

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



Proyecto Especial de Graduación
Estudio preliminar de la microbiota en suelos agrícolas de Zamorano,
Honduras

Estudiante

Jeimy Nicole Bobadilla Suero

Asesores

Eric van den Berghe, Ph.D.

Ricardo Alexander Peña Venegas, Ph.D.

Honduras, noviembre 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Agradecimientos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Metodología	14
Ubicación del Estudio	14
Recolección de Muestras	14
Caracterización de las Prácticas Agrícolas	15
Pastizales de Ganadería Semi-Intensiva	16
Agricultura Convencional	16
Agroecológica Familiar	16
Paisaje de Agricultura de Conservación	17
Paisaje de Agricultura Orgánica	17
Bosque Secundario	17
Sistemas Silvopastoriles	17
Pastizales de Ganadería Extensiva	18
Aislamiento y Cuantificación de Microorganismos	19

Procedimiento para el Cálculo Bacteriano y Micótico.....	19
Determinación de las Características Fisicoquímicos de los Puntos de Muestreo	20
Determinación de la Relación Hongos-Bacterias.....	21
Resultados y Discusión.....	22
Determinación de la Dilución Seriada para el Conteo de la Población Bacteriana	22
Determinación de la Dilución seriada para el Conteo de Población Micótica.....	25
Caracterización de las Propiedades Fisicoquímicas de los Puntos muestreados	31
Relación Hongos-Bacterias en la Estación Húmeda y Seca.....	33
Conclusiones	35
Recomendaciones.....	36
Referencias.....	37
Anexos.....	43

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Caracterización físicas de los suelos evaluados a profundidades (10 cm- 20cm)	18
Cuadro 2 Metodología de las propiedades fisicoquímicas de los puntos de muestreo	20
Cuadro 3 Rangos de microorganismos observados en suelos saludables	26
Cuadro 4 Caracterización morfológica y tinción de Gram para la población bacteriana de los puntos muestreados	30
Cuadro 5 Caracterización morfológica micótica de los puntos muestreados	30
Cuadro 6 Propiedades Fisicoquímicas de los Puntos Muestreados.....	32

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de los 11 sitios del estudio ubicados en el municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras.....	15
Figura 2 Conteo de la población bacteriana en estación seca bajo diluciones 10^3 a 10^7	24
Figura 3 Conteo de la población bacteriana en estación seca de la dilución escogida	24
Figura 4 Conteo de la población bacteriana en estación húmeda bajo diluciones 10^3 a 10^7	25
Figura 5 Conteo de la población bacteriana en estación húmeda de la dilución seleccionada	25
Figura 6 Conteo de la población micótica en estación seca bajo diluciones 10^3 a 10^7	26
Figura 7 Conteo población de hongos en estación seca en la dilución escogida	27
Figura 8 Conteo de población de hongos en estación húmeda.....	27
Figura 9 Conteo de la población micótica en estación húmeda bajo la dilución indicada	28
Figura 10 Relación de Hongos-Bacterias en la época húmeda	34
Figura 11 Relación del radio Hongos: Bacterias en la época seca	34

Índice de Anexos

Anexo A Relación Hongos-Bacterias para la estación seca.....	43
Anexo B Conteo de la población bacteriana en estación húmeda	44
Anexo C Conteo de la población micótica en estación seca	45
Anexo D Relación Fungi: Bacteria para estación seca.....	46
Anexo E Relación Hongos: Bacterias para estación húmeda.....	47

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Doctora Marynes Montiel, que estableció los lineamientos bases para este estudio. Además, me gustaría expresar mi mayor gratitud al Laboratorio de Bioenergía y Calidad de Agua en el Departamento de Ambiente y Desarrollo, específicamente a la Ing. Lourdes Espinal y Sra. Xiomara Barrientos, por todo el apoyo brindado. A la Doctora Victoria Cortés por su ayuda y disposición en el transcurso de la investigación.

Resumen

El componente microbiológico suele ser un buen indicador del estado general del suelo, debido a que, juega un papel fundamental para fraccionar y metabolizar compuestos orgánicos que luego pueden ser aprovechados por las plantas. Este estudio exploratorio se centró en cuatro paisajes agrarios bajo diferentes condiciones de suelo y humedad inicial. Los paisajes incluyeron: forestal, agricultura convencional, agroecología y ganadería para la estación seca; manejo convencional y agroecológico para la estación húmeda. Dentro de cada parcela, se evaluó la microfauna bacteriana y micótica en profundidades superficiales (10-20 cm). Las variables evaluadas fueron la población bacteriana y de hongos mediante el conteo de unidades formadoras de colonia en platos Petri, para poder determinar la mejor dilución para estudiar estos organismos en futuras investigaciones. En el contexto de este estudio, se determinó que las diluciones más apropiadas para evaluar la población bacteriana y micótica es $6.0206 \text{ E-01 } (10^4)$ y $4.7713 \text{ E-01 } (10^3)$ respectivamente. Del mismo modo, el sistema agroecológico mostró tener mayor diversidad micótica para ambas estaciones evaluadas. Para futuras investigaciones se recomienda evaluar otros posibles organismos como los nematodos y actinomicetos bajo diferentes diluciones para determinar la dilución adecuada, según el organismo.

Palabras clave: Biodiversidad, resiliencia agrícola, población microbiana.

Abstract

The microbiological component is usually a good indicator of the general condition of the soil, since it plays a fundamental role in breaking down and metabolizing organic compounds that can later be used by plants. This exploratory study focused on four agricultural landscapes under different initial soil and moisture conditions. These included: forestry, conventional agriculture, agroecology, and livestock for the dry season; conventional and agroecological management for the wet season. Within each plot, bacterial and fungal microfauna were evaluated at shallow depths (10-20 cm). The variables evaluated were the bacterial and fungal population by counting colony-forming units in Petri dishes, to determine the best dilution to study these organisms in future research. In the context of this study, it was determined that the most appropriate dilutions to evaluate the bacterial and fungal population is $6.0206 \text{ E-}01$ (104) and $4.7713 \text{ E-}01$ (103). Similarly, the agroecological system showed greater fungal diversity for both seasons evaluated. For future research, it is recommended to evaluate other possible organisms such as nematodes and actinomycetes under different dilutions to determine which is the most appropriate, depending on the organism.

Keywords: Agricultural resilience, biodiversity, microbial population.

Introducción

La definición de la calidad del suelo surgió a partir de la necesidad de evaluar las funciones integrales e intrínsecas edafológicas, desde un enfoque sostenible (Karlen et al., 1997). Dicho concepto, se relaciona con el funcionamiento *in situ* del suelo dentro de las limitantes ecológicas productivas, sosteniendo la calidad ambiental y promoviendo la diversidad de la biota edáfica (Ochoa et al., 2007). No obstante, debido a que la calidad del suelo no puede ser medida de manera directa, suele ser evaluada mediante indicadores y procesos enzimáticos (García et al., 2012).

La microbiota edáfica suele ser un indicador para conocer el estado general de la fertilidad del suelo, este conglomerado biológico comprende actinomicetos, bacterias y hongos, los cuales desempeñan papeles fundamentales en la incorporación de carbono de biomasa, la solubilización, reciclaje de nutrientes, la producción de hormonas estimuladoras del crecimiento, la fijación de nitrógeno, la inducción de defensa de las plantas, la desintoxicación del suelo e influyen en la estabilidad de los agregados del mismo (Rojas-Badía et al., 2020).

Al mismo tiempo, estos microorganismos son capaces de inhibir patógenos mediante diversas actividades enzimáticas (Bonanomi et al., 2016). En consecuencia, el crecimiento óptimo de las plantas está directamente relacionado con el rol que desempeñan las enzimas en el suelo, son imprescindibles en los procesos de síntesis y degradación de materia orgánica (Ochoa Marín y Ochoa Marín, 2018).

La microfauna que habita en el suelo juega un papel fundamental para fraccionar y metabolizar compuestos orgánicos que luego pueden ser aprovechados por las plantas (Orgiazzi et al., 2016). Este componente suele ser un buen indicador del estado general del suelo, debido a que las condiciones fisicoquímicas óptimas propician una buena actividad microbiana (Rives et al., 2007).

De igual manera, previos estudios científicos han evidenciado que la distribución poblacional microbiana tiende a ser extremadamente sensible a cambios ambientales (Báez y Aguirre, 2011 ; Barba et al., 2013; Bedoya et al., 2013; Bloem et al., 2004; Constantini et al., 2000; Curiel Yuste et al., 2007; Durango et al., 2015). Estos cambios se ven reflejados en la variación de la composición estructural microbiana y su actividad metabólica, dichos fenómenos determinan los procesos de

asimilación y descomposición de materia orgánica que ocurren en el suelo (Comte y Del Giorgio, 2011). Los principales actores en los procesos de descomposición a nivel microbiológico, son los agentes bacterianos y micóticos, a pesar de que ambos agentes biológicos cumplen funciones similares en el suelo, estos difieren en sus requerimientos metabólicos y capacidades celulares (Hieber y Gessner, 2002).

Debido a estas condiciones, se ha demostrado que la relación hongos-bacterias es un importante factor para evaluar la calidad del suelo. Esta correspondencia se encuentra influenciada por prácticas agrícolas y las condiciones climáticas. Donde las parcelas cuyo manejo agrícola es convencional, la actividad microbiana se encuentra dominada fuertemente por agentes bacterianos (Curiel et al., 2017). Investigaciones previas demuestran que solo el 20% de la composición microbiana en prácticas de manejo intensivo, corresponde al reino Fungi (García-Angulo et al., 2020; Vries et al., 2006). En concordancia, otros autores afirman que los suelos arables agrícolas afectan la relación de Hongos-Bacterias, donde se evidencia mayor presencia de Fungi, en parcelas que no están sometidas a una mecanización agrícola (Guggenberger et al., 1999; Wang et al., 2010).

Adicionalmente, para analizar la calidad del suelo es necesario contemplar las propiedades intrínsecas, la capacidad productiva y los amortiguadores ambientales, estas características están estrechamente relacionadas con los sistemas de manejo al que están sometidos (Calderón et al., 2002).

En este contexto, el desempeño de la estructura de la microbiota edafológica se ve limitada por características físicas tales como la porosidad, textura y estructura del suelo debido a que la formación de agregados de partículas orgánicas y minerales, en conjunto con otras características como propician una hábitat determinada para la microbiota edáfica (Frene et al., 2018).

De manera contrastante, los sistemas agrícolas convencionales se caracterizan por un manejo intensivo del suelo y exuberantes aplicaciones de insumos químicos, lo que está asociado con el deterioro de este (Abril, 2003). Estas actividades agrícolas intensivas surgieron a partir del enfoque antropológico de garantizar el abastecimiento de alimentos, dicha actividad económica ha

evolucionado a través de avances científico-tecnológicos y el manejo de plagas por medio de insumos químicos (Martínez, 2008). Sin embargo, estos sistemas se ven caracterizados por la excesiva aplicación de productos químicos y mecanización del suelo que afectan la actividad conjunta que sucede entre los compuestos orgánicos y la biota del mismo (Gardi et al., 2014). Este problema se ve reflejado en la actividad microbiana del suelo, ya que, dicha fertilidad se ve controlada por las interacciones biogeoquímicas de la microbiota que cumple la función de proveer nutrientes para el crecimiento de las plantas (Hernández et al., 2011; Torres et al., 2006).

La intensificación del uso de suelo en el sector agropecuario ha ocasionado la degradación y pérdida de biodiversidad, particularmente del recurso suelo. Fenómenos como la salinización y la erosión impactan negativamente la salud del recurso edáfico, afectando gravemente la microbiota edáfica y sus funciones dentro de los agroecosistemas (Jaurixje et al., 2013). Por este motivo, el presente trabajo, pretende ofrecer una mirada preliminar de a dinámica de la microbiota del suelo en Zamorano. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos para esta investigación:

Determinar la dilución seriada indicada para cuantificar la población bacteriana, en los suelos agrícolas de Zamorano.

Determinar la dilución seriada indicada para cuantificar la población micótica, en los suelos agrícolas de Zamorano.

Caracterizar a nivel morfológico la población de bacterias y hongos, en suelos agrícolas de Zamorano.

Metodología

Ubicación del Estudio

Este estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano, en el Valle de Yeguaré, ubicado en el municipio San Antonio de Oriente (SAO), departamento de Francisco Morazán, Honduras, localizado entre las coordenadas 14°7'32.65''N – 87°6'25.47''O y 13°56'55.12''N – 86°54'35.92''E. El valle del Yeguaré se caracteriza por tener una temperatura media de 24 °C y una precipitación anual de 1,100 mm (Jimenez, 2020). La textura del sitio está representada por arcillas y areniscas poco consolidadas que están destinadas para cultivos agrícolas tradicionales que se mantiene en irrigación constante (Vélez, 2013). Se desarrolló un Muestreo Aleatorio Simple (MAS), referenciando tres subpuntos de cada parcela a una distancia de aproximadamente 10 m entre las mismas (Bou et al., 2011).

Recolección de Muestras

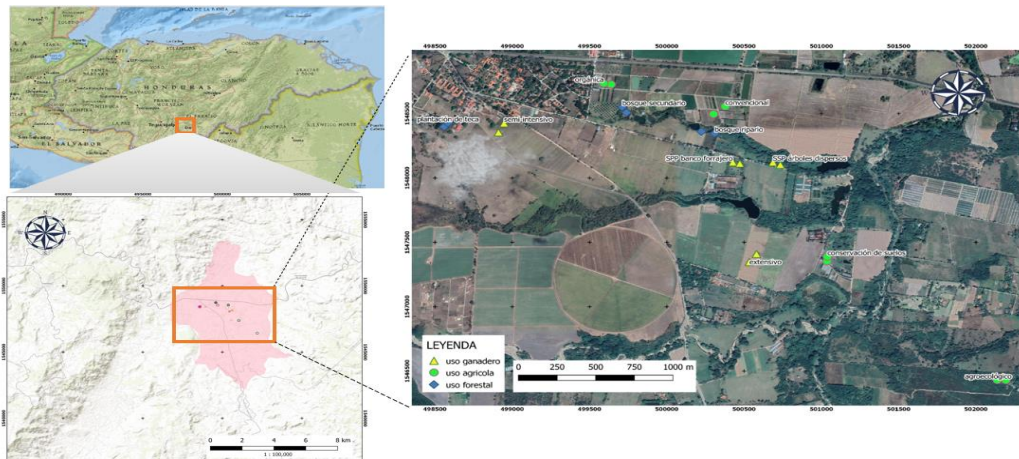
El estudio se realizó en dos estaciones: las cuales comprendieron la temporada seca y húmeda. El primer muestreo fue realizado el 1 de febrero del 2022, el cual correspondió a la estación seca. Los puntos de muestreos fueron alineados con el estudio de Guardado, 2022. Cuya finalidad fue evaluar la macrofauna edáfica como indicador clave para identificar elementos de una agricultura y ganadería sostenible (Guardado, 2022). Para este estudio se evaluó el componente de la microfauna, enfocado en la población bacteriana y micótica. Fueron seleccionadas 11 parcelas a partir del estudio de Guardado, las cuales contemplaron cuatro unidades de manejo (agroecológico, convencional, ganadería y forestal), para la estación seca. A tal efecto, se evaluó el comportamiento de la actividad microbiana en la estación húmeda. Las parcelas fueron muestreadas a profundidades de 10-20 cm, se realizó el 19 de abril del 2022, se contemplaron los manejos convencionales y agroecológicas.

Para las muestras de ambas estaciones, se aplicó el mismo proceso de mezclado y homogenizado, se obtuvo muestras compuestas, cuyo peso promedio fue de 500-700 gramos, estas muestras fueron debidamente cerradas en una bolsa de "ziploc" y almacenadas en Laboratorio Académico del Departamento de Ambiente y Desarrollo (Kenkel et al., 1989). Las pruebas físico-

químicas fueron realizadas en menos de 24 horas y la incubación de las muestras en el lapso de 1 semana (Winowiecki et al., 2016).

Figura 1

Mapa de los 11 sitios del estudio ubicados en el municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras



Nota. Adaptado de Guardado, 2022

Caracterización de las Prácticas Agrícolas

Guardado (2022) clasificó los puntos de muestreo tomando parámetros de gradiente de perturbación. Dicho estudio determinó que la agricultura orgánica, agroforestal y pastizales, son los sitios con niveles moderados de perturbación. De igual manera, los monocultivos extensivos de maíz y frijol son los que presentan mayor impacto. Para este diseño, se representaron los siguientes sistemas de uso de suelo: agricultura convencional, producción agroecológica familiar, agricultura de conservación de suelos, agricultura orgánica, y para el paisaje ganadero: sistemas silvopastoriles de árboles dispersos, silvopastoriles con cercas, pastizales de ganadería extensiva, y semi-intensiva, finalmente para el paisaje forestal: bosques secundarios, bosque secundario ribereño y plantación de teca (Guardado, 2022).

Sin embargo, luego de haber observado el comportamiento de la población bacteriana y micótica en función de la humedad en las muestras de la estación seca, se estableció la evaluación de las mismas variables en la estación húmeda, para explicar el origen de dichos cambios. Para la estación húmeda, se evaluaron seis manejos agrícolas que abarcaron el manejo agroecológico y convencional.

Para la estación seca y húmeda se establecieron tres repeticiones por manejo agrícola. El manejo agroecológico es representado por las siguientes unidades agrícolas: paisaje de agricultura de conservación producción agroecológica familiar, agricultura de conservación de suelos, agricultura orgánica; para el manejo convencional: la parcela semi-intensiva, agricultura convencional, la plantación forestal, (Guardado, 2022). Estos sitios están sometidos a manejos agrícolas contrastantes, los puntos de muestreo que evidenciaron mayor grado de perturbación fueron las parcelas con un manejo convencional y el sistema de producción semi-intensivo. Por otro lado, el resto de las categorías demuestran una de perturbación moderada (Guardado, 2022).

Pastizales de Ganadería Semi-Intensiva

Esta unidad agrícola se caracteriza por un sistema racional de pastoreo como complemento para la producción lechera bovina. Dichos pastizales han sido explotados por más de 15 años y cuenta con 25 ha de extensión, dominadas por pasto estrella *Cynodon nlemfuensis*. La carga animal media de los potreros fue de 4.5 UA/ha (Guardado, 2022).

Agricultura Convencional

Se seleccionó la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC) de EAP Zamorano donde se produce maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) de forma rotacional desde hace más de 15 años. Este sistema productivo está caracterizado por preparación mecanizada del suelo mediante actividades agronómicas como el paso del subsolador y surcador. Su plan de fertilización química consiste en la aplicación de los macronutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio, a los 21 y 50 días, respectivamente luego de la siembra (Guardado, 2022).

Agroecológica Familiar

La finca agroecológica de EAP Zamorano se practica agricultura familiar que lleva transición a agroecológico durante los últimos seis años. Tiene un área sembrada de 4 ha y se practica cultivos intercalados de subsistencia más comunes en Honduras pertenecientes al género de las gramíneas, solanáceas y fabáceas (Guardado, 2022).

Paisaje de Agricultura de Conservación

Se seleccionó la unidad de agricultura de conservación de suelos de EAP Zamorano con una superficie de 2.5 ha destinadas a la producción de policultivos en laderas durante los últimos 10 años. Este sistema productivo recurre a las actividades manuales y herramientas para las actividades de siembra y preparación del terreno (Guardado, 2022).

Paisaje de Agricultura Orgánica

Se seleccionó la Unidad de Agricultura Orgánica de EAP Zamorano ya que cuenta con producción de hortalizas y tubérculos certificados como orgánicos. Esta parcela está sometida a este manejo por más de 16 años mediante la aplicación de biofertilizantes, compost para aportar nutrientes y biopesticidas para el control de plagas (Guardado, 2022).

Bosque Secundario

Las parcelas seleccionadas para bosque secundario se muestrearon en los alrededores de las parcelas dentro de los terrenos de Zamorano. Dichos muestreos se realizaron en una plantación de teca (*Tectona grandis* L) de 6 años de establecimiento en una extensión de 3 ha, cuya densidad de siembra es de 2,100 árboles/ha. De igual manera, se evaluaron dos parcelas dentro del bosque del Eco sendero, Zamorano cuyo perímetro son lagunas de oxidación interconectadas conectadas entre sí, con una extensión de 12 ha. Los tres bosques secundarios escogidos fueron de regeneración natural, presentan vegetación presentan vegetación semidecidua de árboles frutales y maderables, de aproximadamente 15 años (Guardado, 2022).

Sistemas Silvopastoriles

Dentro de los sistemas silvopastoriles fueron seleccionados dos tipos principales: SSP con árboles dispersos y SSP con cercas vivas con una densidad de 60 árboles/ha. El sistema silvopastoril con cercas vivas está compuesto por 3.2 ha de establecido hace 7 años y utilizado para ganado vacuno de leche con carga animal de 5.5 UA/ha (Guardado, 2022).

Pastizales de Ganadería Extensiva

Los pastizales se ubicaron dentro de la Unidad de Ganado de Carne de EAP Zamorano, en los potreros ubicados en Monte Redondo. Se trataron dos pastizales naturalizados en explotación por más de 15 años. La carga animal media de los potreros fue de 2.8 UA/ha. Cuya extensión total es de 36 ha (Guardado, 2022).

Cuadro 1

Caracterización físicas de los suelos evaluados a profundidades (10 cm- 20cm)

Variables fisicoquímicas	BS01	CV02	MN03	PS04	AE05
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.04	0.87	1.00	0.82	0.81
Resistencia a Penetración (kg/cm ²)	2.55	1.91	1.70	2.83	3.34
Tamaño de poros (1-4)	2.96	2.63	2.44	2.69	3.06
Cantidad de poros (1-4)	2.67	2.19	1.88	2.06	2.06
Tamaño de raíz	3.67	2.00	1.69	2.44	2.44
Cantidad de raíz	3.58	2.63	2.50	3.94	3.13
Grano < 0.075 mm (%)	10.05	5.88	8.15	9.20	6.45
Grano 0.075 -0.25 mm (%)	17.20	9.45	17.75	17.05	9.75
Grano >0.25 mm (%)	72.74	84.68	74.10	73.75	83.78
Humedad (%)	2.87	13.30	2.65	15.23	19.60
Infiltración básica (cm/h)	9.50	0.59	0.94	1.33	0.04
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.04	0.87	1.00	0.82	0.81
Resistencia a la Penetración (kg/cm ²)	2.55	1.91	1.70	2.83	3.34
Tamaño de poros (1-4)	2.96	2.63	2.44	2.69	3.06

Aislamiento y Cuantificación de Microorganismos

Para llevar a cabo el aislamiento de bacterias y hongos se siguió el protocolo de purificación, el cual consistió en vertir 10 gramos de suelo en un frasco de vidrio que contenía 90 mL de agua peptonada con una concentración al 1% siendo esta mezcla agitada durante 5 minutos y categorizada como 10^{-1} . Inmediatamente, se extrajo una alícuota de 1mL para proceder con la dilución seriada. Este procedimiento se repitió siete veces teniendo diluciones 10^{-1} a 10^{-7} , conjunto con un control por cada muestra, cuyo propósito es percibir si ocurrió contaminación en el proceso del experimento (García et al., 2016).

De las cuales se seleccionaron cinco diluciones seriadas para ser examinadas y sembradas en platos Petri de 10^{-3} a 10^{-7} fueron vertidas en medios de cultivos sólidos; "Play Count Agar" (PCA) para bacterias y "Potato Dextrosa Agar" (PDA) para hongos. La cantidad inoculada en las cajas Petri fue de 100 μ ml. El enfoque de este procedimiento fue de la cuantificación de colonia que se desarrollaron en el medio de cultivo.

Posteriormente, se mezcló la solución con el medio PDA y PCA, respectivamente, mediante seis movimientos de izquierda a derecha y seis movimientos a favor del sentido de la manecilla del reloj, con la asistencia de una asa bacteriológica en condiciones asépticas mediante una cámara de flujo laminar y el mechero de alcohol. Dichas muestras fueron colocadas en una incubadora las placas PDA se incubaron a 25 °C, la cual fue revisada a los 5 días. En el caso de las placas de PCA se incuban a 37 °C, con revisión a las 24 horas (Cedeño, 2019; Ramos y Zúñiga, 2016).

Procedimiento para el Cálculo Bacteriano y Micótico

Adicionalmente, se determinó estimar la densidad poblacional bacteriana mediante el análisis microbiológico de recuento total de placas (RTP), a partir de la siguiente Ecuación 1 (Salazar et al., 2009).

$$UFC/gr\ suelo = \frac{(No.Colonia \times FD)}{Vol.muestra\ sembrada} \quad [1]$$

Donde:

FD: Factor de dilución

UFC: Unidades Formadoras de colonia

Determinación de las Características Físicoquímicos de los Puntos de Muestreo

La determinación de los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología del Departamento de Ambiente y Desarrollo análisis de parámetros físicos del suelo pH, conductividad eléctrica, salinidad, humedad relativa y temperatura, se realizaron *in situ* a partir de los puntos de muestreo. Al momento de realizar los análisis, se vertió la muestra en un recipiente limpio y seco, la cual fue mezclada con el objetivo de asegurar una muestra representativa del mismo, los métodos a llevar a cabo se encuentran detallados en el siguiente cuadro (Cuadro 2).

Cuadro 2

Metodología de las propiedades fisicoquímicas de los puntos de muestreo

Grupos funcionales	Método	Referencia
Humedad Relativa	Método gravimétrico	(Radulovich, 2009)
Salinidad	Método de análisis de suelo	ASTM9045D
pH	pH para suelos y residuos	ASTM9045D
Conductividad eléctrica	Método de análisis de suelo	ASTM9045D

La siguiente ecuación se usó para cuantificar la humedad relativa *in situ* del suelo, a partir de la Ecuación 2:

$$\text{Humedad \%} = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-C} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

C = Peso de crisol

MH = Peso de materia húmeda

MS = Peso de materia seca

Los parámetros restantes fisicoquímicos fueron determinados usando un multiparámetro, tomando como referencia el método 9045D desarrollado por Environmental Protection Agency (EPA).

A partir de los resultados de estos parámetros se realizaron los cuadros caracterizando los puntos de muestreo.

Determinación de la Relación Hongos-Bacterias

Este estudio se planteó estimar la relación entre Hongos-Bacterias debido a que se ha demostrado que la relación hongos-bacterias es un importante factor para evaluar la calidad del suelo cuya relación se encuentra relacionada por prácticas agrícolas y las condiciones climáticas, para determinar dicha relación se utilizó la siguiente Ecuación 3, (Malik et al., 2016):

$$F: B = \frac{\text{UFC de hongos}}{\text{UFC de bacterias}} \quad [3]$$

Donde:

UFC= Unidades Formadoras de Colonia

Resultados y Discusión

Determinación de la Dilución Seriada para el Conteo de la Población Bacteriana

En el contexto de este estudio, para el conteo bacteriano de los puntos evaluados se comparan entre las dos estaciones establecidas. Sin embargo, destacan las muestras procedentes de la finca agroecológica familiar, cuyo recuento es de $1,192 \times 10^{-3} UFC / gr$ de suelo, siendo el punto de muestreo que mostró mayor abundancia en la población bacteriana en la estación húmeda (Anexo A y B) (Figura 3).

Esto puede deberse a que se demostró mediante un análisis de morfología de los agregados del suelo, que el sistema agroecológico cuenta con mayor macro agregados biogénicos, proporcionalmente; conjunto con los sistemas pastizales y bosques secundarios. Una previa investigación, evidenció que los sistemas que poseen mayor diversidad de microflora propician la formación de macro agregados rizóficos y biogénicos (Guardado, 2022).

La población microbiana en la época seca, para el mismo sitio, fue de $224 \times 10^{-3} UFC / gr$ (Figura 4). Para este caso, estas cifras evidencian que, en comparación de la estación húmeda, la distribución microbiana disminuyó nueve veces. En concordancia, varios autores sugieren que la humedad del suelo y la actividad microbiana presentan una relación directamente proporcional, es decir, que la actividad microbiana aumenta, a medida que, incrementa la humedad del suelo (Ramos y Zúñiga, 2016; West et al., 1988).

En la estación húmeda, el punto de muestreo con menor abundancia microbiana fue el sistema convencional perteneciente a la unidad productiva de granos y semillas con un conteo de $511 \times 10^{-3} UFC / gr$ de suelo (Figura 2). Estos resultados se pueden asociar con la relación biunívoca que sostiene los herbicidas, debido a que, aunque algunas bacterias utilizan este agroquímico como fuente de nutrientes otro se ven afectados ante la exposición de este (Tofiño Rivera et al., 2020). Similarmente, se registró que el sistema convencional, en el cual predominan monocultivo posee un efecto negativo, con respecto, a los macro agregados del suelo (Guardado, 2022).

De igual manera, la disparidad de estos resultados representa la importancia de escoger una dilución adecuada para evaluar el efecto de las prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo considerando como un importante indicador la población bacteriana. Del mismo modo es fundamental para que futuras investigaciones puedan documentar con mayor precisión la dinámica poblacional de los agentes microbianos del suelo.

Por ende, la variación en la población microbiana está vinculada a la composición ge biofísicas conjunto con las características modificadas asociadas al manejo agrícola, estas propiedades están estrechamente relacionadas a la estabilidad de los sistemas en el tiempo, con respecto a las condiciones de humedad, lo que repercute en la adaptación de la población de la microbiota edáfica, (Figura 2 y 3) (Lejía et al., 2021).

De este modo, el proceso de seleccionar una dilución y el tiempo de periodo adecuado para evaluar la población microbiana es imprescindible para evaluar con mayor precisión las fluctuaciones en las poblaciones de la microbiota edáfica, debido a que dichos conglomerados biológicos responden a las perturbaciones biológicas, físicas y ambientales para reajustarse conforme al cambio sometido. De lo contrario, se pueden originar el esparcimiento de varios cúmulos de colonia (Medina, 2015).

La complejidad y abundancia de los conglomerados biológicos edáficos, específicamente la microbiota hace que las fluctuaciones en los resultados sean plausibles. Sin embargo, para analizar el comportamiento de la población bacteriana bajo diferentes sistemas de manejo agrícola, se determinó que la dilución 6.02×10^{-1} se pueden apreciar claramente los cambios en el comportamiento bacteriano de los puntos de muestreos evaluados.

Figura 2

Conteo de la población bacteriana en estación seca bajo diluciones 10^3 a 10^7

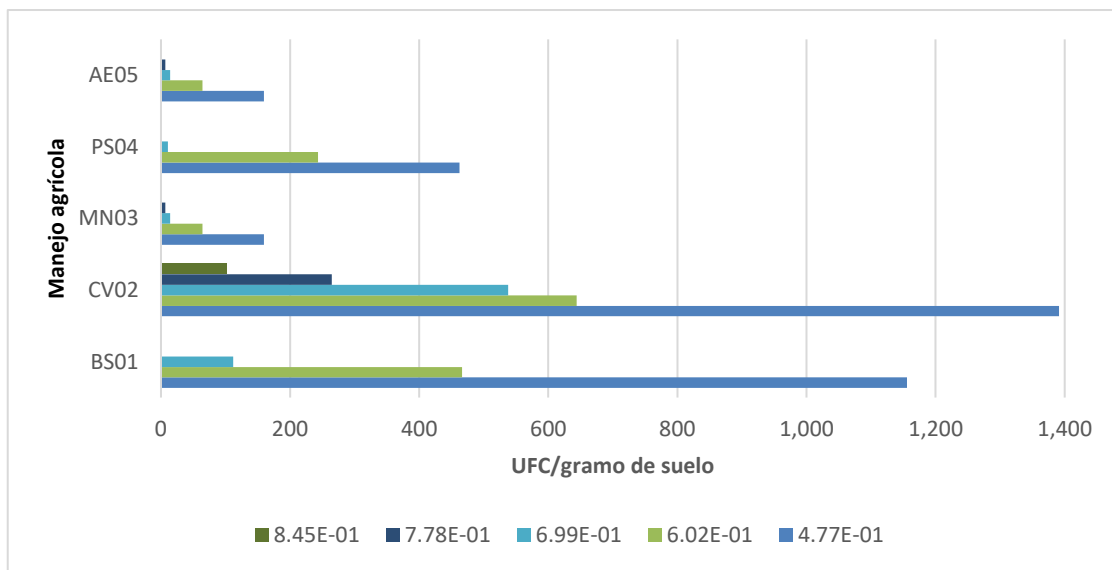


Figura 3

Conteo de la población bacteriana en estación seca de la dilución escogida

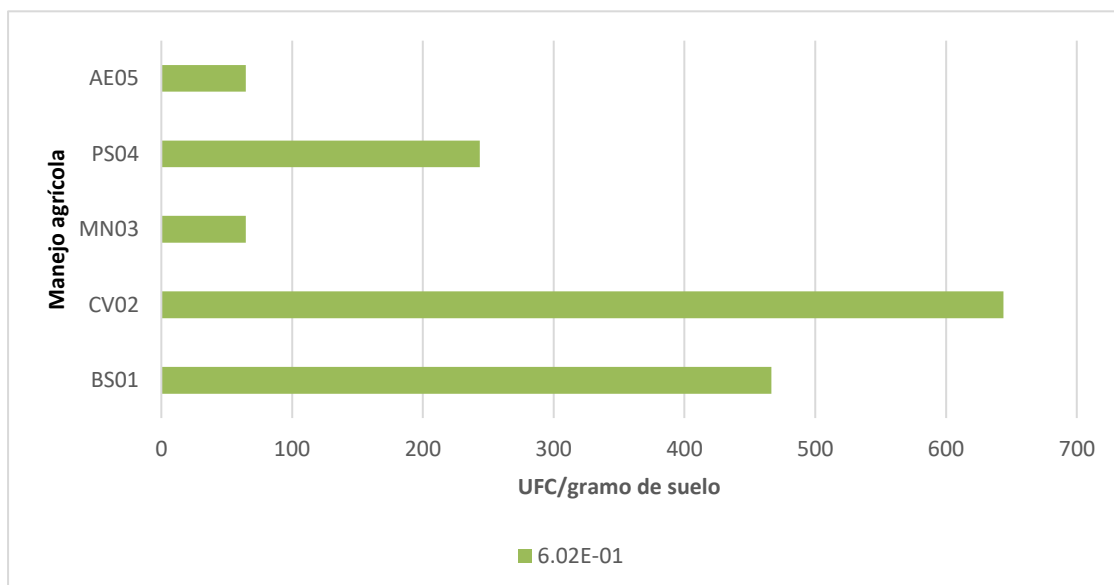


Figura 4

Conteo de la población bacteriana en estación húmeda bajo diluciones 10^3 a 10^7

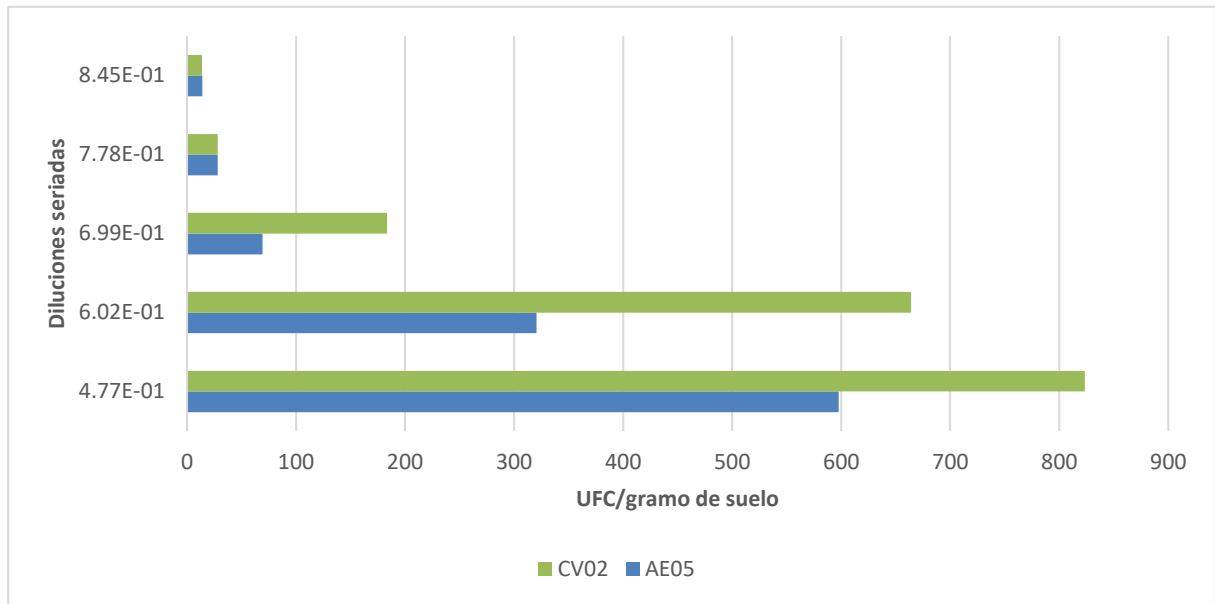
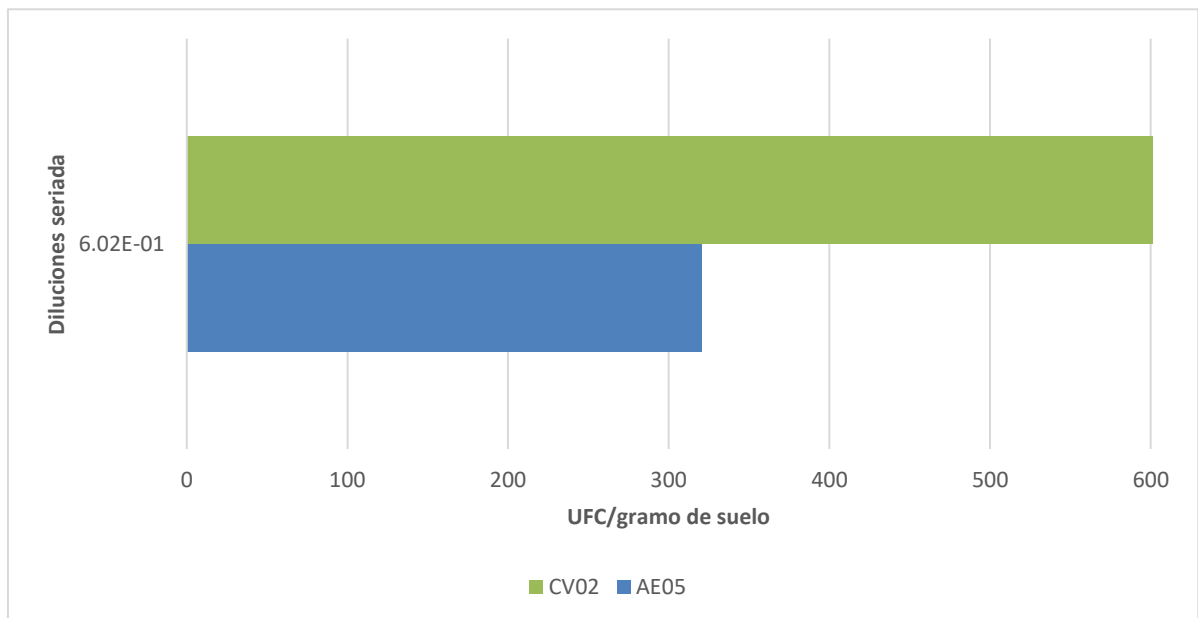


Figura 5

Conteo de la población bacteriana en estación húmeda de la dilución seleccionada



Determinación de la Dilución seriada para el Conteo de Población Micótica

Los hongos desempeñan un papel muy importante en la descomposición de desechos orgánicos, sin embargo, también se especializan en procesos simbióticos que intervienen en relaciones nutritivas con respecto a las plantas (Carballas, 2004). En concordancia, estudios demuestran que determinar mayor población de agentes micóticos que bacterianos, es más beneficioso para la salud edáfica (Coleman-Derr et al., 2016).

En contraste en la época húmeda, el punto de muestreo que presentó mayor número de hongos fue la parcela de conservación de suelos, dichos resultados pueden ser apreciados con mayor grado en la dilución de 4.7712 E-01, debido a que en esta dilución se pueden observar con mayor claridad las características de la población micótica (Maestre et al., 2012) (Figura 4).

De la misma manera, Uribe, 1999 identifica los rangos de bacterias, actinomicetos y hongos que se pueden encontrar en un suelo saludable, sin embargo, dicho cuadro fue modificado por el autor, para evaluar, específicamente, los rangos de población microbiana en diferentes tipos de suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3

Rangos de microorganismos observados en suelos saludables

Organismo	(UFC × 10 ³) /gr de suelo
Bacterias	1,000-100,000
Hongos	1-100

Figura 6

Conteo de la población micótica en estación seca bajo diluciones 10^3 a 10^7

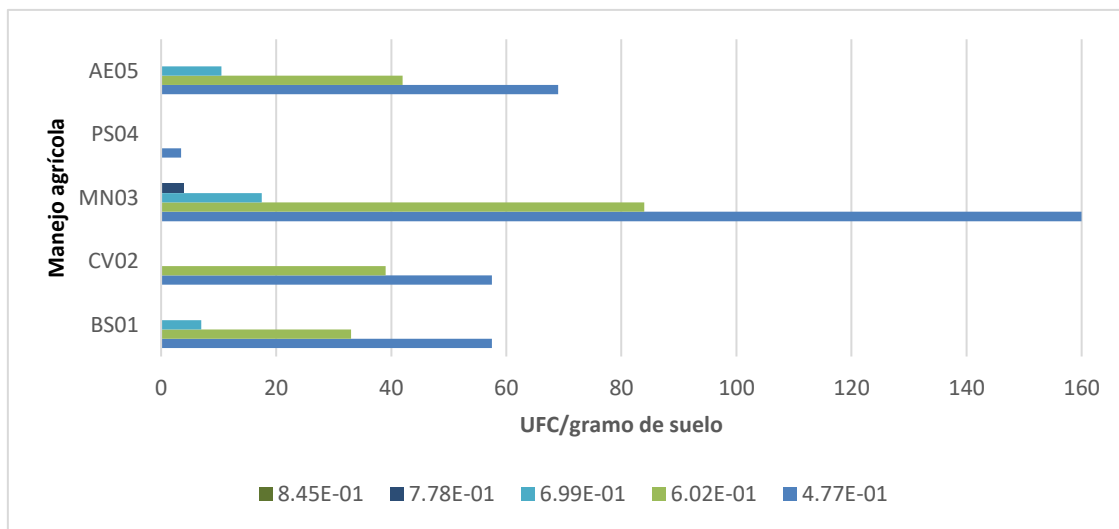


Figura 7

Conteo población de hongos en estación seca en la dilución escogida

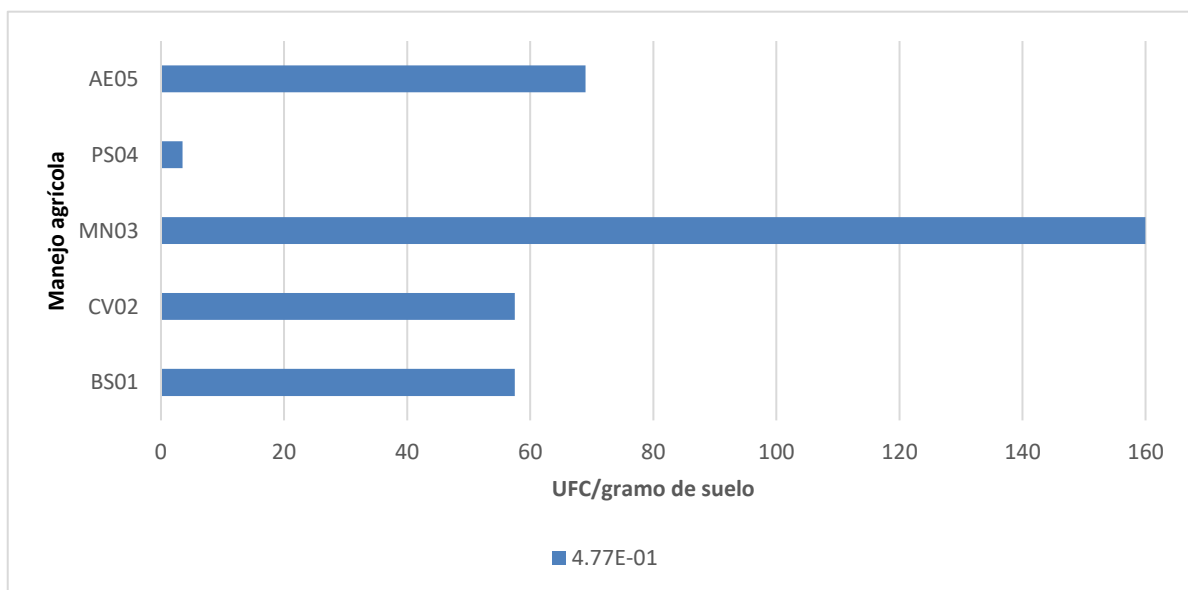


Figura 8

Conteo de población de hongos en estación húmeda

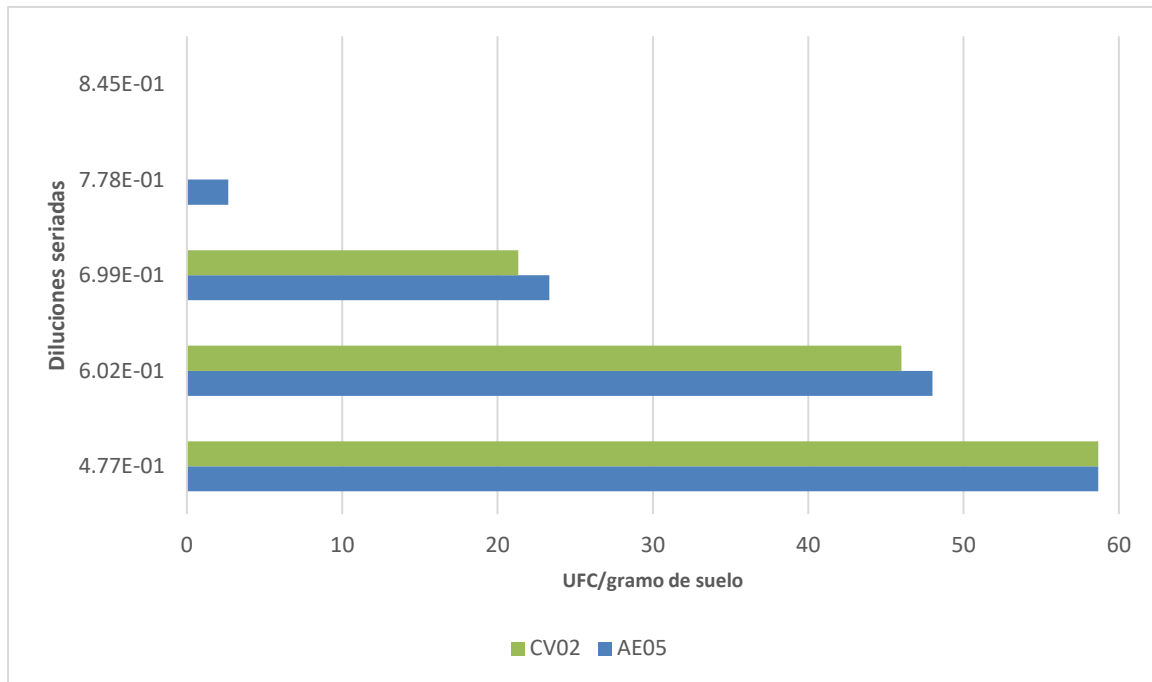
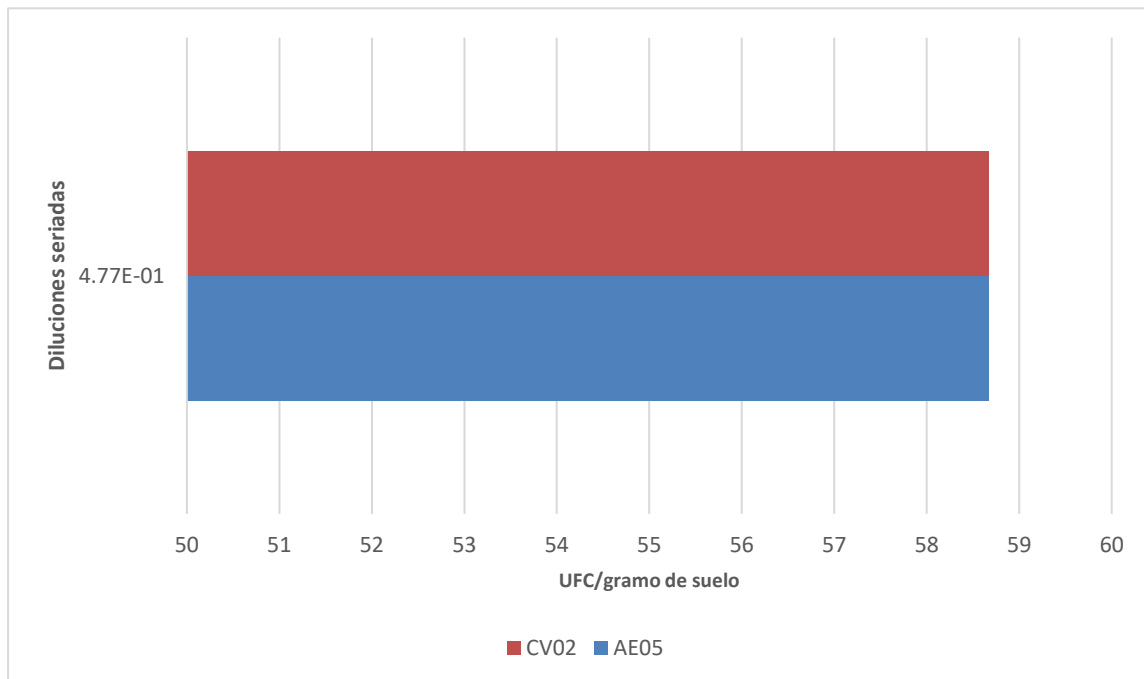


Figura 9

Conteo de la población micótica en estación húmeda bajo la dilución indicada



Caracterización Morfológica de Población de Bacterias y Hongos en Estación Húmeda

Los hongos fueron caracterizados tomando como base las descripciones morfológicas percibidas a simple vista, tales como color, elevación o borde (forma, color, tamaño, elevación, superficie) (Enríquez et al., 2010). En este sentido, la parcela que mostró mayor diversidad de colonias de hongos corresponde a las parcelas de conservación de suelos, presentando ocho colonias que varían morfológicamente entre sí (Cuadro 5). En contraste, la parcela que está sometida a manejo convencional tuvo la menor variedad de colonia presentando dos colonias diferentes (Cuadro 5).

La variedad de colonias bacterianas fueron determinadas mediante diferencias morfológicas percibidas a simple vista, tales como color, elevación o borde (Enríquez et al., 2010). Con la información recopilada se logró identificar diversas morfoespecies, tomando como referencia la presencia de las características mencionadas anteriormente. Los resultados pertenecientes a la parcela sometida a un manejo agrícola que prioriza la conservación de suelos se identificaron ocho colonias bacterianas que varían en tamaño y forma. Predominando morfológicamente los cocos, siendo todas Gram positivas. Con respecto a la unidad productiva orgánica, se registró el menor conteo de colonia bacteriana, siendo variables en tamaño y en resultados de tinción Gram (Cuadro 4).

Los hongos fueron caracterizados tomando como base las descripciones morfológicas (forma, color, tamaño, elevación, superficie) (Anexo C). En total se percibieron 33 colonias diferentes, siendo el manejo agroecológico el que presentó mayor diversidad micótica representado el 52% de las especies descritas. En este sentido, la parcela que mostró mayor diversidad de colonia de hongos corresponde a las parcelas de conservación de suelos, presentando ocho colonias que varían morfológicamente entre sí (Cuadro 4).

Del mismo modo, Barba et al., 2013; Raymundo-Jiménez et al., 2019 afirman que existe una correlación directa entre las unidades formadoras micóticas por grado de erosión y peso del suelo, siendo las prácticas de bioingeniería las que estimulan la población micótica, condiciones edafoclimáticas y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Otros estudios sugieren que los suelos con

manejo agroecológico tienden a presentar mayor cantidad de hongos (Bevivino et al., 2014; Calderón et al., 2002; Hieber y Gessner, 2002; Maestre et al., 2012).

Cuadro 4

Caracterización morfológica y tinción de Gram para la población bacteriana de los puntos muestreados

Manejo agrícola	No. Colonia	Forma	Tinción +/-
Agricultura convencional	1	coco	G+
	2	espirilo	G+
	3	bacilo	G+
	4	coco	G-
	5	espirilo	G-
	6	bacilo	G-
Agricultura de Conservación de suelos	1	bacilo	G-
	2	coco	G+
	3	coco	G+
	4	espirilo	G-
	5	coco	G+
	6	coco	G+
	7	coco	G+
	8	coco	G+
Agroecológico familiar	1	coco	G-
	2	espirilo	G-
	3	coco	G+
	4	coco	G+
	5	espirilo	G-
Agricultura orgánica	1	coco	G+
	2	espirilo	G+
	3	coco	G-
	4	coco	G-
Plantación Teca	1	coco	G+
	2	bacilo	G-
	3	coco	G-
	4	coco	G+
	5	espirilo	G-
Semi-intensivo	1	coco	G+
	2	bacilo	G-
	3	coco	G-
	4	espirilo	G-
	5	coco	G-

Cuadro 5

Caracterización morfológica micótica de los puntos muestreados

Manejo agrícola	No. Colonia	Forma	Borde	Elevación	Superficie
Agricultura convencional	1	circular	lobulado	plana	seca
	2	irregular	lobulado	convexa	invasiva
	3	lobulado	ondulado	plana	seca
	4	circular	entero	plana	brillante
	5	filamentoso	filamentoso	plana	mate
	6	entero	entero	plana	cremosa
Agricultura de Conservación de suelos	1	circular	entero	acuminado	seca
	2	circular	entero	acuminado	seca
	3	circular	entero	crateriforme	mate
	4	circular	irregular	plana	brillante
	5	filamentoso	irregular	convexa	mate
	6	circular	filamentoso	plana	lisa
	7	filamentoso	irregular	plana	rugosa
	8	rizoide	irregular	convexa	rugosa
Agroecológico familiar	1	entero	puntiforme	plana	lisa
	2	ondulado	irregular	plana	cremosa
	3	ondulado	filamentosa	plana	cremosa
	4	entero	puntiforme	plana	plana
	5	ondulado	irregular	acuminada	rugosa
Agricultura orgánica	1	circular	lobulado	plana	seca
	2	irregular	lobulado	convexa	invasiva
	3	lobulado	ondulado	plana	seca
	4	circular	entero	plana	brillante
	5	filamentoso	filamentoso	plana	mate
	6	entero	entero	plana	cremosa
Plantación Teca	1	ondulado	rizoide	elevada	rugosa
	2	ondulado	rizoide	plana	lisa
	3	lobulado	irregular	plana	lisa
	4	lobulado	irregular	crateriforme	rugosa
	5	lobulado	filamentoso	plana	mate
	6	entero	puntiforme	plana	lisa
Semi-intensivo	1	irregular	rizoide	irregular	mate
	2	irregular	elevado	irregular	mate

Caracterización de las Propiedades Fisicoquímicas de los Puntos Muestreados

Se describieron algunas variables fisicoquímicas de los puntos de muestreo, para la estación húmeda. La mayor conductividad eléctrica se presentó en el manejo agrícola semi-intensivo. Este resultado puede ser vinculado, que el pastizal semi-intensivo se encontraba con una alta carga animal, lo que provoca altas cantidades de deyecciones bovinas en la superficie, lo cual ha sido mencionado como una fuente de aumento de conductividad eléctrica de los suelos (Losinno et al., 2008) (Cuadro 6).

De igual manera, la parcela semi-intensiva se evidenció el potencial de hidrogeniones más neutro, con respecto, a las demás parcelas evaluadas para la estación húmeda, con un pH moderadamente alcalino de 7.95, se percibe que este resultado se debe al pastoreo excesivo y la remoción de la cobertura vegetal lo que cambia la dinámica del suelo y favorecen la evaporación directa, aumentando de manera significativa el pH y la conductividad eléctrica del suelo (Cremona y Enriquez, 2020) (Cuadro 6). Para las parcelas de manejo convencional y pastizales semi-intensivo se reportó el mismo porcentaje de humedad con 39.164 acompañado con un pH ácido de 5.09, dicha muestra tuvo una temperatura de 20.5 °C. En contraste, la unidad productiva que presentó menor cantidad de humedad en el suelo es perteneciente a la unidad de conservación de suelo (Cuadro 6).

Los indicadores fisicoquímicos evaluados se consideran buenos indicadores de la fertilidad de suelo, las variables de humedad y temperatura están condicionados por estaciones climáticas, por lo que la distribución de los microorganismos tiene en muchos casos una dependencia estacional (Bevivino et al., 2014; Sánchez de Prager, 2018; Santos et al., 2022). Por otra parte, los aspectos edafológicos, tales como el pH afectan en la reestructuración de la población microbiana del suelo (Lagomarsino et al., 2012; Navarro, 2016).

Cuadro 6

Propiedades Fisicoquímicas de los Puntos Muestreados

Manejo agrícola	T°C	Humedad de Suelo (%)	pH	Cond. Eléctrica (µs/cm)	Salinidad (PPT)
CV02	20.50	30.76	6.32	392.03	0.00
AE05	20.60	15.42	6.32	152.83	0.03

Relación Hongos-Bacterias en la Estación Húmeda y Seca

Para la época húmeda, la parcela agrícola que mostró mayor radio de Bacteria: Hongo, fue la parcela de orgánica, con un radio de 0.7579, aunque se ha demostrado que las bacterias y los hongos son descomponedores de materia orgánica, estudios previos han demostrado que los hongos son más eficientes en el proceso de reciclaje y la asimilación de nutrientes, dicha relación sostiene una relación directamente proporcional con el comportamiento carbono-nitrógeno del suelo (Vries et al., 2006) (Figura 10) (Anexo D y E).

De manera contraste, la parcela semi-intensiva mostró bajos rangos de Hongos-Bacterias. En contraposición, la literatura sugiere que los pastizales tienden a tener altos radios de hongos-bacterias debido a las deyecciones animales (Vries et al., 2006). De igual manera, una previa investigación evidenció que el contenido de Carbono Orgánico y Materia Orgánica fue mayor en la parcela semi-intensiva, teniendo altas concentraciones de fósforo (Guardado,2022). Estos valores implican que existe una relación directamente proporcional entre Carbono: Nitrógeno y Nitrógeno: Fósforo con la predominación de las comunidades micóticas (Ross y Sparling, 1993). Estos resultados pueden ser vinculados a que la distribución microbiana está determinada por factores fisicoquímicos, siendo la textura del suelo uno de los factores más cruciales para el mismo, debido a que los macroagregados pertenecientes a la parcela semi-intensiva fueron mayores a 3 cm (Wallenstein et al., 2007).

Para la época seca, se evidenció que la mayor relación Hongos-Bacterias fue en las parcelas del bosque forrajero y la parcela orgánica, respectivamente, literatura secundaria sugiere que las parcelas que en las cuales no se aplican fertilizantes químicos, tienen mayores niveles de nitrógeno mineralizable neto (Liu et al., 2007). De igual manera, estudios muestran que existe un efecto positivo marginalmente significativo con respecto a fenómenos de sequía, sobre el ratio C:N de la biomasa microbiana implica que la distribución de la comunidad microbiana edáfica, presentaron mayor cambios hacia la población micótica para el primer año, sin embargo, en la estación húmeda estas notables diferencias desaparecieron.

Dichos resultados se vinculan a la rápida capacidad de adaptación de la comunidad microbiana a diferentes en las condiciones ambientales, manejo y características fisicoquímicas. Sin embargo, para determinar el alcance de la variabilidad, la literatura sugiere implementar estudios que evalúen estas variables a largo plazo (Sullivan et al., 2012).

Figura 10

Relación de Hongos-Bacterias en la época húmeda

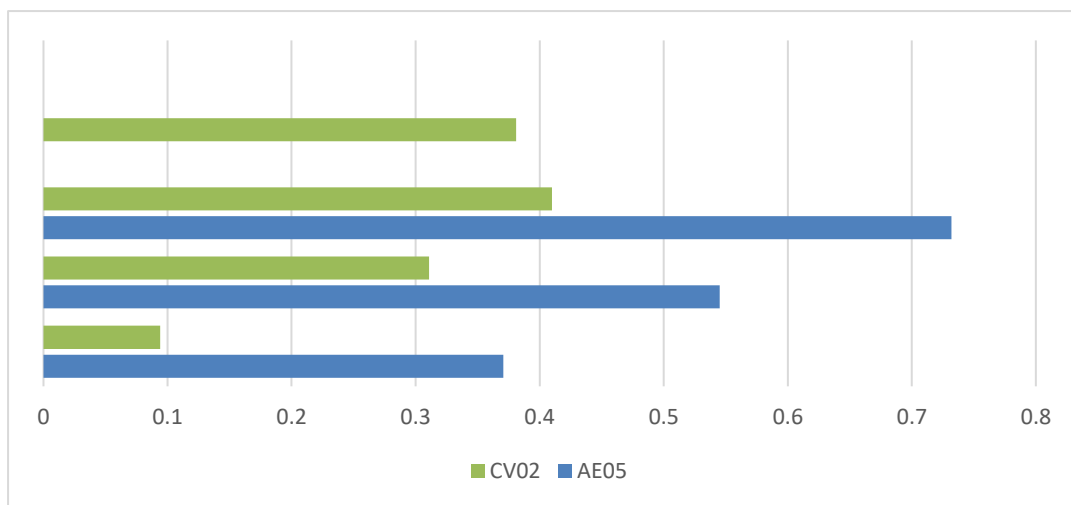
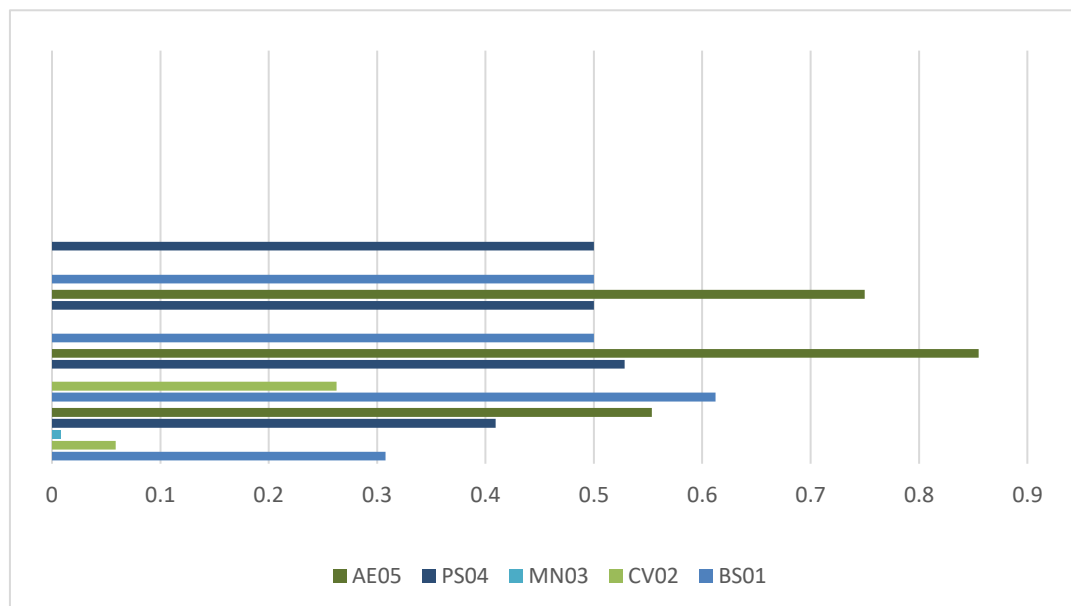


Figura 11

Relación del radio Hongos: Bacterias en la época seca



Conclusiones

En el área de estudio, se determinó que la dilución más adecuada para conteo de unidades formadoras de colonia bacteriana es la dilución 6.02×10^{-1} debido a que permite diferenciar claramente las colonias bacterianas, en los suelos agrícolas bajo prácticas de manejo contrastantes en Zamorano.

La dilución 4.77×10^{-1} mostró ser la más adecuada para el conteo de unidades formadoras micóticas, con un periodo de revisión de 5 días.

En los sistemas de manejo agrícola evaluados se mostró mayor diversidad morfológica micótica en el manejo agroecológico que el sistema convencional, para ambas estaciones evaluadas.

Recomendaciones

Aumentar las repeticiones de muestras bajo manejo agrícola, para posteriormente poder que determinar si los cambios en la distribución poblacional microbiana se deben a las prácticas agrícolas.

Evaluar otros posibles organismos como los nematodos y actinomicetos bajo diferentes diluciones para determinar las más adecuada, según el organismo.

Aplicar las diluciones recomendades para evaluar la población bacteriana y micótica, respectivamente en los suelos agrícolas de Zamorano.

Referencias

- Abril, A. (2003). ¿ Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral*, 13(2), 195–204. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1667-782x2003000200008
- Altieri, M. (Ed.). (1999). *Bases científicas para una agricultura sustentable* (Vol. 1). Nordan comunidad.
- Báez, M. y Aguirre, M. (2011). Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 113–121. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0187-57792011000200113&script=sci_arttext
- Barba, J., Yuste, J., Martínez-Vilalta, J. y Lloret, F. (2013). Drought-induced tree species replacement is reflected in the spatial variability of soil respiration in a mixed Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*, 306, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.025>
- Bedoya, G., Moreno, M. y Rojas, L. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66–72. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-28122013000100010
- Bevivino, A., Paganin, P., Bacci, G., Florio, A., Pellicer, S., Papaleo, C., Mengoni, A., Ledda, L., Fani, R., Benedetti, A. y Dalmastrri, C. (2014). Soil bacterial community response to differences in agricultural management along with seasonal changes in a Mediterranean region. *PLOS ONE*, 9(8), e105515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105515>
- Bloem, J., Didden, W., Akkerhuis, M., Keidel, H. y Breure, T. (2004). Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In *Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis. Proceedings from OECD Expert Meeting*, 109. https://www.researchgate.net/profile/anton-breure/publication/40125612_measuring_soil_biodiversity_experiences_impediments_and_research_needs
- Bonanomi, G., Filippis, F., Cesarano, G., La Stora, A., Ercolini, D. y Scala, F. (2016). Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.005>
- 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>
- Calderón, M., Moreno, M. y Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605–620. <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/download/214/214>
- Carballas, T. (2004). Microbiología y bioquímica del suelo forestal. *Recursos Rurais*, 1(1). http://www.ibader.gal/archivos/rr_seriecurso_n01_2004-66.pdf#page=15
- Cedeño, L. (2019). *Identificación molecular de patógenos fúngicos que afectan a las berries postcosecha y evaluación de bacterias antagonistas para su biocontrol* [, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. RIS. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/dgb_umich/3978

- Coleman-Derr, D., Desgarenes, D., Fonseca-Garcia, C., Gross, S., Clingenpeel, S., Woyke, T., North, G., Visel, A., Partida-Martinez, L. P. y Tringe, S. G. (2016). Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native Agave species. *New Phytologist*, 209(2), 798–811. <https://doi.org/10.1111/nph.13697>
- Comte, J. y Giorgio, A. (2011). Composition influences the pathway but not the outcome of the metabolic response of bacterioplankton to resource shifts. *PLOS ONE*, 6(9), e25266. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025266>
- Constantini, A., Consentino D. y Conti, M. (2000). Efecto de la fertilización sobre la biomasa microbiana en sistemas de labranza conservacionista. *Actas Del XVII Congreso Argentino De La Ciencia Del Suelo*(17).
- Cremona, V. y Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia XXXI*(73), 5–8. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7709>
- Curiel, J., Hereş, A., Ojeda, G., Paz, A., Pizano, C., García-Angulo, D. y Lasso, E. (2017). Soil heterotrophic CO₂ emissions from tropical high-elevation ecosystems (Páramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. *Soil Biology and Biochemistry*, 110, 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.016>
- Yuste, J., Baldocchi, D., Gershenson, A., Golstein, A., Misson, L. y Wong, S. (2007). Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, 13(9), 2018–2035. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01415.x>
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C. y Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37–46. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19543>
- Enríquez, L., Briones, L. y Mendoza García, F. (2010). Caracterización preliminar de aislamiento de microorganismos, mediante la técnica de e.m., a nivel de comunidades vegetales en dos zonas de vida ecológicamente diferentes. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9017>
- Frene, P., Wall, G. y Gabbarini, L. A. (2018). El manejo agrícola como herramienta clave para una agricultura de conservación. Su análisis desde la bioquímica y la microbiología del suelo. *Divulgatio. Perfiles académicos de posgrado*, 2(05), 1–16. <https://doi.org/10.48160/25913530di05.55>
- Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0864-03942012000200001
- García, M., Barreto, Y., González, R. y Álvarez, B. (2016). Efecto del uso del suelo sobre su calidad en áreas de la Finca “Baños de Marrero”. *Agrotecnia De Cuba*, 41(1), 62–69. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0253-57852016000200002
- García-Angulo, D., Hereş, M., Fernández-López, M., Flores, O., Sanz, J., Rey, A., Valladares, F. y Curiel Yuste J. (2020). Holm oak decline and mortality exacerbates drought effects on soil biogeochemical cycling and soil microbial communities across a climatic gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107921. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107921>

- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J. y Gaistardo, C. (Eds.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe: Funciones clave del suelo*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1001699/1/atlaslac.pdf>
- Guardado, W., (2022). Macrofauna como indicador clave para identificar elementos de una agricultura y ganadería sostenible. [Tesis de Grado Maestría, Escuela agrícola Panamericana]
- Guggenberger, G., Frey, D., Six, J., Paustian, K. y Elliott, T. (1999). Bacterial and Fungal Cell-Wall Residues in Conventional and No-Tillage Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1188–1198. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351188x>
- Hernández, R., Morros, M. y Medina, C. (2011). La integración del conocimiento local y científico en el manejo sostenible de suelos en agroecosistemas de sabanas. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33917765004.pdf>
- Hieber, M. y Gessner, O. (2002). Contribution of stream detritivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on estimates. *Ecology*, 83(4), 1026–1038. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1026:COSEFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1026:COSEFA]2.0.CO;2)
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Physical and chemical soil properties and their relation with biological activity under different soil managements in Quíbor, Lara State, Venezuela. *Bioagro*, 25(1), 47–56.
- Jimenez, G. (2020). *Caracterización de las propiedades químicas de Granos Secos de Destilería con Solubles (Dried Distillers Grains with Solubles) para ser utilizados en fórmulas de alimentos balanceados para ganado lechero en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6951](https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6951)
- Karlen, L., Mausbach, J., Doran, W., Cline, G., Harris, F. y Schuman, E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4–10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Kenkel, N. C., Juhsz Nagy, P. y Podani, J. (1989). On sampling procedures in population and community ecology. *Vegetatio*, 83(1-2), 195–207. <https://doi.org/10.1007/BF00031692>
- Lagomarsino, A., Grego, S. y Kandeler, E. (2012). Soil organic carbon distribution drives microbial activity and functional diversity in particle and aggregate-size fractions. *Pedobiologia*, 55(2), 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.12.002>
- Lejía, E., Pavón, N., Sánchez, A. y Pérez, G. (2021). Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia (102), 43–68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s2663-39812021000100043&script=sci_arttext
- Liu, B., Tu, C., Hu, S., Gumpertz, M. y Ristaino, B. (2007). Effect of organic, sustainable, and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of Southern blight. *Applied Soil Ecology*, 37(3), 202–214. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.06.007>
- Losinno, B., Sainato, C., Malleville, H. y Galindo, G. (2008). Tomografía de resistividad eléctrica aplicada a la caracterización de sitios contaminados en tambos. *Ciencia Del Suelo*, 26(2), 141–152. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=s1850-20672008000200004&script=sci_arttext&lng=pt

- Maestre, T., Quero, L., Gotelli, J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., García-Gómez, M., Bowker, M. A., Soliveres, S., Escolar, C., García-Palacios, P., Berdugo, M., Valencia, E., Gozalo, B., Gallardo, A., Aguilera, L., Arredondo, T., Blones, J., Boeken, B., . . . Zaady, E. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065), 214–218. <https://doi.org/10.1126/science.1215442>
- Malik, A., Chowdhury, S., Schlager, V., Oliver, A., Puissant, J., Vazquez, M., Jehmlich, N., Bergen, M. von, Griffiths, R. I. y Gleixner, G. (2016). Soil Fungal:Bacterial Ratios Are Linked to Altered Carbon Cycling. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1247. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01247>
- Martínez, C. (2008). La importancia de la Sanidad Vegetal en la agricultura. El control de los insectos vectores de los virus de los cultivos hortícolas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*(198), 56–58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2568830>
- Medina, A. (2015). *Caracterización morfológica de hongos fitopatógenos en el cultivo de brocoli (brassica oleracea var. italica), sector Brigada Patria – Cotopaxi. 2014* [Tesis universitaria, Latacunga]. repositorio.utc.edu.ec. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2520>
- Navarro, F. (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]. eprints.ucm.es. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/36128/>
- Ochoa, V., Hinojosa, B., Gómez-Muñoz, B. y García-Ruiz, R. (2007). Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Iniciación a la Investigación*(2). <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/251>
- Marín, R. y Marín, H. (2018). *Aplicación de microorganismos y sus beneficios en suelos para la producción agrícola*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25714>
- Orgiazzi, A., Bardgett, R. y Barrios, E. (2016). *Global soil biodiversity atlas*.
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 121–124. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6739>
- Ramos, E. y Zúñiga, D. (2016). Efecto de la humedad, pH y temperatura en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 123. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.367>
- Raymundo-Jiménez, R., García-Ibarra, E., López-Arroyo, J. I., Ramírez-Cabral, N. Y. Z. y Rodríguez-Guerra, R. (2019). Producción y germinación de conidios del hongo entomopatógeno *Hirsutella citrifomis* (Ascomycota: Ophiocordycipitaceae). *Scientia Fungorum*, 49, e1221. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1221>
- Rives, N., Acebo, Y. y Hernández, A. (2007). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Perspectivas de su uso en Cuba. *Cultivo Tropicales*(2), 29–38. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731004.pdf>
- Rojas-Badía, M., Bello-González, A., Ríos-Rocafull, Y., Lugo-Moya, D. y Sánchez, J. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*, 69(1), 54–60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>

- Ross, J. y Sparling, P. (1993). Comparison of methods to estimate microbial c and n in litter and soil under pinus radiata on a coastal sand. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(11), 1591–1599. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90015-4)
- Salazar, O., Wesström, I., Youssef, M. A., Skaggs, R. W. y Joel, A. (2009). Evaluation of the DRAINMOD–N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agricultural Water Management*, 96(2), 267–281. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.08.008>
- Sánchez de Prager, M. (2018). *Aportes de la biología del suelo a la agroecología* (Primera edición). Colección Pacífico. Serie Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia.
- Santos, C., Hurtado, D. A. V., Silva, A. A., Nobre, D. A. C., Silva, G. H. y Macedo, W. R. (2022). Physiological and metabolic alterations in basil (*Ocimum basilicum* L.) varieties under distinct soil water levels. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 21(1), 94–107. <https://doi.org/10.37360/blacpma.22.21.1.06>
- Sullivan, W., Selmants, C. y Hart, C. (2012). New evidence that high potential nitrification rates occur in soils during dry seasons: Are microbial communities metabolically active during dry seasons? *Soil Biology and Biochemistry*, 53, 28–31. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.029>
- Rivera, P., Murgas, E., Ríos, E. y Merini, J. (2020). Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia [Effect of glyphosate on microbiota, soil quality and biofortified bean crop in Codazzi, department of Cesar, Colombia]. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>
- Torres, D., Contreras, J., Henríquez, M., Hernández, W. y Lorbes, J. (2017). Agricultural soils in Lara State, Venezuela/ identificación de potencialidades y limitantes de suelos agrícola del estado de Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(3), 207–218.
- Torres, D., Nectalí, R., Héctor, Y., Adriana, F. y Frank, Z. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. *Bioagro*, 18(2), 123–128. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1316-33612006000200007
- Uribe, L [L.] (1999). Uso de indicadores microbiológicos de suelos: ventajas y limitantes, 39–46.
- Vélez, C. (2013). *Cartografía de las coberturas y los usos de la tierra para una evaluación de la fragmentación en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu](https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1763). <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1763>
- Vries, F., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L. y Bloem, [Jaap] (2006). Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2092–2103. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.008>
- Wallenstein, D., McMahon, S. y Schimel, J. (2007). Bacterial and fungal community structure in Arctic tundra tussock and shrub soils. *FEMS Microbiology Ecology*, 59(2), 428–435. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00260.x>
- Wang, X., Piao, S., Ciais, P., Janssens, I. A., Reichstein, M., Peng, S. y Wang, T. (2010). Are ecological gradients in seasonal Q10 of soil respiration explained by climate or by vegetation seasonality?

Soil Biology and Biochemistry, 42(10), 1728–1734.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.06.008>

- West, A. W., Sparling, G. P., Speir, T. W. y Wood, J. M. (1988). Comparison of microbial C, N-flush and ATP, and certain enzyme activities of different textured soils subject to gradual drying. *Soil Research*, 26(1), 217. <https://doi.org/10.1071/sr9880217>
- Winowiecki, L., Tor Gunnar, V. y Huising, J. (2016). Effects of land cover on ecosystem services in Tanzania: A spatial assessment of soil organic carbon. *Geoderma*, 263, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.010>
- Zamudio, V. y Méndez, E. (2011). La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región centro-sur del estado de Nayarit, México. *Ambiente y Desarrollo*, 15(28), 11–40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3937622>
- Zúñiga, D. (1997). *Contribución relativa de los simbioses en la fijación de nitrógeno por phaseous vulgaris en condiciones de estrés salino* [Tesis Doctoral, Universidad de Granada]. digibug.ugr.es. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/35627>

Anexos

Anexo A

Relación Hongos-Bacterias para la estación seca

Manejo agrícola	Relación del radio Hongos-Bacterias				
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
Agricultura convencional	0.0232	0.0252	0.0000	0	0
Árboles dispersos	0.0617	0.0598	0.0667	0	0
Bosque secundario	0.0340	0.4000	0.0000	0	0
Agricultura de conservación de suelos	0.0942	0.5000	0.0000	0	0
Extensivo	0.0042	0.0000	0.0000	0	0
Semi-intensivo	0.0110	0.0000	0.0000	0	0
Bosque Ripario	0.5816	0.8246	1.0000	0	0
Agroecología familiar	0.2545	0.4375	0.0000	0	0
Plantación de teca	0.2374	0.2320	0.0000	0	0
Agricultura orgánica	0.8526	1.2727	1.5000	0	0
Bosque Forrajero	0.7802	1.7143	0.0000	0	0

Anexo B

Conteo de la población bacteriana en estación húmeda

P.M	Unidades Formadoras de colonia (UFC/gr de suelo)					CNT
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	
Agricultura Convencional	510	90	83	54	42	0
Agricultura de Conservación de Suelos	768	391	55	7	0	0
Semi-intensivo	515	481	70	23	0	0
Agroecología familiar	2218	1860	454	31	8	0
Plantación de teca	157	90	76	46	33	0
Agricultura orgánica	95	42	20	7	0	0

Nota. Los puntos de muestreo son abreviados P.M. El control de la muestra será abreviado a CNT.

Anexo C

Conteo de la población micótica en estación seca

Manejo agrícola	Unidades Formadoras de colonia (UFC/gr de suelo)					CNT
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	
Agricultura convencional	57	66	7	0	0	0
Agricultura de Conservación de Suelos	95	78	63	8	0	0
Semi-intensivo	24	0	0	0	0	0
Agroecología familiar	52	48	21	0	0	0
Plantación de teca	52	42	0	0	0	0
Agricultura orgánica	72	48	43	0	0	0

Nota de pie. Los puntos de muestreo son abreviados P.M. El control de la muestra será abreviado a CNT.

Anexo D

Relación Fungi: Bacteria para estación seca

Manejo agrícola	Relación del radio Hongos-Bacterias				
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
Agricultura convencional	0.0232	0.0252	0.0000	0	0
Árboles dispersos	0.0617	0.0598	0.0667	0	0
Bosque secundario	0.0340	0.4000	0.0000	0	0
Agricultura de conservación de suelos	0.0942	0.5000	0.0000	0	0
Extensivo	0.0042	0.0000	0.0000	0	0
Semi-intensivo	0.0110	0.0000	0.0000	0	0
Bosque Ripario	0.5816	0.8246	1.0000	0	0
Agroecología familiar	0.2545	0.4375	0.0000	0	0
Plantación de teca	0.2374	0.2320	0.0000	0	0
Agricultura orgánica	0.8526	1.2727	1.5000	0	0
Bosque Forrajero	0.7802	1.7143	0.0000	0	0

Anexo E

Relación Hongos: Bacterias para estación húmeda

Manejo agrícola	Relación del radio Hongos: Bacterias				
	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
Agricultura convencional	0.1118	0.7333	0.0843	0.0000	0
Agricultura de Conservación de Suelos	0.1237	0.1995	1.1455	1.1429	0
Semi-intensivo	0.0466	0.0000	0.0000	0.0000	0
Agroecología familiar	0.0234	0.0258	0.0463	0.0000	0
Plantación de teca	0.3312	0.4667	0.0000	0.0000	0
Agricultura orgánica	0.7579	1.1429	2.1500	0.0000	0