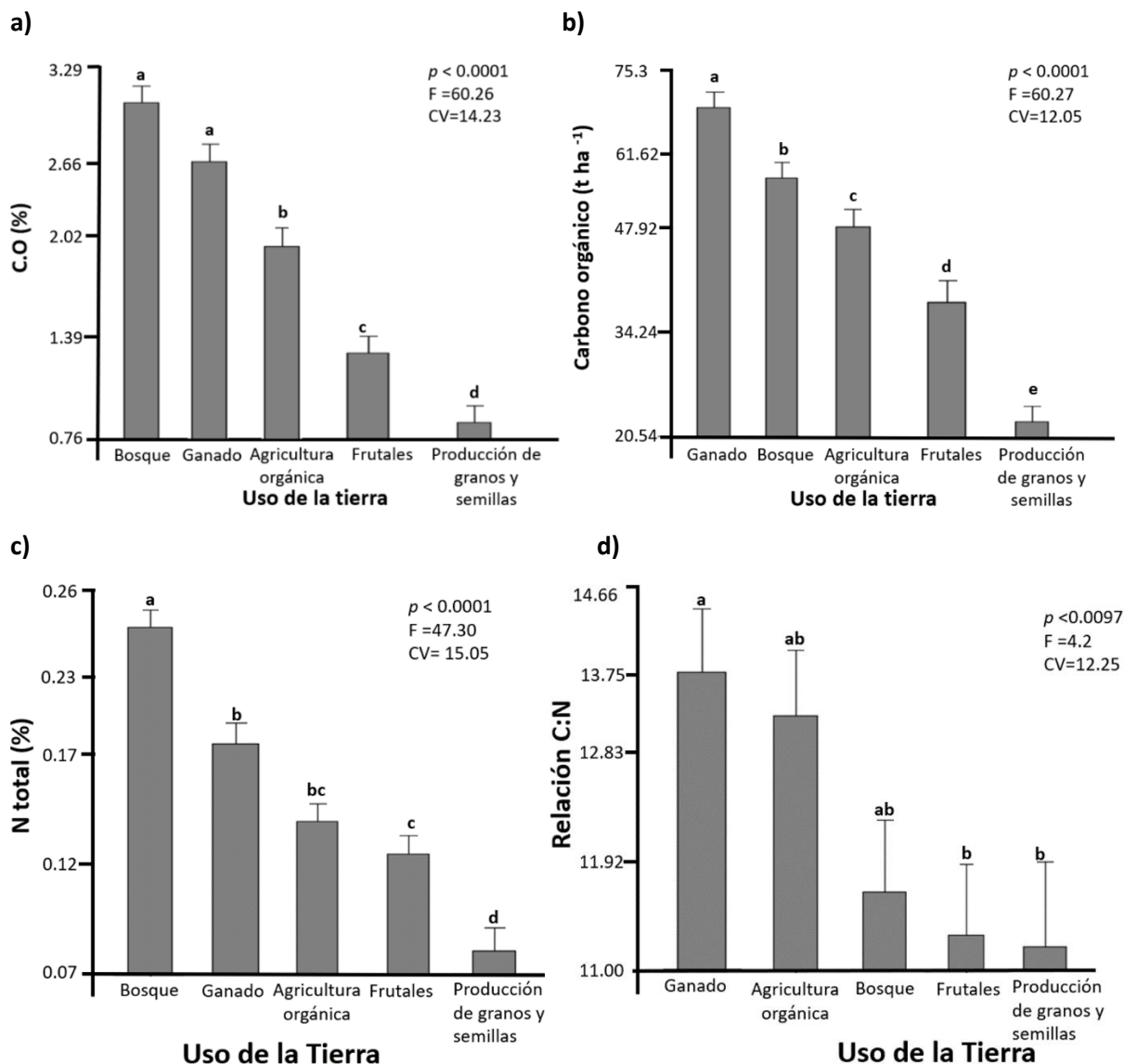
Los resultados obtenidos indican que suelos bajo prácticas de conservación o sin ningún nivel de intervención como el bosque, tienden a presentar mayor acumulación de carbono orgánico debido a que la perturbación suele ser mínima y existe un flujo constante de captura de carbono atmosférico (Chan 2001). En el lote de ganado se exhibe un contenido elevado de carbono orgánico, lo cual se atribuye al hecho de que las pasturas tienen una habilidad destacada para capturar carbono de manera eficiente. Esto se debe al nivel de cobertura vegetal abundante con predominancia de gramíneas que reduce la mineralización de la materia orgánica y por ende, limita la pérdida de carbono (Carvajal et al. 2009), y concuerda con los hallazgos de Chan (2001), quien encontró que lotes bajo sistemas de pastizales presentan mayor contenido de carbono orgánico con respecto a lotes destinados a producción intensiva de cultivos. En suelos destinados a usos agrícolas, los niveles de carbono orgánico están expuestos a la mineralización de la materia orgánica, disminución de la fertilidad debido a la falta de cobertura vegetal, erosión y prácticas convencionales (Fassbender y Bornemisza 1994). Un tercio de los gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos se derivan de los cambios en el uso de la tierra (Allen 2015), en donde el suelo juega un papel crucial en la captura

de carbono atmosférico, por lo tanto, se debe evitar su alteración, evitando las prácticas de manejo intensivas que cambian sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Lefève et al. 2018).

El contenido de carbono orgánico almacenado en el suelo ($t\ ha^{-1}$) está estrechamente relacionado con la densidad aparente y otras propiedades físicas y químicas del suelo (Wang et al. 2010). Medir el carbono orgánico en toneladas por hectárea nos permite cuantificar la cantidad de carbono presente a una determinada profundidad del suelo (Lefève et al. 2018). Los resultados obtenidos indican que el lote de ganado presenta un mayor contenido de carbono orgánico almacenado, a pesar de exhibir una densidad aparente más alta que el suelo de bosque. Esto se debe a la capacidad de captura y retención de carbono que poseen los pastizales debido a sus sistemas radiculares fasciculados y extensos, como lo indica Bojórquez Serrano et al. (2015). Además, el ciclo de crecimiento de las gramíneas es más rápido y tienen un mayor aporte de raíces muertas, esto complementado con la incorporación de estiércol bovino proveniente de la producción ganadera. Por otro lado, el lote de bosque muestra un alto contenido de carbono orgánico almacenado, aunque menor que el lote de ganado. Esto se debe a que los bosques fijan el carbono principalmente en su biomasa aérea (Aguilar-Arias 2011). En cuanto al lote destinado a la producción de granos y semillas, se evidencia que el manejo intensivo del suelo conlleva a un menor aporte de materia orgánica y a una baja captura de carbono, lo cual puede tener un impacto negativo en la actividad microbiana del suelo (Jaurixje et al. 2013).

Figura 5

Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en a) el Contenido de Carbono Orgánico del Suelo (%) b) el Contenido de Carbono Orgánico del Suelo Almacenado en la Capa Arable ($t\ ha^{-1}$) c) Contenido de Nitrógeno Total del Suelo (%) y d) relación Carbono: Nitrógeno del Suelo.



Nitrógeno Total (%) y Relación Carbono: Nitrógeno del Suelo

El contenido de nitrógeno total fue mayor en el lote de bosque y menor en el suelo de producción de granos y semillas, ambos presentando diferencias significativas entre sí y con respecto

al resto de los lotes (Figura 5c y Anexo H). La parcela bajo la producción de frutales y ganado presentaron diferencias significativas entre ambos, pero no con respecto al lote bajo agricultura orgánica. Resultados similares fueron los reportados por Zhu et al. (2021) en donde encontraron que los sitios naturales y las pasturas presentaban un alto potencial de almacenamiento de Nitrógeno al ser comparado con suelos agrícolas. El bajo nivel de nitrógeno disponible en el lote de producción de granos y semillas podría ser explicado por lo encontrado por Mahmud et al. (2021) en donde establecen que suelos bajos sistemas agrícolas convencionales intensivos presentan altas pérdidas de nitrógeno mediante procesos como la volatilización del amoníaco y lixiviación de nitratos. El alto contenido de nitrógeno en el lote de ganadería podría ser atribuible al depósito del estiércol de ganado en el suelo tal y como lo indican Das et al. (2023) en donde establecen que el estiércol mejora la salud del suelo, aumenta el contenido de nitrógeno y vuelve más estable el carbono orgánico presente.

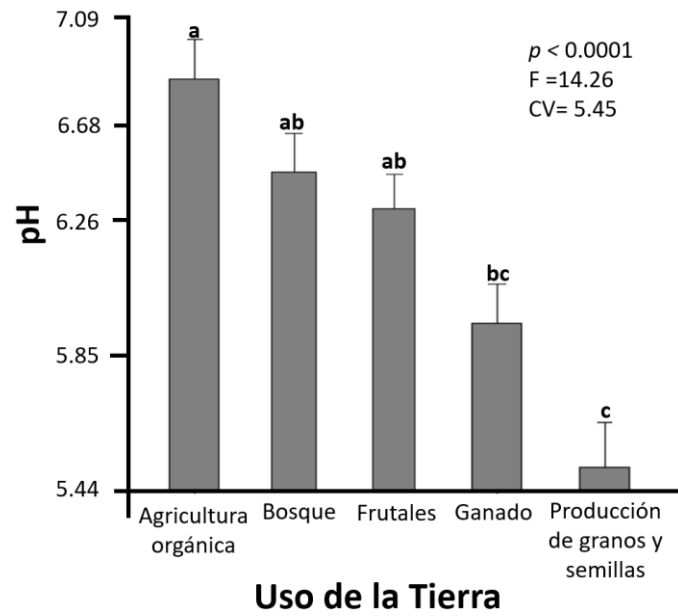
La relación C: N del suelo fue significativamente mayor en el lote de ganado con respecto al lote de frutales y producción de granos y semillas los que presentaron la relación C: N más baja de todos los tratamientos evaluados (Figura 5d y Anexo I). Sin embargo, los suelos bajo el bosque y agricultura orgánica no presentaron diferencias significativas cuando fueron comparados con el resto de los lotes. Es importante mencionar que el nitrógeno total del suelo está directamente relacionado con el contenido de carbono orgánico, tal y como lo indica Julca-Otiniano et al. (2006) se estima que, del total de materia orgánica presente un 5% es nitrógeno, por lo que suelos con mayor contenido de material orgánico, tienden a presentar mayor contenido de nitrógeno. A menudo, esta relación tiende a ser constante en suelos bajo manejo convencional tal y como lo indica Soto-Mora et al. (2016) en donde establece que este valor suele mantenerse en valores cercanos a 10. La relación C: N puede ser un indicativo de la velocidad de mineralización de la materia orgánica, en donde valores más bajos representan procesos más rápidos de transformación y por ende mayor liberación de CO₂ hacia la atmósfera (Guo et al. 2019).

pH del Suelo

El pH del suelo fue mayor en el lote de Agricultura orgánica el cual presentó diferencias significativas con respecto al lote de ganado y producción de granos y semillas, pero no en relación con el lote de bosque y frutales los cuales no presentaron diferencias entre sí y en relación con el lote de ganado (Figura 6 y Anexo J). El lote de producción de granos y semillas presentó el valor de pH más bajo el cual fue estadísticamente diferente al resto de los lotes con excepción del lote de ganado. Esto concuerda con lo establecido por Kunhikrishnan et al. (2016), en donde indica que una de las principales causas de la disminución del pH del suelo, es debido a la constante aplicación de fertilizantes nitrogenados, lo que podría explicar lo encontrado en el presente estudio en donde el lote con manejo intensivo como el de producción de granos y semillas, presenta un valor bajo de pH en comparación con sitios naturales como el bosque. Los resultados de esta investigación concuerdan con los reportados por Laurent et al. (2020) en donde encontró que la aplicación de abonos orgánicos al suelo generaba un incremento del valor del pH. También concuerda con lo reportado por Benti y Balemi (2016) donde establecen que los suelos bajo bosque presentan pH cercanos a la neutralidad o ligeramente ácidos, lo cual es favorable cuando se comparan con suelos agrícolas.

Figura 6

Efecto del uso de la tierra en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras en el pH del suelo.



Conclusiones

Los resultados obtenidos del presente estudio indican que el uso de la tierra afecta la relación Hongos:Bacterias del suelo, siendo los sitios naturales sin intervención los que presentan mayor relación H: B cuando son comparados con suelos bajo un manejo agrícola convencional.

La biomasa microbiana total activa se ve afectada por el uso de la tierra, en donde sitios naturales o suelos bajo pasturas, presentan el mayor contenido de biomasa microbiana total activa con respecto a suelos con un nivel de intervención medio, destinados a la producción orgánica o de frutales, los cuáles son superiores a los valores exhibidos por lotes con manejo intensivo y con un mayor grado de intervención como suelos dedicados a la producción de granos y semillas.

El manejo de la tierra afecta las principales propiedades fisicoquímicas del suelo, siendo los sitios sin o con un bajo nivel intervención, los que presentan los mejores indicadores cuando son comparados con suelos bajo manejo intensivo y con un nivel de intervención más alto.

La relación Hongos:Bacterias y biomasa microbiana total activa fue favorable en aquellos lotes que presentaron un mayor contenido de carbono orgánico en el suelo, mostrando ciertas tendencias de correlación entre sí.

Recomendaciones

Evaluar el efecto de la época del año en la biomasa total activa y la relación Hongos:Bacterias del suelo, para establecer cómo se comportan estos parámetros biológicos en los períodos secos y lluviosos.

Realizar un estudio de la relación Hongos:Bacterias del suelo en sitios naturales con distinta vegetación, para determinar su efecto en las comunidades microbiológicas del suelo.

Evaluar el rendimiento de los cultivos bajo suelos con distintos niveles de relación Hongos:Bacterias para determinar su efecto en la productividad agrícola.

Realizar un estudio de correlación entre los principales parámetros fisicoquímicos y la relación Hongos:Bacterias del suelo y la biomasa total activa.

Determinar la relación Hongos:Bacterias del suelo bajo métodos con un mayor alcance de detalle como secuenciación de ADN o extracción y análisis de ácidos grasos de fosfolípidos, complementándolo con un análisis de diversidad y abundancia microbiana.

Referencias

- Aguilar-Arias H. 2011. "Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica" [Tesis]. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. es. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5746>.
- Allen MR. 2015. Climate change 2014: Synthesis report. Pachauri RK, Meyer L, editores. [Geneva]: [IPCC, WMO]. 150 p. ISBN: 978-92-9169-143-2.
- Álvarez Macías A, Moreno Blanco A. 2014. Informe sobre el Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en México, 2012, Sagarpa, Sedesol, insp y fao, 2013. [sin lugar]: [sin editorial]. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/download/234/232>.
- Ananyeva ND, Castaldi S, Stolnikova EV, Kudeyarov VN, Valentini R. 2015. Fungi-to-bacteria ratio in soils of European Russia. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61(4):427–446. en. doi:10.1080/03650340.2014.940916.
- Araújo ASF de, Melo WJ de. 2010. Soil microbial biomass in organic farming system. *Cienc. Rural*. 40(11):2419–2426. en. <https://www.scielo.br/j/cr/a/ZKZBMzq9Sx4skwWXQTshTJm/?lang=en>. doi:10.1590/S0103-84782010005000192.
- Bailey V, Smith J, Bolton H. 2002. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*. 34(7):997–1007. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071702000330>. doi:10.1016/S0038-0717(02)00033-0.
- Barry AN. may. 1999. Soil biological, chemical, and physical dynamics during transition to non-thermal residue grass-seed management systems. [sin lugar]: Oregon State University. <https://ir.library.oregonstate.edu/dspace/handle/1957/7312>.
- Benti F, Balemi T. 2016. Effect of land use types in Miesa Watershed on soil quality and productivity. *Sci. Technol. Arts Res. J*. 4(3):83. doi:10.4314/star.v4i3.13.
- Bojórquez Serrano JI, Castillo Pacheco LA, Hernández Jiménez A, García Paredes JD, Madueño Molina A. 2015. Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*. 36(4):63–69. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0258-59362015000400008.
- Carvajal AF, Feijoo A, Quintero H, Rondón MA. 2009. Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisaje Andinos Colombianos. *R.C. Suelo Nutr. Veg*. 9(3). en. doi:10.4067/s0718-27912009000300005.
- Chan KY. 2001. Soil particulate organic carbon under different land use and management. *Soil Use and Management*. 17(4):217–221. doi:10.1111/j.1475-2743.2001.tb00030.x.
- Coleman DC, Callaham MA, Crossley DA. 2018. *Fundamentals of Soil Ecology: Site characterization, data analysis and case histories*. Third Edition. London: Elsevier AP Academic Press. 369 p. ISBN: 9780128052525. en.
- Cruz Ruiz A, Cruz Ruiz E, Aguilera Gómez LI, Norman Mondragón HT, Franco Maass S, Nava Bernal G, Dendooven L, Reyes Reyes BG. 2012. Microbial biomass in mountain soils with different uses: a laboratory study. *Terra Latinoamericana*. 30(3):221–228. en.

- Das S, Liptzin D, Maharjan B. 2023. Long-term manure application improves soil health and stabilizes carbon in continuous maize production system. *Geoderma*. 430:116338. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706123000150>. doi:10.1016/j.geoderma.2023.116338.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 3 de feb. de 2023; consultado el 3 de feb. de 2023]. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>.
- Fassbender HW, Bornemisza E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. edición revisada y aumentada. San José: IICA. 420 p. (Colección Libros y materiales educativos; vol. 81). ISBN: 9789290391241. es.
- Gao M, Li H, Li M. 2022. Effect of No Tillage System on Soil Fungal Community Structure of Cropland in Mollisol: A Case Study. *Front. Microbiol.* 13:847691. eng. doi:10.3389/fmicb.2022.847691.
- Guo Z, Han J, Xu Y, Lu Y, Shi C, Ge L, Cao T, Li J. 2019. The mineralization characteristics of organic carbon and particle composition analysis in reconstructed soil with different proportions of soft rock and sand. *PeerJ*. 7:e7707. eng. doi:10.7717/peerj.7707.
- Hartmann M, Frey B, Mayer J, Mäder P, Widmer F. 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME J.* 9(5):1177–1194. eng. <https://www.nature.com/articles/ismej2014210>. doi:10.1038/ismej.2014.210.
- Hooper DU, Bignell DE, Brown VK, Brussard L, MARK DANGERFIELD J, Wall DH, Wardle DA, Coleman DC, GILLER KE, Lavelle P, et al. 2000. Interactions between Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems: Patterns, Mechanisms, and Feedbacks. *BioScience*. 50(12):1049. doi:10.1641/0006-3568(2000)050[1049:IBAABB]2.0.CO;2.
- Hoorman JJ. 2016. Role of Soil Bacteria. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 3 de feb. de 2023; consultado el 3 de feb. de 2023]. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-36>.
- Jaurixje M, Torres D, Mendoza B, Henriqez M, Contreras J. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*. 25(1):47–56.
- Julca-Otiniano A, Meneses-Florián L, Blas-Sevillano R, Bello-Amez S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia*. 24(1). doi:10.4067/S0718-34292006000100009.
- Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Bolan NS, Xu Y, Mandal S, Gleeson DB, Seshadri B, Zaman M, Barton L, Tang C, et al. 2016. Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. *Advances in Agronomy*. 139:1–71. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211316300591>. doi:10.1016/bs.agron.2016.05.001.
- Laurent C, Bravin MN, Crouzet O, Pelosi C, Tillard E, Lecomte P, Lamy I. 2020. Increased soil pH and dissolved organic matter after a decade of organic fertilizer application mitigates copper and zinc availability despite contamination. *Sci Total Environ*. 709:135927. eng. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719359224>. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135927.

- Lefève C, Rekik F, Alcantara V, Wiese L. 2018. Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 78 p. ISBN: 978-92-5-309681-7. es. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29070>.
- Lepcha NT, Devi NB. 2020. Effect of land use, season, and soil depth on soil microbial biomass carbon of Eastern Himalayas. *Ecol Process*. 9(1):1–14. En;en.
- Liddle K, McGonigle T, Koiter A. 2020. Microbe Biomass in Relation to Organic Carbon and Clay in Soil. *Soil Syst*. 4(3):41. en. <https://www.mdpi.com/763244>. doi:10.3390/soilsystems4030041.
- Mahmud K, Panday D, Mergoum A, Missaoui A. 2021. Nitrogen Losses and Potential Mitigation Strategies for a Sustainable Agroecosystem. *Sustainability*. 13(4):2400. en. <https://www.mdpi.com/1008956>. doi:10.3390/su13042400.
- Mencel J, Mocek-Płóćiniak A, Kryszak A. 2022. Soil Microbial Community and Enzymatic Activity of Grasslands under Different Use Practices: A Review. *Agronomy*. 12(5):1136. en. <https://www.mdpi.com/1622138>. doi:10.3390/agronomy12051136.
- Morgado RG, Loureiro S, González-Alcaraz MN. 2018. Changes in Soil Ecosystem Structure and Functions Due to Soil Contamination. *Soil Pollution*. 59–87. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128498736000030>. doi:10.1016/B978-0-12-849873-6.00003-0.
- Newton P, Civita N, Frankel-Goldwater L, Bartel K, Johns C. 2020. What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Front. Sustain. Food Syst*. 4:577723. English. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.577723/full?&utm_source=em. doi:10.3389/fsufs.2020.577723.
- [ONU] Organización de las Naciones Unidas. 2019. Unos 24.000 millones de toneladas de suelo fértil se pierden cada año por la desertificación. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 24 de oct. de 2021; consultado el 24 de jun. de 2023]. <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457861>.
- Pfenning LH, Magalhães de Abreu L. 2000. Hongos del suelo saprófitos y patógenos de plantas. *Manual de Biología de Suelos Tropicales*. [sin lugar]: [sin editorial].
- Ruiter PC de, van Veen JA, Moore JC, Brussaard L, Hunt HW. 1993. Calculation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant Soil*. 157(2):263–273. En;en. <https://link.springer.com/article/10.1007/bf00011055>. doi:10.1007/BF00011055.
- Salamanca Jimenez A, Sadeghian Khalajabadi S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la Zona Cafetera Colombiana. *Cenicafe*; [consultado el 25 de may. de 2023]. 56:381–397. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056%2804%29381-397.pdf>.
- Soil Food Web School. 2022. The Science of Returning Life to the Soil | Dr. Elaine Ingham. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 4 de feb. de 2023; consultado el 4 de feb. de 2023]. https://www.youtube.com/watch?v=ZrncV5z6A9M&ab_channel=Dr.Elaine%27sSoilFoodWebSchool.
- Soto-Mora ES, Hernández-Vázquez M, Luna-Zendejas HS, Ortiz-Ortiz E, García-Gallegos E. 2016. Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*; [consultado el 1 de jun. de 2023]. 3(5). <http://reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>.

- Stine M, Weil R. 2002. The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in south central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture*. 17(1):2–8. doi:10.1079/AJAA20011.
- Thomson BC, Tisserant E, Plassart P, Uroz S, Griffiths RI, Hannula SE, Buée M, Mougél C, Ranjard L, van Veen JA, et al. 2015. Soil conditions and land use intensification effects on soil microbial communities across a range of European field sites. *Soil Biology and Biochemistry*; [consultado el 4 de oct. de 2022]. 88:403–413. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071715002175>. doi:10.1016/j.soilbio.2015.06.012.
- Valle FM, Castellari C, Andreoli Y, Delfino AD, Picone L. 2021. Abundancia y distribución de la microbiota modificada por el uso del suelo en el Sudeste Bonaerense. 42(1).
- van Veen JA, van Overbeek LS, van Elsas JD. 1997. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*. 61(2):121–135. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9184007/>. doi:10.1128/membr.61.2.121-135.1997.
- Vries FT de, Hoffland E, van Eekeren N, Brussaard L, Bloem J. 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(8):2092–2103. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071706000903>. doi:10.1016/j.soilbio.2006.01.008.
- Wang X, Zhang W, Shao Y, Zhao J, Zhou L, Zou X, Fu S. 2019. Fungi to bacteria ratio: Historical misinterpretations and potential implications. *Acta Oecologica*. 95:1–11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X18300389>. doi:10.1016/j.actao.2018.10.003.
- Wang Z-M, Zhang B, Song K-S, Liu D-W, Ren C-Y. 2010. Spatial Variability of Soil Organic Carbon Under Maize Monoculture in the Song-Nen Plain, Northeast China. *Pedosphere*. 20(1):80–89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100201600960285X>. doi:10.1016/S1002-0160(09)60285-X.
- Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. [sin lugar]: [sin editorial].
- Wolf B, Snyder G. 2003. *Sustainable Soils: The Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity*. [sin lugar]: CRC Press. 376 p. ISBN: 9780367807443.
- Zhu G, Shangguan Z, Hu X, Deng L. 2021. Effects of land use changes on soil organic carbon, nitrogen and their losses in a typical watershed of the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*. 133:108443. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21011080>. doi:10.1016/j.ecolind.2021.108443.

Anexos**Anexos A***Descripción Textural y Contenido de Humedad*

Lote	Textura	Contenido de humedad
Bosque	Franco	14.40%
Agricultura orgánica	Franco	14.03%
Ganado	Franco arenoso	9.25%
Frutales	Franco	8.47%
Producción de granos y semillas	Franco arenoso	14.98%

Anexos B

Relación Hongos: Bacterias

Manejo	Profundidad	Relación Hongos: Bacterias			
		ANDEVA de Welch			Games-Howell Post Hoc Comparisons
		Valor F	GI	valor - p	Mean (\pm standard error)
Producción de granos y semillas					0.693 \pm 0.055 b
Ganado					0.747 \pm 0.067 b
Frutales	0-20 cm	4.861	4	0.004	0.794 \pm 0.064 b
Agricultura orgánica					0.843 \pm 0.056 b
Bosque					1.102 \pm 0.075 a

Anexos C

Biomasa Total Activa

Manejo	Profundidad	Biomasa total activa (mg g ⁻¹)			
		ANDEVA de Welch			Games-Howell Post Hoc Comparisons
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Bosque					1.925±0.090 a
Ganado					1.566±0.147 ab
Agricultura orgánica	0-20 cm	94.972	4	<0.001	1.103±0.079 b
Frutales					0.80±0.06 c
Producción de granos y semillas					0.321±0.026 d

Anexos D

Densidad Aparente

Manejo	Profundidad	Densidad Aparente			
		ANDEVA de WELCH		Games-Howell Post Hoc Comparisons	
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					1.395±0.061 a
Frutales					1.318±0.064 b
Ganado	0-20 cm	129.983	4	<0.001**	1.238±0.015 bc
Agricultura Orgánica					1.228±0.009 c
Bosque					0.97±0.009 d

Anexos E

Contenido de Espacio Poroso

Manejo	Profundidad	% Espacio Poroso			
		ANDEVA de WELCH			Games-Howell Post Hoc Comparisons
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					47.34±1.321 c
Frutales					49.92±0.996 bc
Ganado	0-20 cm	162.190	4	<0.0001***	53.29±0.522 b
Agricultura Orgánica					52.74±0.888 b
Bosque					63.34±0.35 a

Anexos F

Contenido de Carbono Orgánico del Suelo

Manejo	Profundidad	Carbono Orgánico (%)			
		ANDEVA			Análisis Post-Hoc Tukey
		Valor F	Gl	valor - p	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					0.88±0.05 d
Frutales					1.35±0.10 c
Agricultura Orgánica	0-20 cm	60.41	4	<0.0001***	2.00±0.07 b
Ganado					2.65±0.20 a
Bosque					3.06±0.09 a

Anexos G

Contenido de Carbono Orgánico Almacenado en la Capa Arable

Manejo	Profundidad	Carbono Orgánico (t ha ⁻¹)			
		ANDEVA			Análisis Post-Hoc Tukey
		Valor F	Gl	valor - p	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					24.44±1.37 e
Frutales	0-20 cm	60.273	4	<0.0001***	35.837±2.471 d
Agricultura Orgánica					48.85±1.766 c
Bosque					59.413±1.995 b
Ganado					70.497±3.563 a

Anexos H

Contenido de Nitrógeno Total del Suelo

Manejo	Profundidad	Nitrógeno Total (%)			
		ANDEVA			Análisis Post-Hoc Tukey
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					0.08±2.1E-03 d
Frutales					0.13±0.01 c
Agricultura Orgánica	0-20 cm	47.3	4	<0.0001***	0.15±0.01 bc
Ganado					0.18±0.02 b
Bosque					0.26±0.01 a

Anexos I

Relación Carbono: Nitrógeno del Suelo

Manejo	Profundidad	Relación Carbono: Nitrógeno			
		ANDEVA			Análisis Post-Hoc Tukey
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					11.17±0.63 b
Frutales					11.32±0.80 b
Bosque	0-20 cm	4.2	4	<0.0097**	11.68±0.51 ab
Agricultura Orgánica					13.40±0.60 ab
Ganado					13.88±0.48 a

Anexos J

pH del Suelo

Manejo	Profundidad	pH			
		ANDEVA			Análisis Post-Hoc Tukey
		Valor F	Gl	valor - <i>p</i>	Mean (± standard error)
Producción de granos y semillas					5.51±0.11 c
Ganado					6.04±0.08 bc
Frutales	0-20 cm	14.26	4	<0.0001***	6.42±0.21 ab
Bosque					6.58±0.15 ab
Agricultura Orgánica					6.88±0.11 a

Anexos K

Delimitación y Realización de las Cajuelas



Anexos L

Recolección de las Muestras de Suelo



Anexos M

Toma de la Densidad Aparente



Anexos N

Medición del Contenido de Humedad del Suelo



Anexos O

Traslado y Almacenamiento en el Laboratorio de Suelos

