



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA DE OCAMPO
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**MICROBIOTA, MACROBIOTA Y FERTILIDAD EN FUNCIÓN DEL
SISTEMA DE USO DEL SUELO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
JULIA GARCÍA LUNA**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS MAO ESTANISLAO AGUILAR LUNA**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, 20 DE NOVIEMBRE DE 2024



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA DE OCAMPO
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**MICROBIOTA, MACROBIOTA Y FERTILIDAD EN FUNCIÓN DEL
SISTEMA DE USO DEL SUELO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
JULIA GARCÍA LUNA**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS MAO ESTANISLAO AGUILAR LUNA
CODIRECTOR:
M.C. MOISÉS GRACIANO CARCAÑO MONTIEL**

**ASESORES:
DR. JOSÉ FILOMENO CONRADO PARRAGUIRRE LEZAMA
M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, A 20 DE NOVIEMBRE DE 2024

La presente tesis titulada: **Microbiota, macrobiota y fertilidad en función del sistema de uso del suelo**, realizada por la alumna **Julia García Luna** con matrícula **201756907**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL
COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA DE OCAMPO**

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna

Codirector: M.C. Moisés Graciano Carcaño Montiel

Asesor: Dr. José Filomeno Conrado Parraguirre Lezama

Asesor: M.C. Benjamín Barrios Díaz

Tetela de Ocampo, Puebla a 20 de noviembre de 2024

El presente trabajo forma parte del cuerpo académico: BUAP-CA-324-Sistemas Agroforestales y Agrícolas Sostenibles; dentro de la línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Agroforestería y Manejo Integrado de Cultivos. Además del cuerpo académico BUAP-CA-99- Microbiología del Suelo y BUAP-CA-348- Biotecnología para la agroalimentación y agroecología. El trabajo se financió con recursos propios y del programa de biofertilizantes BIOFERTIBUAP.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, que me guardó en sus instalaciones, especialmente al Complejo Regional Norte Sede Tetela.

Al Dr. Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna, por el seguimiento y sugerencias a mi trabajo.

Al M.C. Moisés Graciano Carcaño Montiel, que me permitió incursionar a su área de conocimiento, por la paciencia e inclusión. Mi gratitud profe Moi.

Al Dr. José Filomeno Conrado Parraguirre Lezama, por sus consejos y disponibilidad para atender mis dudas.

M. C. Alfredo Báez Simón, por su atención a mis inquietudes y las herramientas brindadas para el aprendizaje.

M. C. Benjamín Barrios Díaz por la orientación y aportes desde su experiencia.

A la maestra Mónica Laureano, por sus aportes a mi persona, mi cariño miss.

Al equipo de BIOFERTIBUAP, a las Biólogas Leti y Anayeli, al Q.F.B. Héctor, por su apoyo e intercambio de conocimientos.

A mis amigos y colegas Brandon Castro, Oscar Monarca, Liz Ojeda, Gustavo Méndez, Lupita Cortes y Maritza Nicolás, atesoro su amistad.

A doña Tere y don Memo, gracias por su ayuda siempre que la requerí.

DEDICATORIAS

A **Dios** por el don de la vida.

A mi madre **Isabel Luna Castilla**, por apoyarme a llegar hasta este punto, que siempre me inculcó principios, valores y anhelos de crecimiento. Por todo el amor pese a las dificultades, gracias por la paciencia madre te amo.

A **Diana Lizbeth García Luna** por ser mi compañera de vida, por los malos y mejores momentos. Solo tú comprendes la razón de todo. Le das luz a mi existencia, te amo hermana.

A **Mariana García Luna** por hacerme la vida más feliz, te llevo conmigo a donde sea que voy. Adoro verte crecer hermanita, te amo.

A **Dulce García Obregón**, tú sabes qué onda. Amor siempre.

A la familia **Ramírez Pérez** por hacerme pertenecer. Los quiero, especialmente a la señora **Gloria Pérez**.

A **Antonio Ramírez** por hacer más amena esta travesía, te quiero.

Vida estamos en paz.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El suelo.....	4
2.2. El suelo y los sistemas agroforestales.....	8
2.3. Indicadores de fertilidad y calidad del suelo.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Sitios de estudio.....	21
3.1.1. Descripción de los sitios de muestreo.....	23
3.2. Equipo utilizado.....	28
3.3. Métodos de muestreo y recolección.....	29
3.4. Variables respuesta.....	31
3.5. Análisis de datos.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Microbiota edáfica: bacterias, hongos y actinomicetos.....	39
4.2. Macrobiota edáfica: densidad y biomasa de lombrices.	44
4.3. Fertilidad: análisis físico y químico.....	48
5. CONCLUSIONES.....	51
LITERATURA CITADA.....	52

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características de los sitios de muestreo.....	21
2	Número de diluciones correspondiente de acuerdo al microorganismo a incubar.....	34
3	Métodos y unidades para determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.....	34
4	Descripción del método utilizado en cada parámetro de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....	35
5	Resultados de UFC de bacterias obtenidos de un gramo de suelo.....	39
6	Conteo de UFC de hongos obtenidos de un gramo de suelo de los diferentes usos de suelo.....	41
7	Conteo de UFC de actinomicetos obtenidos de un gramo de suelo.....	43
8	Resultados obtenidos del análisis físico y químico de cada sistema de uso del suelo respectivamente.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	El triángulo textural del suelo es uno de los métodos empleados para la determinación del material predominante en el suelo, ya sea limo, arcilla o arena.....	6
2	Funciones fundamentales del suelo (FAO, 2015).....	7
3	Anatomía de Oligochaeta (Rodríguez, 2018).....	20
4	Localización de los sitios de muestreo en Tetela de Ocampo y Cuautempan, Puebla.....	22
5	Bosque templado de pino-encino poco perturbado en la comunidad de Benito Juárez, Tetela de Ocampo.....	23
6	Sistema agroforestal de <i>Coffea arabica</i> 'Geisha Esmeralda' en la comunidad de Totomoxtla, Cuautempan.....	24
7	Pastoreo de borregos controlado mediante una jaula evitando el daño mecánico a las plantas y árboles de manzana siendo estos el producto primario del sistema agroforestal, ubicado en Tamuanco, Tetela de Ocampo.....	25
8	Maizal de temporal en la comunidad de La Mesa, La Soledad, Tetela de Ocampo.....	26
9	Bosque con perturbación cuatro meses después del incendio en Cuapancingo, Tetela de Ocampo.....	27

10	Recolección de muestras de suelo para análisis microbiológico para conteo de UFC de hongos, bacterias y actinomicetos.....	29
11	Recolección de las muestras de suelo para análisis físico y químico.....	30
12	Vaciado de medios de cultivo en cajas Petri en campana de flujo laminar.....	31
13	Método de diluciones para determinar las UFC existentes en 1 g de suelo.....	32
14	Cuantificación de 1 g de suelo para las diluciones.....	33
15	a) Diluciones preparadas y algunos de los materiales utilizados en el procedimiento y b) sembrado de las diluciones en placa.....	33
16	Comportamiento del conteo de UFC/g ¹ de bacterias en cada uso del suelo respectivamente.....	40
17	Comportamiento del conteo de UFC/g ¹ de hongos en cada uso del suelo respectivamente.....	42
18	Comportamiento del conteo de UFC/g ¹ de actinomicetos en cada uso del suelo respectivamente.....	44
19	Densidad y biomasa de lombrices de tierra durante el año en el sistema agroforestal de café y vegetación natural.....	45
20	Densidad y biomasa de lombrices de tierra durante el año en el sistema agroforestal con manzano y borregos.....	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Tabla de clasificación de valores de pH de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....	68
2	Tabla de interpretación de resultados de densidad aparente según la NOM-021-RECNAT-2000.....	68
3	Interpretación de conductividad eléctrica de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....	69
4	Tabla de interpretación de resultados de materia orgánica según la NOM-021-RECNAT-2000.....	69
5	Interpretación de resultados de nitrógeno de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....	70
6	Interpretación de resultados de fósforo de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.....	70
7	Resultados de los análisis de las bases intercambiables (NOM-021-RECNAT, 2000).....	70

MICROBIOTA, MACROBIOTA Y FERTILIDAD EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE USO DEL SUELO

RESUMEN

El suelo es un recurso que ha sido minimizado, por lo que es importante resaltar el estado actual del mismo, debido a que de ello se desprende su potencial productivo. El objetivo fue cuantificar la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, hongos y actinomicetos por gramo de suelo, contabilizar la presencia de lombrices y analizar las propiedades físicas y químicas en cada sistema de uso del suelo; Para ello se muestrearon cinco sistemas de uso del suelo: bosque templado de pino-encino poco perturbado (BPP), sistema agroforestal con manzano y borregos (SAMB), sistema agroforestal de café y vegetación natural (SAC), maizal de temporal (MT) y bosque de pino-encino con perturbación por incendio natural (BPPI). Los sitios se ubicaron en Tetela de Ocampo y Cuautempan, Puebla. Cinco muestras compuestas fueron extraídas en cada estación del año 2020-2021 (verano-primavera); las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología del Suelo BUAP. Los resultados de microbiota señalan que el uso de suelo con mayor número de UFC fue BPPI con $\bar{x} = 2.35 \times 10^7$ UFC g^{-1} en bacterias y $\bar{x} = 2.13 \times 10^6$ UFC g^{-1} en actinomicetos y $\bar{x} = 6.40 \times 10^5$ UFC g^{-1} en hongos en BPP por encima de los otros usos de suelo. En cuanto a macrobiota se reporta que hubo presencia de lombrices únicamente en los sistemas agroforestales con la mayor densidad obtenida en SAMB con el dato más elevado en otoño con $\bar{x} = 15$ individuos. Con respecto a la biomasa SAC arrojó los datos más altos con 4.5 g en invierno. Los resultados del análisis físico y químico indican que la presencia de macrobiota y abundancia de microbiota son influidos principalmente por los parámetros de pH y MO. Se observa una notable relación de la fertilidad del suelo con la presencia de macrobiota y abundancia de microbiota.

Palabras clave: Unidades formadoras de colonias, lombrices, sistema agroforestal, bosque perturbado por incendio, maizal de temporal.

MICROBIOTA, MACROBIOTA AND FERTILITY AS A FUNCTION OF LAND USE SYSTEM

ABSTRACT

Soil is a resource that has often been underestimated, there is the importance to highlight its current status due to the implication with its productive potential. The objective of this research was to quantify the number of colony-forming units (CFU) of bacteria, fungi, and actinomycetes per gram of soil, describe the presence of earthworms, and analyze the physical and chemical properties in each land use system. To achieve this, five land use systems were sampled: a disturbed pine-oak temperate forest (BPP), an agroforestry forest system of apple trees and sheep (SAMB), a rain-field maize field (MT), and a pine-oak forest disturbed by non anthropogenic fire (BPPI). The sites were located in Tetela de Ocampo and Cuautempan, Pue. From each site a sample was taken in each season (summer-spring) of 2020-2021 and analyzed at Soil Microbiology Laboratory of BUAP. Microbiota results indicated that the land use system with the highest number of CFU was BPPI with an average of 2.35×10^7 CFU g^{-1} for bacteria, 6.40×10^5 CFU g^{-1} for fungi, and 2.13×10^6 CFU g^{-1} for actinomycetes, surpassing other land use systems. For macrobiota, earthworms were present only in agroforestry systems, with the highest density found in SAMB, peaking in autumn with an average of 15.6 individuals. The SAC biomass data showed the highest value of 4.5 g in winter. Physical and chemical analysis results indicated that the presence of macrobiota and the abundance of microbiota were influenced by parameters such as pH, electrical conductivity (CE), soil bulk density (DA), texture, organic matter (MO), total nitrogen (Nt), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), and cation exchange capacity (CIC). There is a notable relationship between soil fertility, the presence of macrobiota, and the abundance of microbiota.

Key words: Colony-forming units, earthworms, agroforestry system, rain-field maize field, fire-disturbed forest.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento importante para el soporte de la vida, al colaborar en el funcionamiento de diversos ecosistemas y además sostiene la economía agrícola a nivel mundial. Sin embargo, se encuentra en creciente deterioro que se le atribuye al incremento de población y a la sobreexplotación para la producción de alimentos. Se le considera simplemente como un sustrato de anclaje para las raíces del cultivo y no como el componente complejo con procesos naturales y requerimientos para mantenerse sano y productivo.

Los usos de suelo de una región se rigen por distintos factores que permiten su aprovechamiento, como son el clima, el relieve, el tipo de suelo, e incluso las propias necesidades de los campesinos o productores. En la Sierra Norte de Puebla, específicamente Tetela de Ocampo y Cuautempan, existen diferentes usos de suelo, los predominantes en la región son: agricultura, pastizal, bosque y zona urbana. Gran parte del territorio cuenta con laderas escarpadas que señalan fuertes indicios de erosión.

Los sistemas de uso del suelo son un factor muy importante para acelerar o bien disminuir los cambios en el suelo y con ello contribuir o mitigar la erosión. La mayor parte del territorio en Tetela de Ocampo y Cuautempan es bosque de pino-encino, el cual en los últimos años ha sufrido perturbaciones por la tala ilegal e incendios forestales que se incrementan en la temporada de sequía.

Por otro lado, la agricultura que se maneja en la región es de temporal y con un enfoque convencional, con el uso de fertilizantes químicos, pesticidas para el control de plagas, enfermedades y en algunos casos el empleo de semillas mejoradas. Además de las prácticas tradicionales de monocultivo que son comunes en la región, existen sistemas agroforestales implementados con frutales y animales, que al paso del tiempo se han ido adaptando y han permitido que este uso del suelo se siga utilizando.

En esta investigación se seleccionaron cinco sistemas de uso de la tierra que son comunes en la región, siendo bosque templado de pino-encino poco perturbado, bosque de pino-encino con perturbación por incendio natural, sistema agroforestal de café y vegetación natural, sistema agroforestal con manzanos y borregos y por último un maizal de temporal. En cada uno de los sistemas se realizó un muestreo en cinco de oros con la finalidad de extraer cinco submuestras y finalmente obtener una muestra compuesta por cada sitio.

El análisis físico, químico y microbiológico de las muestras se realizó en el laboratorio de microbiología de suelos de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Cabe mencionar que además de la extracción de muestras se realizaron monolitos de 25x25x30 cm para la recolección de lombrices de tierra, para cuantificar su densidad y su biomasa. La finalidad de este estudio fue analizar la presencia de lombrices y su relación con la cantidad de microorganismos en función de la fertilidad de cada uno de los usos de suelo.

Por lo tanto, la estructura metodológica y el contenido de esta investigación se encuadra en el protocolo tipo **observacional**, porque las mediciones y observaciones se tomaron tal y como se presentaron en el fenómeno estudiado, es decir, no se modificó el material de investigación (microbiota, macrobiota y parámetros físicos y químicos del suelo). Fue **retrospectiva**, porque la información que se utilizó en la investigación estuvo implícita en el material de estudio (biomasa y densidad de lombrices, unidades formadoras de colonias de hongos, bacterias y actinomicetos; y parámetros físicos y químicos del suelo), los cuales no se modificaron por alguna acción de manejo en el tiempo presente si no que fueron cambiando en función de la naturaleza misma del sistema de uso del suelo. Fue **longitudinal** debido a que las mediciones en las variables de respuesta se hicieron varias ocasiones (durante el tiempo de duración de la investigación); lo cual implicó el seguimiento del estudio de la microbiota, macrobiota, parámetros físicos y químicos y de cómo el uso del suelo influye en cada uno de estos. Fue **comparativo de causa y efecto** porque se estudió

el sistema de uso del suelo y como el manejo de cada uno de estos interviene en los parámetros microbiológicos, macrobiológicos, físicos y químicos del suelo.

1.1. Planteamiento del problema

¿Los sistemas agroforestales ayudan a propiciar una más alta fertilidad, macrobiota y microbiota en el suelo?

1.2. Objetivos

- Cuantificar la densidad y biomasa de lombrices en cada sistema de uso del suelo.
- Contabilizar las unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos, bacterias y actinomicetos en cada sistema de uso del suelo.
- Analizar la fertilidad del suelo mediante parámetros físicos y químicos.

1.3. Hipótesis

- Si, cuantifico el índice de densidad y biomasa de lombrices presentes en los sistemas de uso del suelo; entonces, los sistemas con ausencia de lombrices serán aquellos que tengan mayor perturbación y menor fertilidad del suelo.
- Si, contabilizo las UFC de hongos, bacterias y actinomicetos de cada sistema de uso del suelo; entonces el comportamiento de las colonias será más alto en verano y más diverso en el sistema más biodiverso.
- Si, analizo la fertilidad de los sistemas de uso del suelo; entonces, el uso de suelo con menor fertilidad será aquel con ausencia de lombrices, mientras que el de mayor fertilidad tendrá abundancia de lombrices y UFC de microbiota.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

El suelo proporciona bienes y servicios, así como agua y minerales para las plantas (FAO, 2015); almacena carbono y es el sostén de diversos ecosistemas en los cuales habitan diversos animales y microorganismos. El conocimiento de los suelos es la base para su aprovechamiento y de ellos se desprende la potencialidad de sus características y propiedades (López, 1991). A los suelos no solo se les debe limitar a su capacidad productiva, son parte del ambiente y son un fenómeno natural (FritzPatrick, 1996).

Desde una perspectiva ecológica y agroforestal, el suelo constituye una interfase que permite intercambios entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera. Los suelos son considerados base de los ecosistemas terrestres, posibilitando la vida en el planeta (Porta *et al.*, 2008). Como ente dinámico, este recurso desempeña el mantenimiento y la calidad de las aguas que lo atraviesan en el filtrado, intercambio iónico, almacenamiento y posible transferencia al siguiente compartimento ambiental.

Otro de los aspectos importantes en los que interviene el suelo es la fijación de gases de efecto invernadero o la captura de carbono. Además de la reserva genética y el hábitat biológico que brinda. De acuerdo con López *et al.* (2008), los suelos son unidades funcionales en la que funcionan factores ecológicos de formación, que dependiendo del lugar van variando. Son precursores de la edafología y su evolución depende de cinco factores (Bockheim *et al.*, 2014):

- Roca: material originario del cual se forma el suelo.
- Geomorfología: relieve en donde se encuentra el sitio.
- Clima: aporta energía y agua al material originario.
- Organismos vivos: actúan sobre la roca agilizándolo su disgregación y mezcla.
- Tiempo: todos los factores realizan su acción a lo largo de cientos o miles de años.

Además de la percepción económica que se tiene del suelo, Blum (2002) y Porta (2005), propusieron las siguientes funciones ecológicas:

- Producción de biomasa, que además de ser el soporte de raíces, suministra nutrimentos, aire y agua. El suelo produce alimentos y materias primas. Sin mencionar el hábitat que se crea mediante el crecimiento de plantas, sirve como alojamiento a las especies animales.
- Funciones de filtrado, almacenamiento, transformación y tampón: las funciones ya mencionadas se relacionan con los contaminantes. La función tampón del suelo permite la resistencia a los procesos de acidificación o contribuye a que se recupere. Además, indica la capacidad de un suelo para absorber agroquímicos, nutrimentos o sustancias que deriven de aguas y lodos residuales, etc. Dicha función permite que una sustancia añadida pueda ser inmovilizada y no se transfiera a otro compartimento ambiental.
- Hábitat biológico y reserva de genes: tener conocimiento de la microbiología es una herramienta que posibilita comprender y cuantificar los procesos que surgen en el suelo.

Al respecto, Brady *et al.* (1999), indicaron que en cualquier ecosistema los suelos ejercen cinco funciones fundamentales:

1. Conocido como el medio natural para el desarrollo de las plantas, soporte para las raíces y fuente de elementos nutritivos a las plantas. Las propiedades de los suelos determinan la vegetación presente, el número y tipo de animales, incluso al hombre mismo que la vegetación puede mantener.
2. La textura de los suelos es el factor principal que controla el destino del agua en el sistema hidrológico, debido a que la contaminación, la pérdida, el uso y la purificación del agua están relacionados (Figura 1).

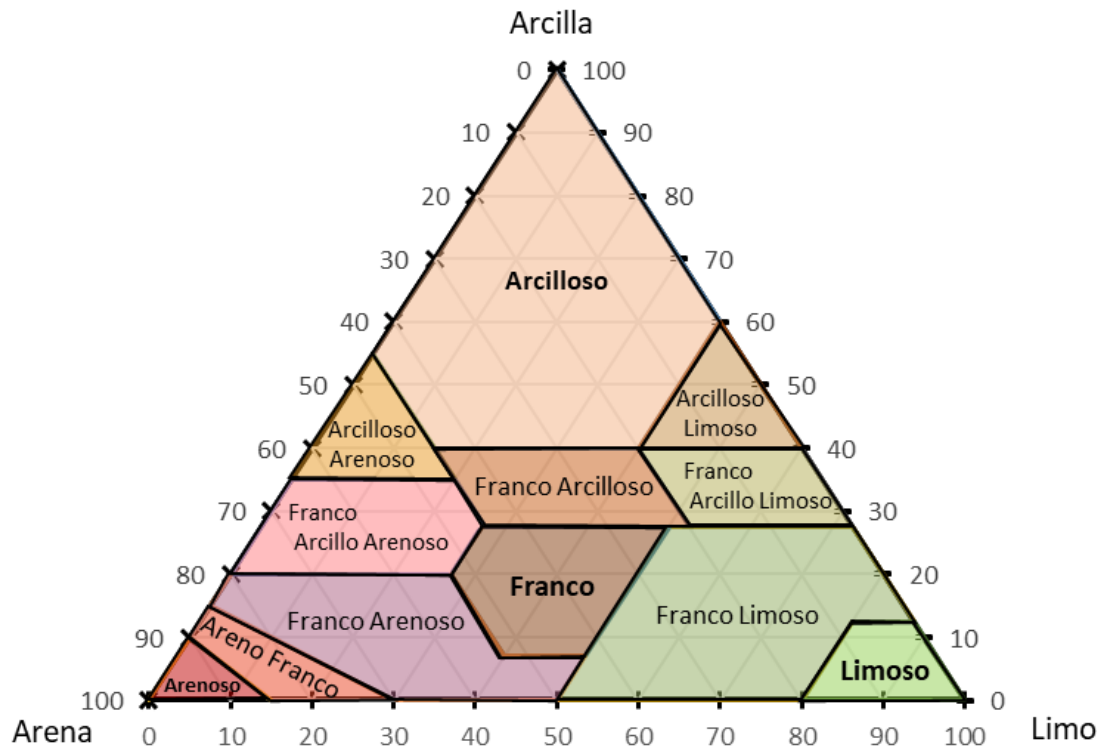


Figura 1. El triángulo textural del suelo es uno de los métodos empleados para la determinación del material predominante en el suelo, ya sea limo, arcilla o arena.

3. Menciona al suelo como un sistema natural de reciclado, puesto que se encarga de asimilar restos de animales y plantas, los elementos básicos en los que se transforman se vuelven disponibles, siendo utilizados por la siguiente generación viva.
4. Proporciona hábitat para los organismos vivos, desde microorganismos hasta los habitantes de un ecosistema.
5. Esta función es el uso que el hombre le asigna en el medio ingenieril, como cimientos en carreteras y construcciones, rellenos, adobes y tabiques (Figura 2) (Ortiz, 2019).



Figura 2. Funciones fundamentales del suelo (FAO, 2015).

Vargas (2016), resaltó que la alimentación depende de la calidad de los suelos y que la degradación de estos es un proceso silencioso que conlleva a consecuencias a la humanidad. La degradación de los suelos limita la producción de bienes y servicios, la producción de alimentos y la conservación del agua, flora y fauna. Hay estudios que demuestran que al menos un tercio de los suelos del planeta sufren una degradación entre moderada y grave.

Pulido (2014), reconoció que la degradación de suelos no solo involucra la alteración de procesos físicos, químicos y biológicos, sino también factores propios del suelo, tales como la vegetación, relieve, litología y hasta le clima, que a su vez pueden acelerar o retardar los procesos de desgaste.

2.2. El suelo y los sistemas agroforestales

Debido a las necesidades de alimento que demanda la población, el hombre se ha ido destinando una mayor superficie de suelo para la agricultura. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2012), la degradación del suelo se reflejó en un 10 % en pastizales, 20% tierras agrícolas y 30% bosques. El impacto que genera el cambio de suelos forestales a cultivados se traduce a la notable degradación de este recurso (Hernández *et al.*, 2017).

Por su parte, la agroforestería hace énfasis en la sustentabilidad debido al manejo del suelo y de los cultivos tanto forestales, frutales y herbáceos que pueden encontrarse de manera simultánea o secuencial en una misma unidad de tierra; en su mayoría aplicando prácticas culturales de la misma población local. El objetivo de los sistemas agroforestales es crear interacciones benéficas entre cada uno de los componentes inmersos en el mismo (árboles, cultivos y animales) y así mismo contrarrestar las emisiones de CO₂ (Nair, 1983).

Por ejemplo, los sistemas agroforestales con cafetos, generan condiciones intermedias con respecto a los anteriores, pues están más perturbados que los bosques, pero menos que los cultivos anuales (Fernández, 2016). De acuerdo a Nair (1983), los ecosistemas arbóreos producen biomasa que mejora y mantiene los niveles de materia orgánica; algunas especies protegen contra la erosión generada por el viento y el agua, mientras que existen otras que se encargan de fijar nitrógeno.

Con ello, se reduce la pérdida de nutrientes, que al mismo tiempo incrementa la fertilidad del suelo, partiendo de que pueden disponer de nutrientes de las capas más profundas del mismo. Además, de mejorar las diferentes propiedades físicas, generan un microclima favorable bajo el dosel de los árboles y propician un incremento en la actividad realizada por los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica.

En cambio, los sistemas silvopastoriles involucran la presencia de árboles que interactúan con herbáceas (forrajeras) y animales, todo esto bajo un sistema integral (Mahecha, 2003; Murgueitio, 2008). Una de las características de estos sistemas es su autosuficiencia, que favorece los procesos naturales e interacciones biológicas, mejora la calidad edáfica, disminuye la dependencia de insumos químicos externos e incrementa la productividad agropecuaria (Vallejo, 2012).

Desde el tiempo prehispánico, en México y Centroamérica se ha utilizado el fuego en los sistemas agrícolas y forestales, como una técnica para limpiar los terrenos y a su vez incorporar nutrientes al suelo (FAO, 2017). Una vez calcinada la materia orgánica, se facilita la disponibilidad de potasio, calcio, fósforo y magnesio, además de acelerar el proceso de descomposición de los residuos vegetales por el incremento de la actividad microbiana (Wilson *et al.*, 2002).

La transformación de la materia orgánica en el suelo provocada por una quema comienza a partir de los 210 °C, lo que aumenta la concentración de amonio y disminuye la concentración de nitratos (Gimeno *et al.*, 2000). La actividad microbiana se rige por la relación C/N, al metabolizar parcialmente compuestos orgánicos (Mengel, 1996).

Así, los incendios naturales tienden a afectar el suelo y los microorganismos, ocasionando directamente la pérdida de cobertura vegetal, combustión de la materia orgánica, cambios en las propiedades físicas y químicas, pérdida de humedad, deposición de cenizas y carbón vegetal. De manera indirecta se ve afectada la temperatura natural del suelo y las alteraciones de sus propiedades hidrológicas (Ebrecht, 2022).

Por otro lado, hablando de los maizales de temporal, este es característico de la agricultura tradicional en México ya que combina una gran diversidad de especies vegetales (Aguilar *et al.*, 2003). Se conoce que dicho sistema integra maíz, frijol, calabaza y chile, siendo un sistema milpa si se tienen dichas especies en el mismo

espacio al mismo tiempo. Además de asegurar la alimentación de las familias que lo emplean, promueve el incremento de nutrientes de los suelos donde se ha implementado (Gutiérrez *et al.*, 2007). Al integrar gramíneas y leguminosas, debido a la simbiosis con bacterias como *Rhizobium* se propicia la fijación de nitrógeno atmosférico que a su vez beneficia a las demás especies inmersas en ese espacio (Gliessman, 2002).

2.3. Indicadores de fertilidad y calidad del suelo

Para determinar el grado de función del suelo se utilizan indicadores de calidad. Estas se ejercen, mediante la identificación de las propiedades del suelo que son sensibles al manejo, que a su vez se correlacionan con las condiciones ambientales (FAO, 2015). La fertilidad del suelo es la capacidad de brindar a las plantas un medio de soporte (Trasar *et al.*, 2000); se compone de atributos físicos, químicos y biológicos (Pieri, 1989).

Para elegir los mejores indicadores de suelo, se debe tomar en cuenta la diversidad del suelo, los seres vivos que interactúan en el mismo espacio y los usos destinados de este recurso (Cruz *et al.*, 2020). Reconocer la calidad del suelo es de suma importancia considerando que una alta calidad edáfica, mejora la productividad de ecosistemas naturales, es indispensable para mejorar la calidad del agua y aire, plantaciones forestales y garantizar la salud humana (Kelting *et al.*, 1999; Thomazini *et al.*, 2015; Gaia *et al.*, 2020).

Las principales características físicas del suelo tienen una estrecha relación con la profundidad del espacio enraizable, drenaje y porosidad (Lal, 2000). Es importante conocer estas características para ofrecer un buen manejo, conservación y recuperación del suelo. Los indicadores físicos son características que se pueden medir u observar directamente. Así como el color, el tamaño y la forma de los gránulos, la estructura, el contenido de materia orgánica, la profundidad y el drenaje (INIA, 2012). Por ejemplo, según la NOM-021-RECNAT-2000, para determinar las clases texturales se analiza la proporción del tamaño de las partículas de limo, arena y arcilla

que se encuentran combinadas en una porción de suelo y la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado, nos arroja la densidad aparente (DA) (American Society for Testing and Materials, 2003).

De las propiedades que afectan la composición química del suelo son la conductividad eléctrica (CE) del suelo que se define como la medida de la capacidad del suelo para conducir una corriente eléctrica y es influenciada por la cantidad y tipo de minerales disueltos en la solución del suelo (Brady y Weil, 2008). Mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), de acuerdo con Rengel (2012), es la suma de todos los cationes absorbidos y retenidos por el suelo que pueden ser intercambiados con los iones en la solución del suelo.

En varios análisis de rutina, se determina el nitrógeno total (Nt), aunque es escasa su utilidad indicando la disponibilidad del nitrógeno en el suelo para las plantas. Esto se debe a que la mayor parte del nitrógeno se encuentra de forma orgánica en muy bajos índices de mineralización. Es más considerado como un índice de las reservas orgánicas en los balances del suelo y la estratificación de los sistemas productivos.

Otro elemento que tiende a ser cuantificado es el fósforo (P), para lo cual se emplea el método Bray y Kurtz 1, ya que este método ha mostrado una estrecha relación con la respuesta de los cultivos. También se toma en cuenta el análisis de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en conjunto de las bases intercambiables las cuales son Ca, Mg, Na y K. Esta propiedad es importante debido a que mide la capacidad de los suelos de retener e intercambiar cationes (NOM-021-RECNAT, 2000).

El pH puede describirse como la “variable principal del suelo” que influye en las propiedades físicas, químicas y procesos biológicos, afectando el crecimiento de las plantas en el suelo y desintegración de la biomasa (Brady y Weil, 2008; Minasny *et al.*, 2016). Afecta directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la actividad de los microorganismos. La acidez (pH <5.5) influye significativamente

sobre los organismos que se desarrollan en él, y por ello es importante considerarla (Ebrecht, 2022).

La materia orgánica (MO) es la mezcla homogénea de residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, de sustancias sintetizadas química y biológicamente a partir de los productos de degradación de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos (Schnitzer, 1991). En tal sentido, la degradación de los residuos de plantas y animales constituye un proceso biológico. La descomposición de la MO, es un proceso que consta de la asimilación parcial del carbono por parte de la biomasa del suelo, la recirculación de CO₂ hacia la atmósfera y la transformación y polimerización a sustancias húmicas (García, 2008).

En ese proceso, parte del carbono es asimilado en los tejidos microbianos (biomasa microbiana), y otra parte es convertido en sustancias húmicas estables (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), así lo expresó Stevenson (1982). La MO aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la reserva de nutrientes, la capacidad tampón, los procesos de mineralización con las propiedades biológicas, favorece el desarrollo de la cubierta vegetal y sirve de alimento para microorganismos (Julca *et al.*, 2006).

En el suelo existe una gran biodiversidad de organismos vivos. Los indicadores biológicos tienen una estrecha relación con la MO y su descomposición, haciendo referencia a la presencia y abundancia de hongos, bacterias, actinomicetos, nemátodos, anélidos y artrópodos (Calderón *et al.*, 2002). Estos actúan como agentes primarios para la conducción del ciclo de nutrientes, la captura de carbono y las emisiones de gases invernadero modificando la estructura física y el almacenamiento de agua, aumentando la cantidad y disponibilidad de nutrientes para la vegetación y aumentando la salud de la planta.

La función que desempeñan los microorganismos e invertebrados han tenido poca importancia pese a los servicios que estos realizan para mantener el equilibrio de los

ecosistemas. Cabe mencionar que una serie de condiciones afectan a las poblaciones microbianas, siendo un factor importante de alteración en la función de estos grupos de organismos el uso de la fertilización química (Cárdenas *et al.*, 2017).

Estos servicios no sólo son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un recurso importante para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas (FAO, 2021). Los microorganismos contribuyen al desarrollo de la planta aportando una mejora de las características del suelo (Rivera, 2017). Por otra parte, la actividad humana afecta la diversidad y la cantidad de microorganismos del suelo, mediante prácticas agrícolas, contaminación por agroinsumos y cambio climático. Es necesario tener un mejor conocimiento de la microbiología para mejorar la conservación y sostenibilidad del suelo (McBride, 2010).

La temperatura óptima para los organismos de descomposición es de 20-40 °C aproximadamente. Las temperaturas fuera de este rango retrasarán la actividad de la mayoría de los organismos del suelo. El exceso de agua reduce el número y tipo de organismos vivos debido a la mala aireación. Sin embargo, a niveles bajos de humedad, los organismos prosperan mejor que las plantas superiores (Schwyter *et al.*, 2020).

Los primeros organismos en colonizar superficies del suelo son las bacterias, estos son transportados mediante el movimiento del agua y por la acción de diferentes artrópodos edáficos. Así mismo, son susceptibles a los cambios ambientales haciéndolos directamente dependientes de los recursos existentes (Wild, 1992). Por su parte, los actinomicetos y hongos, al ser microorganismos de crecimiento filamentoso, son capaces de explorar micrositios ayudando a aprovechar los recursos y movilizar los nutrientes, incluso en suelos con poca disponibilidad de los mismos (de Boer *et al.*, 2005).

El número de bacterias, hongos y actinomicetos varía con el pH del suelo. Si el pH es <6.0, los hongos se convierten en los microorganismos dominantes. El suministro de

nutrimentos, material orgánico para energía y gas oxígeno libre, afectan el número microbiano. Afortunadamente, las condiciones óptimas del suelo para la mayoría de las plantas y la mayoría de los microorganismos del suelo son similares (Schwyter *et al.*, 2020).

Entre los cinco grupos principales de microorganismos que habitan en el suelo se encuentran: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Las bacterias son las más abundantes debido a que tienen una amplia diversidad bioquímica, aunque carecen de adaptabilidad a los ambientes áridos. Según la FAO (2023), las bacterias tienen una estrecha relación con el nitrógeno debido a que realizan un papel crucial de su ciclo en varios procesos:

- La mineralización se define como la impregnación con amoníaco o componente de amoníaco (NH_3). Un proceso donde las formas puras de nitrógeno se transforman en amonio (NH_4^+) con la ayuda de descomponedores o bacterias. Cuando una planta o animal muere, se desecha el nitrógeno que se encuentra en forma inorgánica.
- La nitrificación es un proceso en que se divide en tres etapas. En la primera etapa las bacterias transforman el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) por lo que pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas. En la segunda etapa el amonio se oxida y se forma nitrito (NO_2). En la tercera etapa mediante oxidación se forma nitrato (NO_3).
- La fijación de nitrógeno sucede con bacterias o algas capaces de fijar el nitrógeno atmosférico incorporándolo a su organismo y depositado al suelo una vez muertos. Las bacterias *Azotobacter* y *Clostridium* son consideradas como las fijadoras de nitrógeno de manera no simbiótica. Las bacterias que llevan a cabo fijación simbiótica incluyen *Rhizobium*. Su hábitat se encuentra alrededor de las raíces leguminosas formando nódulos en las células corticales habitadas por las bacterias.
- La desnitrificación devuelve el nitrógeno a la atmósfera. Las bacterias anaeróbicas *Achromobacter* y *Pseudomonas* llevan al proceso la conversión de

nitratos y nitritos como óxido de nitrógeno (N_2O) o N molecular (N_2). En exceso el proceso tiende a conducir a pérdidas totales de nitrógeno disponible en el suelo y en consecuencia su fertilidad.

Galicia (2016), señaló que los bosques templados de México albergan una amplia diversidad de hongos en el suelo. Estos son particularmente susceptibles a los efectos del cambio climático, la degradación y la alteración del uso del suelo. Estudios recientes han demostrado que, el uso del suelo puede tener un impacto significativo en la diversidad y composición de los hongos (Vargas *et al.*, 2016).

Los hongos son capaces de sobrevivir, adaptarse y crecer en un ecosistema siempre y cuando las condiciones sean favorables. Unos de los factores determinantes de la presencia de microbiota son el nivel y clase de la materia orgánica, pH, la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, humedad, aireación, variación de temperatura, posición en el perfil del suelo, estación del año y composición de la vegetación (Sánchez, 2007).

La actividad de mineralización de la materia orgánica por parte de los hongos es más intensa durante la primavera y el otoño. Esto se debe a que las condiciones de temperatura y humedad son óptimas para el crecimiento de la red de hifas, lo que les permite invadir el material orgánico en descomposición y liberar minerales, enriqueciendo así el suelo. Algunos géneros de hongos responden positivamente a la adición de fuentes orgánicas de carbono, aumentando su población inicialmente, pero luego disminuyen. Otros géneros, por el contrario, mantienen altas densidades de población durante períodos prolongados cuando se incorporan restos vegetales al suelo (Barr, 1994).

En los suelos forestales, los hongos desempeñan un papel fundamental en la mineralización de los restos de hojas, gracias a su extensa red de hifas. En entornos bien ventilados, las transformaciones de materia orgánica realizadas por los hongos filamentosos suelen ser más importantes que las reacciones catalizadas por las

bacterias. Sin embargo, hasta ahora se han realizado pocos intentos de cuantificar las actividades relativas de estos dos grupos microbianos en la degradación de compuestos orgánicos (Abdel, 2003).

La cantidad de hongos filamentosos en un área determinada depende del tipo y cantidad de materia orgánica disponible para su crecimiento y supervivencia. Aunque pueden desarrollarse en áreas con poca materia orgánica, en los suelos agrícolas su presencia es especialmente importante debido a su capacidad para mejorar la disponibilidad de nutrientes inorgánicos para los cultivos. Esto se logra a través de la mineralización fúngica, que incorpora nutrientes a los vegetales. Además, la adición de abonos verdes u otros compuestos de carbono puede aumentar la diversidad de géneros de hongos en el suelo, alterando la proporción relativa de diferentes géneros como *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Mucor* (Sánchez, 2007).

Los hongos son organismos heterótrofos, lo que significa que necesitan carbono orgánico para sintetizar las moléculas que componen sus células. La micobiota fúngica es capaz de degradar materia orgánica compleja, utilizando como fuentes de carbono orgánico a azúcares, ácidos orgánicos, disacáridos, almidón, pectina, celulosa, grasas y lignina, siendo esta última especialmente resistente a la degradación microbiana. Además, los hongos pueden obtener nitrógeno de amonio, nitratos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos nitrogenados. Algunos géneros de hongos requieren nutrientes adicionales para crecer, como aminoácidos, vitaminas del complejo B u otros factores de crecimiento, mientras que otros pueden crecer rápidamente en medios de cultivo simples con azúcares y sales inorgánicas (Sánchez, 2007).

Por otra parte, los actinomicetos según su morfología ocupan una posición intermedia entre las bacterias y los hongos. Se asemejan a las bacterias por ser organismos unicelulares y a los hongos filamentosos por producir ramificaciones parecidas a una maraña. La mayoría se reproducen mediante esporas semejantes a células bacterianas (Ortiz, 2019). Una de las características únicas es el olor a suelo húmedo

o comúnmente conocido como tierra mojada, debido a la producción de un metabolito llamado geosmina (Ben *et al.*, 1997). No producen mucopolisacáridos, por ello en las placas de agar se pueden observar colonias secas y nada cremosas (Dávila *et al.*, 2013).

Los actinomicetos son organismos aerobios por lo que se les encuentra comúnmente en los horizontes inferiores al igual que géneros comunes de bacterias verdaderas como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Agrobacterium*. En su mayoría son saprófitos, mineralizan materia orgánica vegetal y animal. Esta actividad está relacionada con la concentración de carbono disponible en especial con los que contienen altos niveles de materia orgánica como el humus (Gutiérrez, 1999).

No toleran el pH ácido, su densidad es inversa a la concentración del ion hidrógeno; especies del género *Streptomyces* no proliferan a pH menor 5.9, en suelo ácido la proporción es menor al 1 % del total de la población de actinomicetos (Momose, 1999). El exceso de humedad inhibe porque son aeróbicos, no son afectados por la condición de semisequedad como las bacterias verdaderas, en contraste una baja humedad induce la formación de conidios y la densidad de población de los actinomicetos permanece alta cuando el suelo se seca (Sánchez, 2006).

La humedad, la temperatura y la cantidad de materia orgánica derivada de las raíces, los restos vegetales y la estación del año, influyen en la diversidad y densidad de actinomicetos con un incremento en primavera y otoño (Sánchez *et al.*, 2007). Los actinomicetos son fundamentales en la mineralización de materia orgánica que hongos y bacterias no usan; como antagonistas microbianos regulan la composición de la comunidad en el ecosistema del suelo, en parte porque excretan antibióticos y enzimas de la lisis, lo que tiene utilidad en el control biológico de insectos plaga, nemátodos y otros fitopatógenos vegetales. Además, se asocian con raíces vegetales para fijación del nitrógeno (Sánchez, 2006).

El proceso de descomposición de materia orgánica surge debido a la actividad enzimática de hongos y bacterias, sin embargo, el primer aporte es realizado por invertebrados edáficos, así como ácaros, termitas, milpiés, hormigas, coleópteros y lombrices de tierra. Estos organismos se encargan de romper y triturar residuos que se encuentran en el suelo, restos de plantas y animales que a su vez van dispersando los propágulos microbianos (Bignell, 2006; Swift *et al.*, 1994).

El efecto de los diferentes grupos de invertebrados en el proceso de descomposición, hace que se remuevan los residuos vegetales hacia diferentes estratos del suelo, estimulando la colonización y actividad de los microorganismos que transforman los componentes orgánicos de la hojarasca, en minerales disponibles, contribuyendo al reciclaje de nutrimentos en áreas naturales e intervenidas (Díaz, 2009). La abundancia de los invertebrados descomponedores de materia orgánica es un indicador del estado de intervención y perturbación de los ambientes en los cuales habitan (Bueno y Rojas, 1999).

Las lombrices son clasificadas como anélidos terrestres, pertenecientes al Phylum Annelida, clase Oligochaeta, así mismo incluyen alrededor de 36 familias a nivel mundial. Hay más de 3500 especies de lombrices que han sido descritas y existe una variedad de grupos por su taxonomía en diferentes suelos del mundo (Fragoso, 2014). Se han reconocido a Diplopoda, Isópoda, Blattodea y Oligochaeta, como unos de los grupos más importantes de la transformación física de estructuras complejas y consumo de materia vegetal (Hättenschwiler, 2006).

La presencia de Oligochaeta, también se ve directamente afectada por las actividades humanas, influyendo en el uso del suelo que a su vez puede alterar el entorno físico y químico en el que éstas habitan (Curry, 2004). Cabe mencionar que las lombrices son abundantes en baja acidificación y hojarasca rica en calcio (Schelfhout, 2017). Por su parte, las lombrices son consideradas organismos de suma importancia ya que son capaces de intervenir e integrar los procesos químicos, físicos y biológicos, que se llevan a cabo en el suelo (Shuster *et al.*, 2002).

Dada su importancia, se desprende el motivo del estudio de su dinámica poblacional, tasa de desarrollo, las interacciones que existen con micro, meso y macrobiota del suelo. Las lombrices de tierra participan y promueven diversas funciones del suelo al modificar su entorno (Lavelle *et al.*, 1997). Estos organismos intervienen en la aeración e infiltración con sus galerías e intervienen en la estructura al producir pequeños o grandes agregados, dando lugar a que la materia orgánica se estabilice en sus excretas (turrículos) y que se promueva la disponibilidad de materia orgánica y nutrimentos para otros organismos (Edwards *et al.*, 1996; Brown *et al.*, 1999; Jouquet *et al.*, 2006).

Las comunidades de lombrices se conforman por al menos seis especies, esto va a depender de la vegetación, topografía, tipo de suelo y el uso de este. La mayor parte de la biomasa encontrada en los suelos de los ecosistemas es constituida por estos organismos, ya sea en zonas tropicales o templadas (Echevarría *et al.*, 2020).

La presencia de oligoquetos en los ecosistemas puede indicar fertilidad del suelo, debido a que estos organismos transportan, mezclan y entierran los residuos vegetales de la superficie al interior (Lavelle y Spain, 2001; Huerta *et al.*, 2007 a; Huerta *et al.*, 2007 b). En los procesos de digestión de estos organismos, el suelo se mezcla con exudados que favorecen a la agregación de partículas, contribuyendo a la formación de humus y fertilidad, gracias a los nutrimentos que aportan las lombrices (Shipilato y Bayón, 2004).

Es poco mencionado que el producto del metabolismo de los oligoquetos también contribuye al control de patógenos, inhibiendo a estos o bien sirviéndoles de alimento (Ingham, 2006). Además de pueden ser bioindicadores de contaminación por metales, antibióticos, plaguicidas, petróleo y otros contaminantes (Sisino *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista anatómico, las lombrices se catalogan como un gusano segmentado celomado terrestre, que se encuentra en suelos húmedos. El tamaño de adultos varía de 1 cm de largo y 2 mm de grosor, dependiendo de la región en la que

se encuentre. Cuentan con un cuerpo dividido en metámeros, en la región anterior se encuentran las estructuras reproductoras, el aparato digestivo, nervioso y circulatorio (Blakemore, 2006) (Figura 3). Cabe resaltar que son hermafroditas aunque su tipo de reproducción predominante es cruzada (Dyne y Jamieson, 2004).

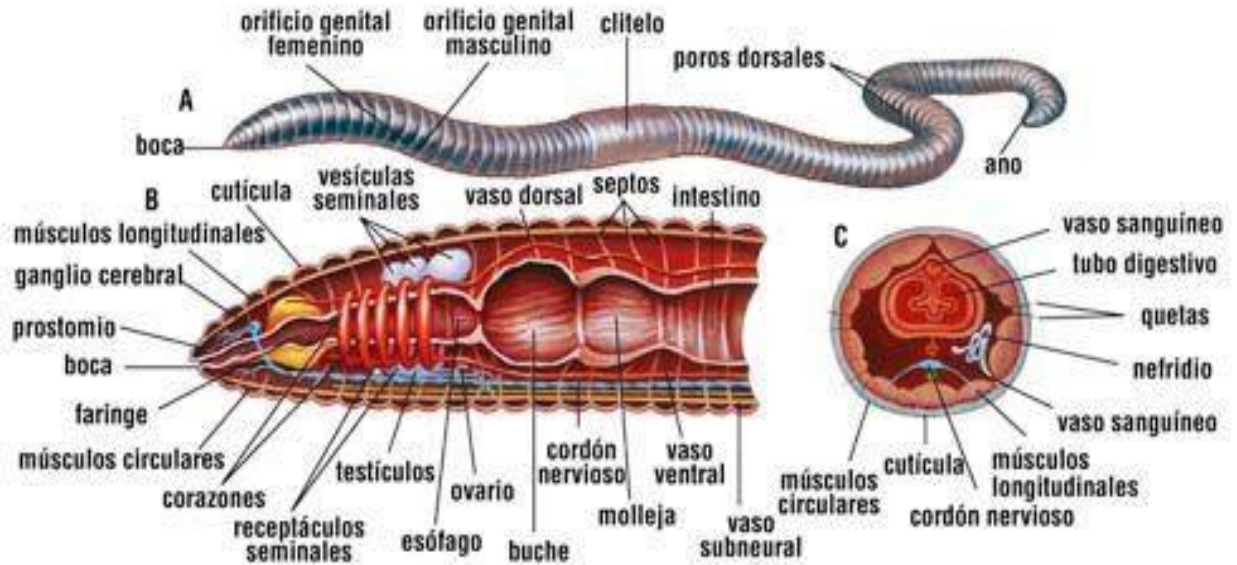


Figura 3. Anatomía de Oligochaeta (Rodríguez, 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitios de estudio

El estudio se inició en junio de 2020 y concluyó en marzo de 2021, los muestreos fueron en junio, septiembre, diciembre y marzo. Se seleccionaron cinco sitios los cuales corresponden a un uso de suelo distinto uno de otro, ubicados en Tetela de Ocampo y Cuautempan, Puebla, México (Cuadro 1 y Figura 4). Cabe mencionar que todos los sitios cuentan con un suelo luvisol y tienen aproximadamente las mismas características topográficas (15 a 20 % de pendiente), de acuerdo a la clasificación de suelos de INEGI (2010).

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo.

Sitio	Clave	Uso del suelo	LN	LO	Altitud (m snm)	Clima	Precipitación pluvial anual (mm)
1	BPP	Bosque templado de pino-encino poco perturbado	19°49'00"	97°47'45"	1777	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1460 mm
2	SAC	Sistema agroforestal de café y vegetación natural	19°56'23"	97°48'33"	1274	Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano	1500 mm
3	SAMB	Sistema agroforestal con manzano y borregos	19°48'27"	97°48'41"	1764	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1460 mm
4	MT	Maizal de temporal	19°47'50"	97°49'24"	1907	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1460 mm
5	BPPI	Bosque de pino-encino con perturbación por incendio natural	19°49'56"	97°51'27"	1908	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1460 mm

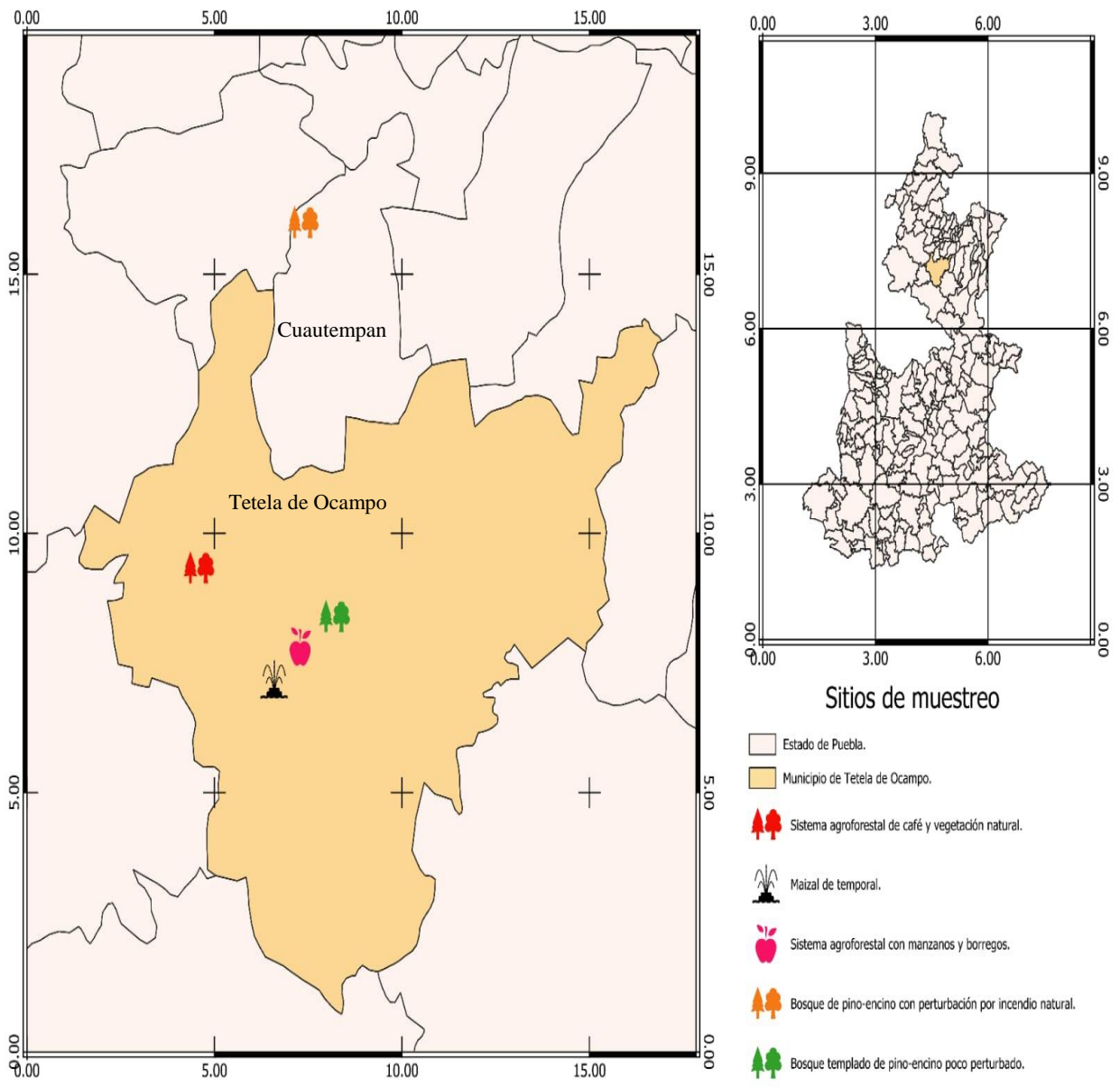


Figura 4. Localización de los sitios de muestreo en Tetela de Ocampo y Cuautempan, Puebla.

3.1.1. Características de los sitios de muestreo

Sitio 1. Bosque templado de pino-encino poco perturbado (BPP). El uso de suelo anterior era de un bosque con casi nula perturbación. Actualmente esta zona es utilizada por los estudiantes de la licenciatura de ingeniería agroforestal con fines prácticos, del cual se ha extraído materia orgánica para ensayos experimentales desde hace al menos quince años. Al ser el bosque pino-encino la vegetación primaria de Tetela de Ocampo, este se encuentra predominante en la región con un 57 % aproximadamente (Figura 5).



Figura 5. Bosque templado de pino-encino poco perturbado en la comunidad de Benito Juárez, Tetela de Ocampo.

Sitio 2. El sistema tiene al menos 25 años de su establecimiento familiar, con la especie *Coffea arabica* 'Geisha Esmeralda'. Las especies que se encuentran inmersas en la parcela son cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), granada (*Punica granatum*), naranja (*Citrus sinensis*), siendo estos los productos secundarios. El manejo que recibe el café en su mayoría es con productos orgánicos a base de cascarilla del café que ya ha pasado por el proceso del beneficio. Cabe mencionar que pasaron al menos tres meses después de la última aplicación de productos al sistema antes de realizar la primera toma de muestras (Figura 6).



Figura 6. Sistema agroforestal de *Coffea arabica* 'Geisha Esmeralda' en la comunidad de Totomoxtla, Cuautempan.

Sitio 3: Sistema agroforestal con manzano y borregos (SAMB). Con al menos 20 años de su establecimiento como actividad familiar en cuanto a la manzana (*Malus domestica*) y alrededor de cinco años con el pastoreo de borregos domésticos (*Ovis aries*). Inmersos en el mismo espacio se pueden encontrar árboles de aguacate (*Persea americana*), tejocote (*Crataegus mexicana*) y naranja (*Citrus sinensis*), siendo cultivos secundarios para autoconsumo. El pastoreo es controlado con jaulas que se desplazan en callejones para evitar daño mecánico a los árboles frutales, contribuyendo así al control de malezas, evitando el uso de herbicidas y a mediano plazo la ganancia de peso de los animales (Figura 7).



Figura 7. Pastoreo de borregos controlado mediante una jaula evitando el daño mecánico a las plantas y árboles de manzana siendo estos el producto primario del sistema agroforestal, ubicado en Tamuanco, Tetela de Ocampo.

Sitio 4: Maizal de temporal (MT). Se practica la agricultura de secano con el cultivo de maíz (*Zea mays*) con las variedades de maíz blanco, criollo y azul. Las prácticas culturales que se llevan a cabo consisten en el uso de la yunta con animales para el acondicionamiento del suelo. La siembra es efectuada por los integrantes de la familia quienes realizan aplicaciones de fertilizantes nitrogenados a lo largo del desarrollo de la planta. La finalidad de este cultivo es obtener pastura para los animales y maíz para autoconsumo (Figura 8).



Figura 8. Maizal de temporal en la comunidad de La Mesa, La Soledad, Tetela de Ocampo.

Sitio 5: Bosque de pino-encino con perturbación por incendio natural (BPPI). En esta área surgió un incendio forestal en el año 2022, el cual modificó el estado del suelo y de la vegetación, originando perturbación. Las especies forestales afectadas fueron pino (*Pinus teocote*) y encino (*Quercus rugosa*), además de vegetación secundaria como arbustos y cobertura vegetal (Figura 9).



Figura 9. Bosque con perturbación cuatro meses después del incendio en Cuapancingo, Tetela de Ocampo.

3.2. Equipo utilizado

El muestreo en campo se realizó con los materiales siguientes:

- Pala para jardinería
- Cavahoyos
- 20 bolsas negras de 55x70 cm
- 80 bolsas de aza de plástico con capacidad de 2 kg
- Agua embotellada para la limpieza de la pala
- Bascula granataria para laboratorio de 2000 mg
- 20 frascos de tapa roja estériles para muestra

Los materiales empleados en laboratorio para la determinación de UFC fueron los siguientes:

- 315 cajas Petri de 100 x 15 mm
- Agar dextrosa y papa con estreptomina
- Agar de soya con tripticaseína
- Agar de Czapek Dox
- Campana de flujo laminar
- Vortex
- Mechero
- Puntas estériles para micropipetas
- Micropipetas de 100 y 1000 μ
- Seis tubos de ensaye con tapa con 9 mL de agua esterilizada
- Muestra de suelo
- Asa de vidrio
- Vaso de precipitado de 50 mL
- Alcohol
- Balanza para laboratorio de 2000 mg
- Espátula de acero para laboratorio

3.3. Métodos de muestreo y recolección

Microbiota edáfica. Se extrajeron cinco submuestras para obtener una muestra compuesta adaptando la metodología de The Tropical Soil Biology and Fertility (Anderson e Ingram, 1993); para el muestreo de microbiota edáfica, la cual recomienda un mínimo de cinco muestras (Figura 10). Para delimitar el área de extracción en el terreno se trazó un cinco de oros con una distancia de 30 m aproximadamente entre un punto y otro. Con herramienta limpia se cavó una cepa de 30 cm de profundidad de la cual se tomó aproximadamente 500 g de suelo. Al término de la recolección de submuestras estas se vertieron en un recipiente para la mezcla de los suelos, dando como resultado una muestra compuesta (Figura 11). La muestra compuesta es la que se trasladó a laboratorio para su análisis. Una vez teniendo las muestras de cada uso de suelo, de cada época del año, permaneció en refrigeración en el laboratorio de Microbiología de Suelos del CICM ICUAP, en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Cada muestra se etiquetó con: nombre del lugar, fecha de extracción y coordenadas. Esto para evitar contaminación, confusión y alteración de los resultados.



Figura 10. Recolección de muestras de suelo para análisis microbiológico para conteo de UFC de hongos, bacterias y actinomicetos.



Figura 11. Recolección de las muestras de suelo para análisis físico y químico.

Macrobiota edáfica: biomasa y densidad de lombrices. Una vez identificados los sitios y conocer las características de cada lugar, se delimitó el área de la cual se extrajeron las muestras. Para la delimitación del área de extracción en el terreno se marcó un cinco de oros con una distancia de 30 m aproximadamente entre punto y punto. Una vez establecidas las medidas entre punto y punto, con la pala y cavahoyos se procedió a extraer el monolito de suelo con las medidas 25x25x30 cm y se colocó en una bolsa negra para hacer la colecta *in situ*. Al terminar la colecta se tomó el registro de peso y número de individuos encontrados en cada bloque de suelo y finalmente se regresó el suelo restante a su lugar inicial.

Análisis de fertilidad del suelo: Los parámetros físicos y químicos del suelo. Como primer punto se realizó un cinco de oros en cada sistema de uso del suelo, del cual se extrajeron cinco submuestras que darían como resultado una muestra compuesta por estación del año. De la cual solo se tomó 1.5 kg (Figura 11) para su análisis en el laboratorio de Microbiología del suelo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas ICUAP BUAP tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

3.4. Variables respuesta

Microbiota: En esta variable se midió la cantidad de UFC de hongos, bacterias y actinomicetos. Como primer punto se elaboró el medio de cultivo correspondiente para la inoculación de cada microorganismo (Figura 12). Siendo agar dextrosa y papa con estreptomycin para hongos, soya y tripticaseína para bacterias y Czapek en el caso de actinomicetos. Por cada muestra de suelo se utilizaron seis cajas Petri de 100 x 15 mL para cada tipo de microorganismo respectivamente. Todas las placas con cultivo se sometieron a una prueba de esterilidad de 24 h para verificar que se encontraran estériles antes de realizar las diluciones.



Figura 12. Vaciado de medios de cultivo en cajas Petri en campana de flujo laminar.

Una vez teniendo las placas se utilizó el método de diluciones para hongos, bacterias y actinomicetos (Figura 13). Para ello se preparó una campana de flujo laminar, un mechero y un vaso de precipitado con alcohol para flamear el asa de vidrio (Figura 14). Se lleva la muestra de suelo a la campana y con ayuda de una balanza y una espátula desinfectada se extrajo 1 g de suelo, la muestra se colocó en el tubo de la dilución 10^{-1} utilizando en total seis tubos de ensaye con agua ya previamente

esterilizada (Figura 15). Los tubos tendrán una numeración de -1 a -5, a partir de esta dilución se tomó 1.0 mL para las siguientes diluciones hasta la dilución 10^{-6} , entre cada dilución la muestra debe agitarse para tener una mezcla homogénea. Posteriormente se sembraron las diluciones, tomando de cada dilución 100 μL de muestra, el cual se deposita en las cajas Petri con los medios de cultivo respectivos y se distribuye con la varilla de vidrio, se incuban a 30°C y después de 24 horas se realizan los conteos (Cuadro 2). Al cumplir las 24 h se realizó el conteo para determinar la cantidad de microorganismos por gramo de suelo. Para bacterias y actinomicetos fue a las 24 h y 48 h en el caso de hongos.

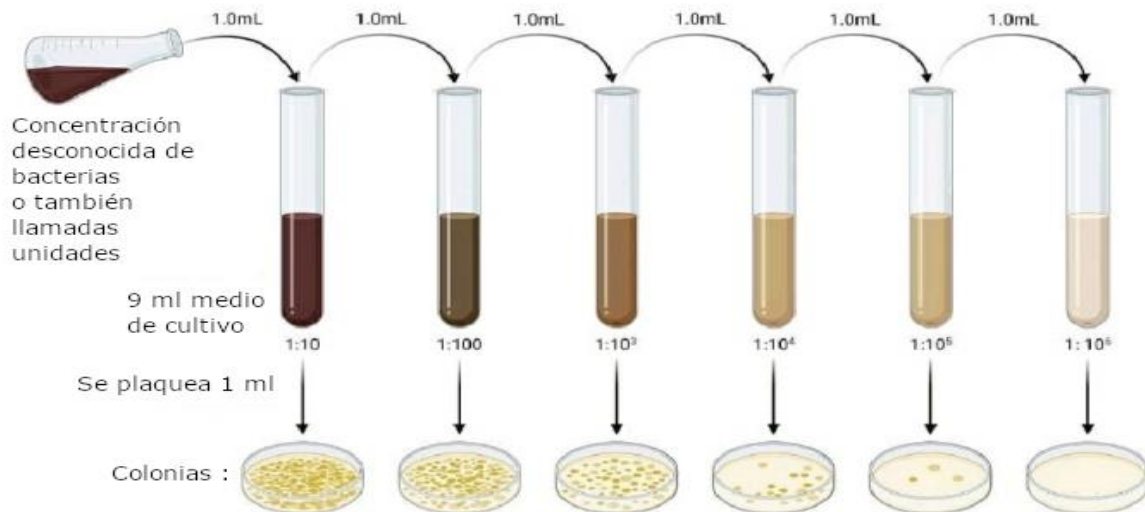


Figura 13. Método de diluciones seriadas para determinar las UFC existentes en 1 g de suelo según (Fernández, 2022).

Cuadro 2. Número de diluciones correspondiente de acuerdo al microorganismo a incubar

Grupo funcional	Hongos	Bacterias	Actinomicetos
Dilución	-1,-2, -3	-3,-4,-5	-2,-3,-4



Figura 14. Cuantificación de 1 g de suelo para las diluciones.

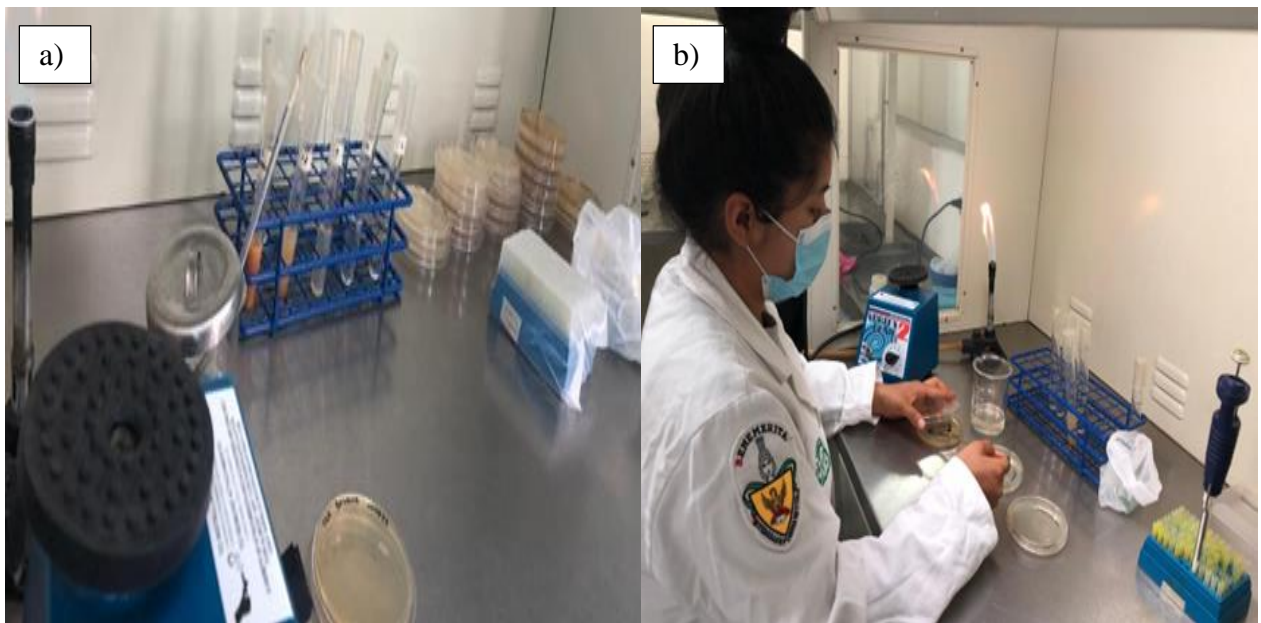


Figura 15. a) Diluciones preparadas y algunos de los materiales utilizados en el procedimiento y b) sembrado de las diluciones en placa.

Se corroboró que el número de colonias se encontrará dentro del rango de 30 a 300 colonias por placa, para posteriormente calcular el promedio de colonias entre las dos placas duplicadas. Finalmente se ajustó el factor de dilución.

Macrobiota. Para esta variable se midió densidad (individuos.m²) y biomasa fresca (gramos.m²) de lombrices encontradas en cada uno de los cinco monolitos del uso de suelo respectivamente, adaptando la metodología utilizada por Luna *et al.*, (2010). La recolección y conteo de unidades se realizó de manera manual, separando las lombrices del suelo y colocándolas en los frascos para muestras. Después del conteo, con ayuda de una balanza para laboratorio de 2000 mg se tomó el registro de la biomasa. Los datos se tomaron en una bitácora de campo.

Parámetros físicos y químicos. Para evaluar los parámetros físicos y químicos se utilizó la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que

Cuadro 3. Métodos y unidades para determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.

Parámetro	Unidades	Método
pH		AS-02*
CE	dS/m	AS-18*
DA	g/mL	Probeta
Textura	%	AS-09*
MO	%	AS-07*
N	%	AS-25*
P	mg/kg	Bray-1
K	cmol _c Kg ⁻¹	AS-12*
Ca	cmol _c Kg ⁻¹	AS-12*
Mg	cmol _c Kg ⁻¹	AS-12*
Na	cmol _c Kg ⁻¹	AS-12*
CIC	cmol _c Kg ⁻¹	AS-12*

*NOM 021 RECNAT-2000

establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Los parámetros medibles fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DA), textura, materia orgánica (MO), Nt, P, K, Ca, Mg, Na y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 4. Descripción del método utilizado en cada parámetro de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Parámetro	Descripción del método
pH	El método electrométrico es una técnica utilizada para determinar el pH de las muestras de suelo en una solución acuosa. Este método se basa en medir la actividad del ion hidrógeno (H ⁺) utilizando un electrodo sensible a este ion. En el caso de los suelos, se mide el pH potenciométricamente en una suspensión sobrenadante de una mezcla de suelo y agua en una proporción de 1:2.
Conductividad eléctrica (CE)	Método para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.
Densidad aparente (DA)	El método de la probeta consiste en utilizar suelo seco al aire, molido y tamizado con malla de 2 mm, y se coloca una masa de suelo conocido en una probeta de 100 mL para que luego de una serie de golpes se vuelva a pesar.
Textura	La textura del suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas, lo que proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo. Su determinación es rápida y aproximada, y el método de Bouyoucos es uno de los procedimientos utilizados. Sin embargo, el problema es separar los agregados y analizar solo las partículas. En este método, se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes calcio y magnesio, pero no se eliminan

otros cementantes como carbonatos. Los límites de tiempo de lectura se han establecido en 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (limo y arena), según lo establecido por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos para construir el triángulo de texturas.

Materia orgánica (MO)	El método de Walkley y Black es utilizado para evaluar la determinación de materia orgánica del suelo a través del contenido de carbono orgánico. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo mediante una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de esperar un tiempo determinado, la mezcla se diluye y se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe ³⁺ . Luego, se valora el dicromato de potasio residual con sulfato ferroso. Sin embargo, este procedimiento solo detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total, por lo que es necesario aplicar un factor de corrección, el cual puede variar según el tipo de suelo. En el caso de los suelos de México, se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).
Nitrógeno total (Nt)	La determinación de nitrógeno total a través de este procedimiento implica dos etapas fundamentales: (a) la digestión de la muestra para transformar el nitrógeno en amonio y (b) la cuantificación del amonio en el digestado. La digestión de la muestra se lleva a cabo mediante el calentamiento de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y aditivo como el K ₂ SO ₄ , que facilitan la oxidación de la materia orgánica y la conversión del nitrógeno orgánico en amonio. Además, se emplean catalizadores como el Cu y Se para acelerar la oxidación de la materia orgánica por el ácido sulfúrico. Posteriormente, se determina el amonio en el digestado mediante titulación del

amonio liberado por destilación del digestado con una sustancia alcalina.

Fosforo (P)	El método del bicarbonato de sodio (NaHCO_3) es ampliamente utilizado en estudios de fertilidad de suelos para determinar el fósforo disponible en suelos neutros y alcalinos. Este método ha demostrado una estrecha relación entre el fósforo determinado y la respuesta de los cultivos. El procedimiento consiste en extraer el fósforo del suelo con una solución de NaHCO_3 0.5 M ajustada a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, el extractante reduce la concentración de calcio en la solución al precipitar el CaCO_3 , lo que aumenta la concentración de fósforo en la solución. En suelos ácidos que contienen fosfatos de aluminio y hierro, como la variscita y estregita, la concentración de fósforo en la solución aumenta a medida que se eleva el pH. Este extractante evita reacciones secundarias en suelos ácidos y calcáreos al mantener niveles bajos de aluminio, calcio y hierro en la solución.
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables de los suelos: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K)	El método para determinar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo emplea acetato de amonio 1N con un pH de 7.0 como solución saturante. El procedimiento consiste en saturar la superficie de intercambio del suelo con iones amonio, luego lavar el exceso de saturante con alcohol y finalmente desplazar el amonio con potasio. La cantidad de amonio desplazado se determina mediante destilación. El amonio es utilizado como catión índice debido a su fácil determinación, baja presencia natural en los suelos y no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal de la solución asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y el pH amortiguado a 7.0 mantiene un valor estable durante el proceso. El lavado con alcohol ayuda a eliminar el exceso de saturante y minimiza la pérdida de amonio adsorbido.

3.5. Análisis de datos

Microbiota: Se llevó el control de diluciones seriadas realizadas por duplicado en una bitácora, donde a partir de los resultados obtenidos se realizó una tabla en el software Excel y se procedió a elaborar gráficas de las UFC de hongos, bacterias y actinomicetos.

Macrobiota: Se registró densidad y biomasa de las lombrices encontradas en cada sistema utilizando el software Excel, en el cual se elaboró una tabla y gráfica de los resultados finales.

Fertilidad: parámetros físicos y químicos: De cada uno de los parámetros se obtuvo la media de las cuatro estaciones del año arrojando una tabla de datos finales. Y con esos mismos datos se elaboró un correlograma en el software R studio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Fertilidad: análisis físicos y químicos

De las cuatro estaciones del año, se obtuvo la media para cada parámetro (Cuadro 8). Como primer punto el pH que se presentó en los diferentes usos de suelo varía entre sí, de acuerdo con la interpretación propuesta por la NOM-021-RECNAT-2000. El pH de los distintos usos de suelo entran en la siguiente clasificación: medianamente alcalino en BPPI, fuertemente ácido en BPP y SAC, moderadamente ácido en SAMB y neutro en MT (Anexo 1).

Cuadro 8. Resultados obtenidos del análisis físico y químico de cada sistema de uso del suelo respectivamente.

Parámetro físico/químico	BPPI	BPP	SAC	SAMB	MT
pH	7.4	4.5	4.6	6.1	7.1
CE (dS/m)	0.27	0.06	0.08	0.09	0.1
DA (g/mL)	0.87	0.89	1.06	0.96	1.03
Textura (%)	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa
MO (%)	6.67	3.73	2.56	3.29	2.1
N (%)	0.19	0.15	0.13	0.15	0.11
P (mg/kg)	18.2	4.8	5.4	5.6	11.8
K (cmol _c Kg ⁻¹)	0.44	0.80	0.43	0.43	0.28
Ca (cmol _c Kg ⁻¹)	23.3	3.8	4.2	6.5	8.5
Mg (cmol _c Kg ⁻¹)	12	1.6	1.6	2.9	3.8
Na (cmol _c Kg ⁻¹)	0.17	0.11	0.25	0.13	0.27
CIC (cmol _c Kg ⁻¹)	20	15.3	10.7	15.5	23.7

La DA está en la clasificación de suelos orgánicos y volcánicos para BPPI, BPP y SAMB, mientras que SAC y MT son arcillosos (Anexo 2).

En BPPI y MT se encuentra pH más elevado contrario a los demás usos de suelo los cuales señalan acidez. Lo cual se pudiera deber a que los valores de pH en BPPI muestran un aumento según se va elevando la temperatura, lo cual también determina que fue un incendio de alta intensidad capaz de modificar fuertemente este para en el suelo (Úbeda *et al.*, 2009). Además de que BPPI obtuvo el mayor número de UFC de bacterias, las cuales prefieren pH cercanos a la neutralidad y actinomicetos que no toleran pH ácidos (Sánchez, 2006). En contraste de BPP en el que se encontró el suelo con pH más ácido y obtuvo el mayor número de UFC de colonias de hongos brindando las condiciones óptimas para estos microorganismos (Schwyter *et al.*, 2020).

La CE se encuentra como <1 en todos los usos de suelo señalando efectos despreciables de la salinidad (Anexo 3). Mientras que la interpretación de MO, indica que BPPI se encuentra en el rango de % medio y el resto de los usos de suelo se traducen como muy bajo (Anexo 4). Cuando hay un elevado contenido de MO, aumentan los cationes intercambiables Ca y Mg, tal como lo menciona Orozco *et al.* (2006).

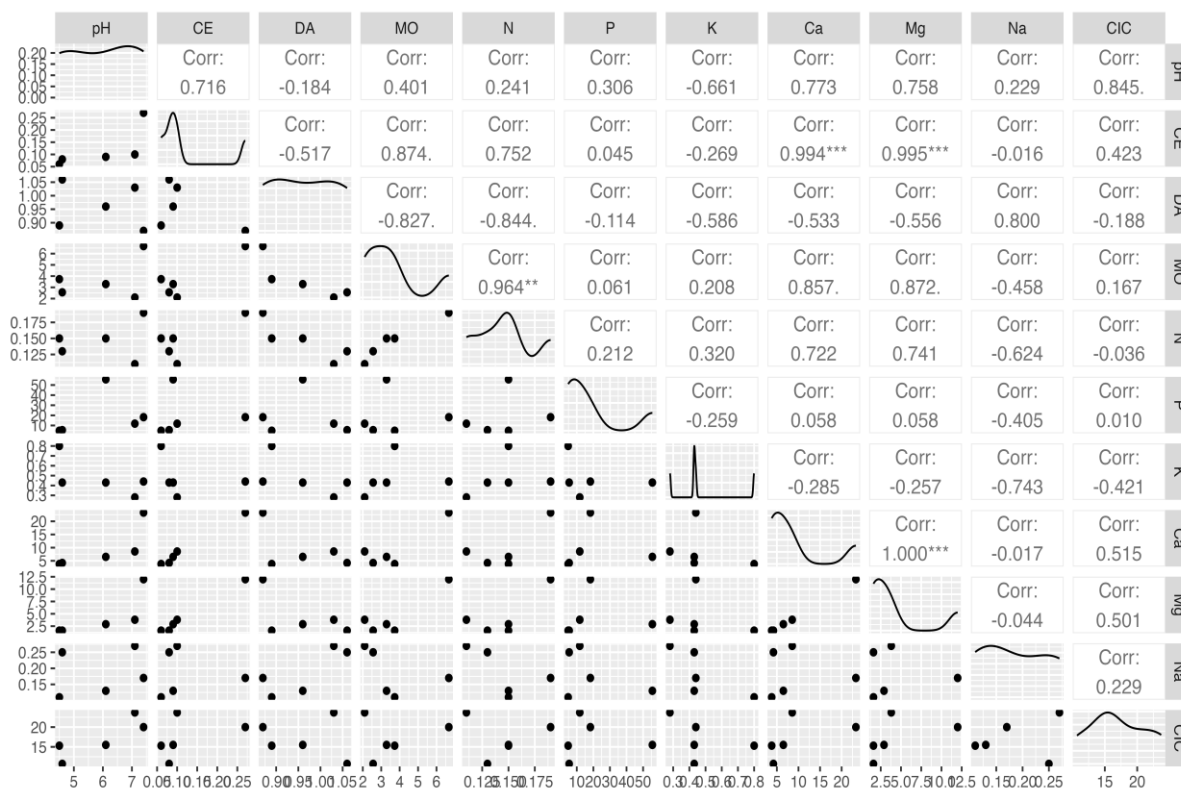
En cuanto al N, BPPI se clasifica como alto y medio en BPP, SAC, SAMB y MT (Anexo 5). Hablando de P, BPPI y MT se encuentran en alto, SAMB en medio y finalmente BPP y SAC en bajo (Anexo 6). Los resultados de CIC señalan que BPPI, BPP, SAMB y MT se encuentran en media y SAC en baja.

En cuanto a K, BPP se encuentra en la clasificación de alta; BPPI, SAC y SAMB en media y MT en baja > (Anexo 7). La interpretación de Ca fue alta para BPPI, media en SAMB y MT; baja en BPP y SAC (Anexo 8). Finalmente los resultados de Mg indican que BPPI y MT se encuentran en alta, mientras que BPP, SAC y SAMB en media.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de fertilidad, se determina que los parámetros físicos y químicos del suelo si intervienen directamente en la presencia de microbiota. Por ejemplo, la ausencia de lombrices en BPP se pudiera deber a que estos organismos no toleran los suelos ácidos. El tener conocimiento del estado de la fertilidad del suelo nos ayudó a comprender mejor la ausencia o abundancia de microbiota y macrobiota, puesto a que el suelo es un ente dinámico con diversas interacciones y algunos factores pueden depender uno de otro o estar estrechamente relacionados.

Para determinar si existe correlación entre las variables se procedió a elaborar un correlograma (Cuadro 9). Realizando un análisis acerca de las variables, se observa que existe una fuerte correlación de 0.964 entre MO y N, lo cual pudiera deberse a que se estima que la materia orgánica contiene al menos un 5 % de N (Gros y Domínguez, 1992).

Figura 16. Correlograma de la relación entre variables físicas y químicas evaluadas.



Se observa el valor -0.661 entre pH y K, lo que indica que a medida que el pH del suelo se torna más ácido (disminuye), el contenido de K disponible tiende a aumentar y viceversa (Bader *et al.*, 2021). Con respecto a Ca y Mg, se aprecia que existe una correlación alta entre estas bases intercambiables, lo que sugiere que ambos iones están compitiendo por los mismos sitios de intercambio. O bien, que provienen de la misma fuente de descomposición de rocas. Así mismo, estos elementos pueden contribuir a la formación de agregados mejorando la estructura y porosidad del suelo.

Cabe resaltar que la CE tiene correlación con Ca y Mg, lo cual se le puede atribuir a que la CE aumenta con el contenido de iones de Ca y Mg en el suelo. Ambos iones son de carga positiva +2, lo que significa que pueden conducir electricidad en el suelo. Lo que se traduce a que cuanto mayor sea el contenido de Ca y Mg aumentará la CE. Aunque este parámetro también puede ser influenciado por otros factores como el contenido de arcilla, la humedad, temperatura y presencia de otros iones en el suelo.

4.2. Microbiota edáfica: bacterias, hongos y actinomicetos

Cuadro 5. Conteo de UFC de bacterias obtenidas de un gramo de suelo.

Uso del suelo	verano	otoño	invierno	primavera
BPPI	24.4 x10 ⁶	30 x10 ⁶	17.5 x10 ⁶	22 x10 ⁶
BPP	3.2 x10 ⁶	10.5 x10 ⁶	3.7 x10 ⁶	3 x10 ⁶
SAC	4.35 x10 ⁶	1.05 x10 ⁶	4.85 x10 ⁶	3 x10 ⁶
SAMB	16.2 x10 ⁶	11.1 x10 ⁶	15.8 x10 ⁶	9 x10 ⁶
MT	6.30 x10 ⁶	14.3 x10 ⁶	19.1 x10 ⁶	4 x10 ⁶

El sistema de uso del suelo fue un factor determinante en los resultados obtenidos en este estudio. Se determinó que el uso de suelo con mayor cantidad de UFC de

bacterias fue BPPI (Cuadro 5). Se observó que las colonias bacterianas fueron mayores en suelos quemados (Figura 16); tal como lo menciona Entry *et al.*, (1958), siendo estas las mayores recolonizantes bajo estas condiciones (Wüthrich *et al.*, 2002). Gracias a la combustión de la hojarasca y la vegetación, se presentó una liberación de nutrimentos que no se encontraban disponibles, de tal modo que un incendio pudo contribuir a un aumento de fertilidad importante para la regeneración del bosque (Mataix, 2001).

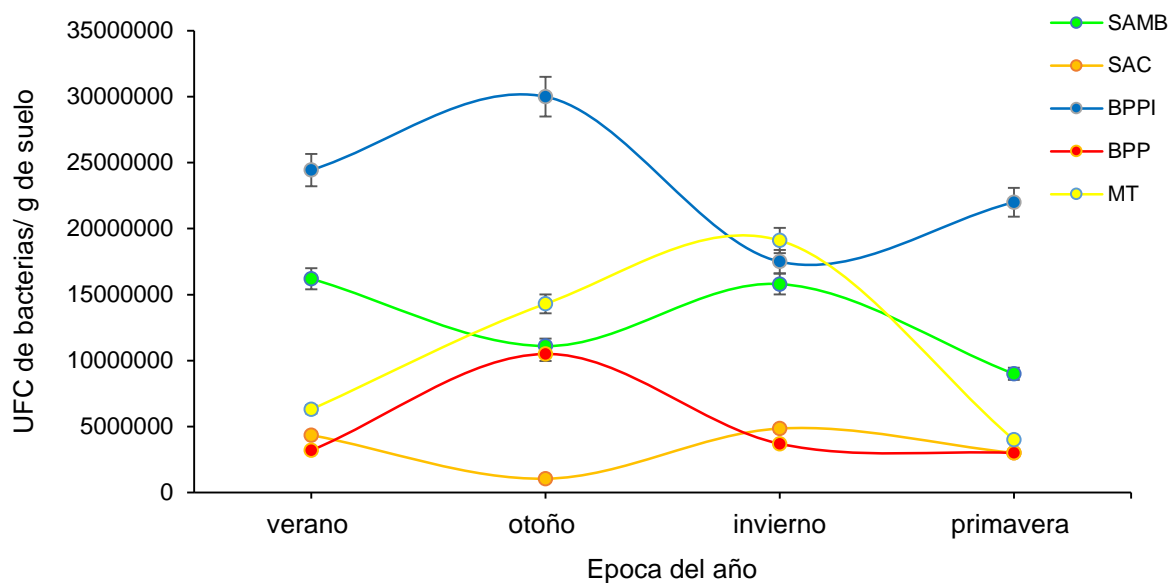


Figura 17. Comportamiento del conteo de UFC/g¹ de bacterias en cada uso del suelo respectivamente.

El segundo uso de suelo con más UFC fue SAMB lo cual se le puede atribuir al aporte de estiércol derivado del pastoreo de borregos, donde las bacterias obtienen nutrimentos asimilables, principalmente nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, etc. (Ramírez *et al.*, 2017). Lo que pudiera estar sucediendo es que las bacterias del estiércol ejercen una interacción con las bacterias que existen en el suelo, promoviendo una mayor colonización de estas.

Todos los sistemas cuentan con una cubierta vegetal y hojarasca distinta la cual afecta directamente en las condiciones del suelo. La cobertura nativa mantiene la fertilidad y productividad del uso de suelo y de esta surge una alteración cuantitativa en la actividad bacteriana (Acea y Carballas, 1998). Aunque exista una cantidad de hojarasca considerable no quiere decir que estará disponible para todos los microorganismos edáficos.

La época del año en la que se registró mayor cantidad de UFC fue en otoño (Cuadro 5), lo que podría deberse a que el aumento de precipitación favorece la colonización de bacterias. Además de que en verano y otoño son los meses con mayor radiación solar lo cual favorece a la actividad fotosintética de las plantas derivando la segregación de exudados los cuales son adquiridos por las bacterias. Mientras que los menores datos registrados se obtuvieron en primavera que en contraparte, es la época con menor precipitación en el año, deteniendo el crecimiento y desarrollo de UFC en el suelo.

Cuadro 6. Conteo de UFC de hongos obtenidos de un gramo de suelo de los diferentes usos de suelo.

Uso del suelo	verano	otoño	invierno	primavera
BPPI	29.4 x10 ⁴	107 x10 ⁴	10 x10 ⁴	20 x10 ⁴
BPP	9.6 x10 ⁴	142 x10 ⁴	79.5 x10 ⁴	8.5 x10 ⁴
SAC	3.8 x10 ⁴	71.5 x10 ⁴	16.5 x10 ⁵	3 x10 ⁴
SAMB	5.4 x10 ⁴	4.4 x10 ⁴	8.5 x10 ⁴	3.3 x10 ⁴
MT	4.30 x10 ⁴	12.6 x10 ⁴	10.6 x10 ⁴	2 x10 ⁴

En cuanto a la presencia de hongos, en invierno las plantas tienden a encontrarse en su fase de latencia, no hay liberación de exudados y las poblaciones microbianas se modifican, mientras que en primavera recién comienzan a activar nuevamente su actividad fotosintética. Los usos de suelo el mayor dato registrado surgió en otoño en

el sistema BPP mientras que el sistema más bajo en este parámetro fue MT en primavera (Cuadro 6). Lo cual se pudiera explicar que al igual que con las bacterias, en el otoño incrementa la precipitación favoreciendo la humedad existente en el suelo y en primavera es cuando menos humedad en el suelo existe.

Los bosques tienen suelos con un pH ácido, lo cual contribuye a las condiciones óptimas fúngicas, tal como lo menciona Zamora *et al.* (2018), en un estudio acerca de la presencia de hongos ectomicorrizógenos en bosques bajo aprovechamiento en el municipio de Zacatlán, Puebla. El dato más bajo se pudiera atribuir a que el pastoreo inmerso en el sistema va adicionando estiércol de borrego al suelo, el cual aporta calcio y otros nutrimentos (Figura 17). El aumento de este elemento alcaliniza el suelo de tal modo que es menos propicio para el desarrollo de hongos (Zamora, 2018).

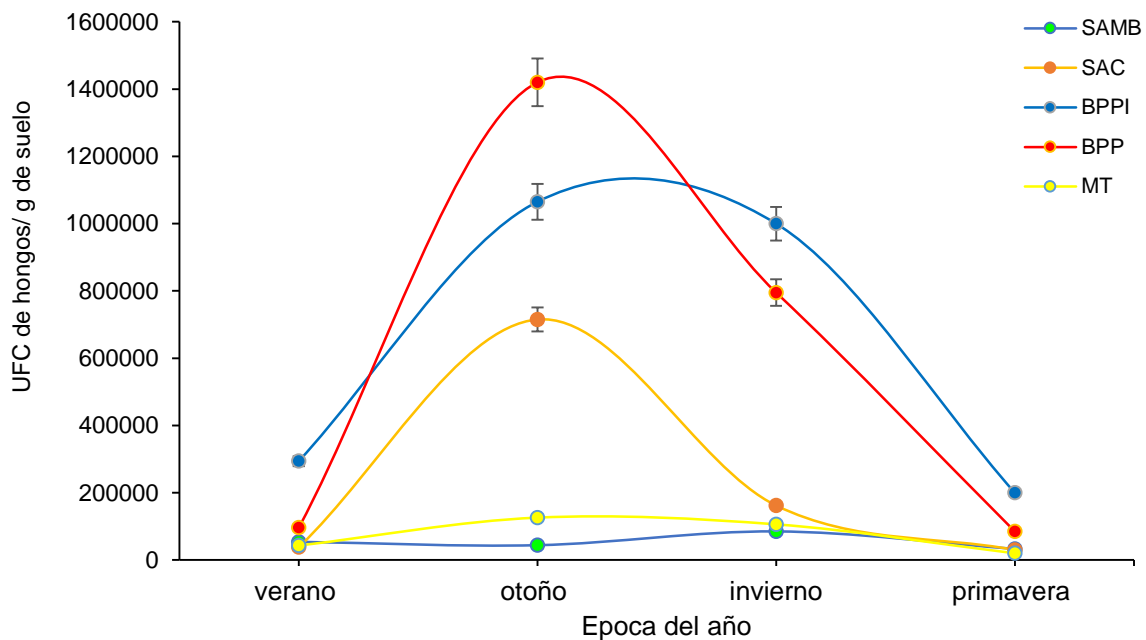


Figura 18. Comportamiento del conteo de UFC/g¹ de suelo de hongos en cada uso del suelo respectivamente.

Por su parte Pacasa *et al.* (2017) obtuvo resultados inferiores a los obtenidos en este estudio, en su investigación de comunidades de hongos filamentosos en suelos de

una comunidad de Bolivia. En dicho estudio se reportó 7.96×10^4 UFC g^{-1} en suelos con cultivos, 6.6×10^4 UFC g^{-1} en suelos en descanso, 5.97×10^4 UFC g^{-1} en suelos naturales y 5.66×10^4 UFC g^{-1} en suelos sin cobertura. Quien argumenta que en suelos naturales se halló mayor diversidad de hongos debido a la propia diversidad de especies que se albergan en este tipo de uso de suelo.

Por otra parte los suelos en los que hay mayor intervención agrícola, la diversidad y abundancia de hongos disminuyen como resultado de la perturbación y alteración del sistema. Demostrando que el tipo de uso de suelo afecta a la diversidad de plantas, comunidades de hongos y propiedades del suelo.

La presencia de actinomicetos se manifestó de la siguiente manera, el sistema que obtuvo el mayor número de UFC es BPPI, seguido de SAMB, BPP, SAC y MT respectivamente (Cuadro 7). En cambio, Yáñez *et al.* (2020) en un estudio que se realizó con la finalidad de hacer una comparación de la densidad poblacional de actinomicetos en suelos florícolas de cultivos de rosa y clavel, reportó que el mayor contenido de actinomicetos fue encontrado en cultivo de rosa con 7×10^5 UFC g^{-1} y 6.4×10^5 UFC g^{-1} .

Cuadro 7. Conteo de UFC de actinomicetos obtenidos de un gramo de suelo de diferentes usos de suelo.

Uso del suelo	verano	otoño	invierno	primavera
BPPI	15×10^5	22.3×10^5	19.2×10^5	28.8×10^5
BPP	9×10^5	16.4×10^5	15.6×10^5	9.6×10^5
SAC	7×10^5	7.5×10^5	12.5×10^5	15.7×10^5
SAMB	5×10^5	14.4×10^5	4.65×10^5	38.5×10^5
MT	3×10^5	11.3×10^5	2.93×10^5	7.95×10^5

Señalando que los resultados podrían indicar que los microorganismos del suelo están siendo afectados por el uso de plaguicidas y manejo de cultivo.

En este estudio se reporta que la menor cantidad de UFC se encontró en MT, lo cual podría deberse a que en general, un monocultivo como sistema de uso de suelo limita la diversidad de microorganismos que se encuentran en el suelo. Mientras que el mayor dato encontrado en BPPI que podría estar ligado a que la combustión por el incendio propicio condiciones favorables para estos microorganismos.

En la Figura 18 se logra visualizar que los mayores hallazgos de actinomicetos surgen en primavera, tal como lo señalan Sánchez *et al.* (2007), que la estación del año influye en la diversidad y densidad de actinomicetos mayor en primavera y otoño. Esto debido a que en primavera es cuando menor precipitación existe y no hay intervención por parte del exceso de humedad que pueda inhibir la presencia y densidad de actinomicetos.

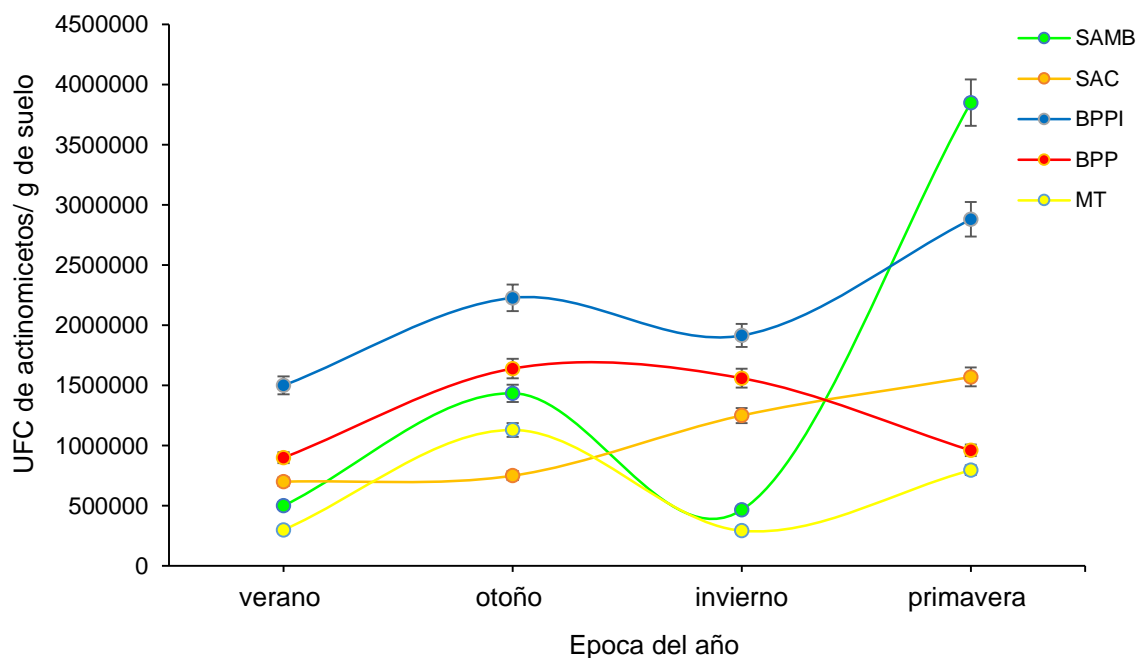
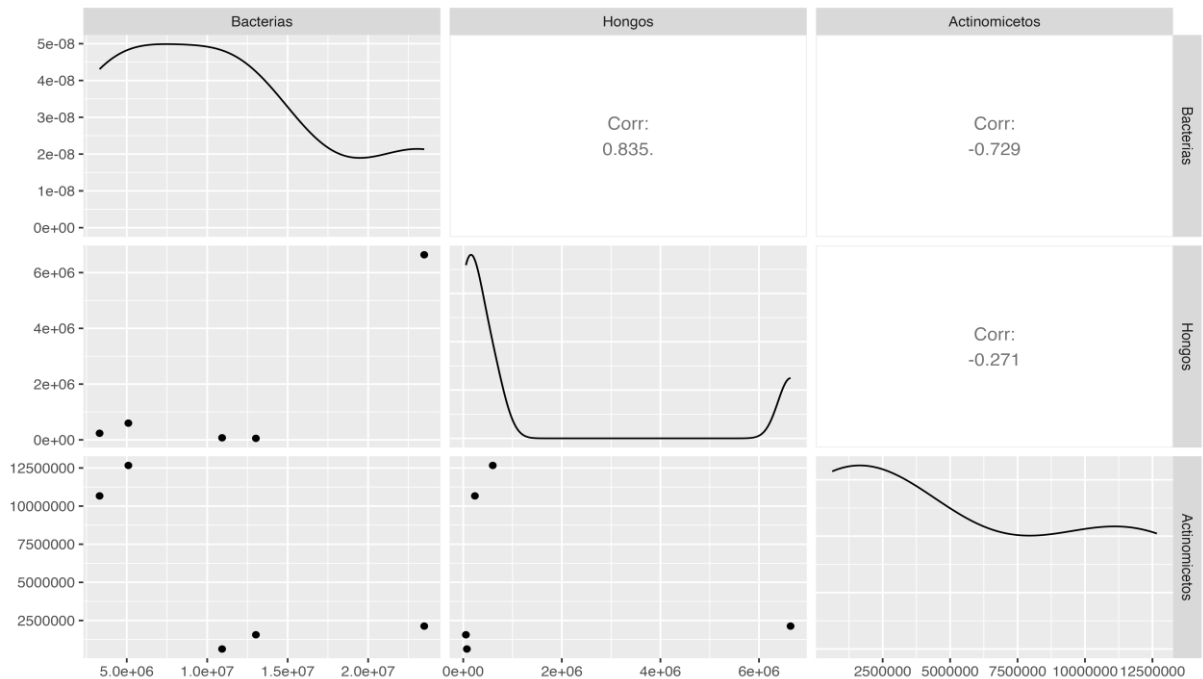


Figura 19. Comportamiento del conteo de UFC/g¹ de actinomicetos en cada uso del suelo respectivamente

Se analizó la correlación entre hongos, bacterias y actinomicetos (Figura 20).

Figura 20. Correlación existente entre hongos, bacterias y actinomicetos.



Existe una correlación positiva alta en la relación hongos: bacterias lo que sugiere que a medida que uno incrementa a su vez incrementa el otro. Entonces se observa que hay predominancia de bacterias, lo que sugiere que existe degradación en el suelo. De acuerdo a Malik (2016), cuando el suelo es dominado por hongos, el almacenamiento de carbono será mayor debido a la descomposición activa que ejercen los hongos. Mientras que por el contrario, la dominancia de bacterias implica pérdida de carbono.

En cuanto a las bacterias y actinomicetos, la correlación es negativa lo que sugiere que a medida que aumenta uno disminuye el otro. Lo que se le pudiera atribuir a que los actinomicetos proliferan en suelos arenosos que permiten la oxigenación y limitan el exceso de humedad (Brady y Weil, 2016), condiciones contrarias preferentes para las bacterias.

Entre hongos y actinomicetos hay una correlación que aunque es baja se presenta negativa, lo que se pudiera explicar a qué debido a que existen interacciones químicas, es posible que los actinomicetos produzcan compuestos antibióticos que inhiban las funciones de los hongos (Sales *et al.*, 2024). Además, pudiera existir una competencia por recursos partiendo del supuesto que ambos microorganismos son filamentosos. Lo que se traduce en que a medida que incrementa la población de hongos disminuyen los actinomicetos y viceversa.

4.3. Macrobiota: densidad y biomasa

Cinco sistemas de uso del suelo fueron muestreados, solo en dos de ellos se encontraron lombrices, siendo estos los sistemas agroforestales SAC y SAMB. Los resultados obtenidos con respecto a la densidad fueron mayores en SAMB (Figura 19), registrando el dato más alto en otoño con $\bar{x}=15.6$ individuos y el más bajo en invierno con $\bar{x}=7.6$.

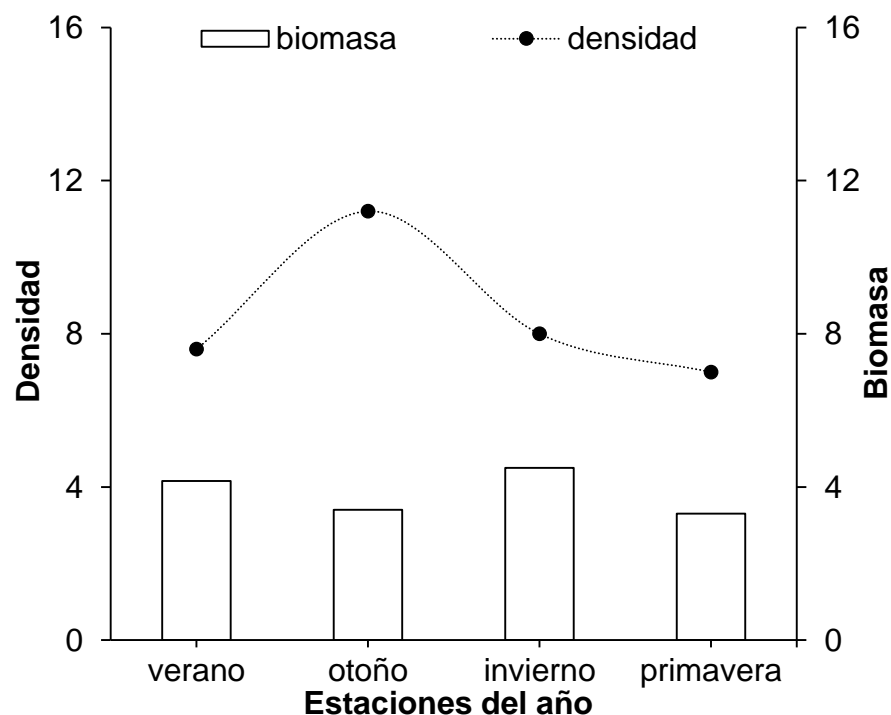


Figura 21. Densidad y biomasa de lombrices de tierra durante el año en el sistema agroforestal de café y vegetación natural.

Lo que se podría explicar cómo una reacción de la macrobiota al clima, que a menor temperatura disminuye el número de individuos, ya sea por migración o sobrevivencia. Se debe tomar en cuenta que en otoño existe una buena humedad y disponibilidad de nutrimentos y conforme avanza el periodo a invierno, las condiciones de clima, disponibilidad de agua cambia y las lombrices migran a mayor profundidad de la zona de muestreo.

Apráez *et al.* (2019) indicó que en otoño surgen las condiciones más favorables para el incremento de la densidad de lombrices gracias al clima que esta época del año propicia y humedad que hace más disponible la materia orgánica. Además, también atribuyendo la mayor densidad de lombrices a la adición de estiércol de borregos por medio del pastoreo controlado. Tal como lo señalan Juárez y Fragoso (2014), que la densidad y biomasa de lombrices puede incrementar por medio de la manipulación de la humedad, residuos orgánicos producidos por el sistema y el uso de estiércol como fertilización.

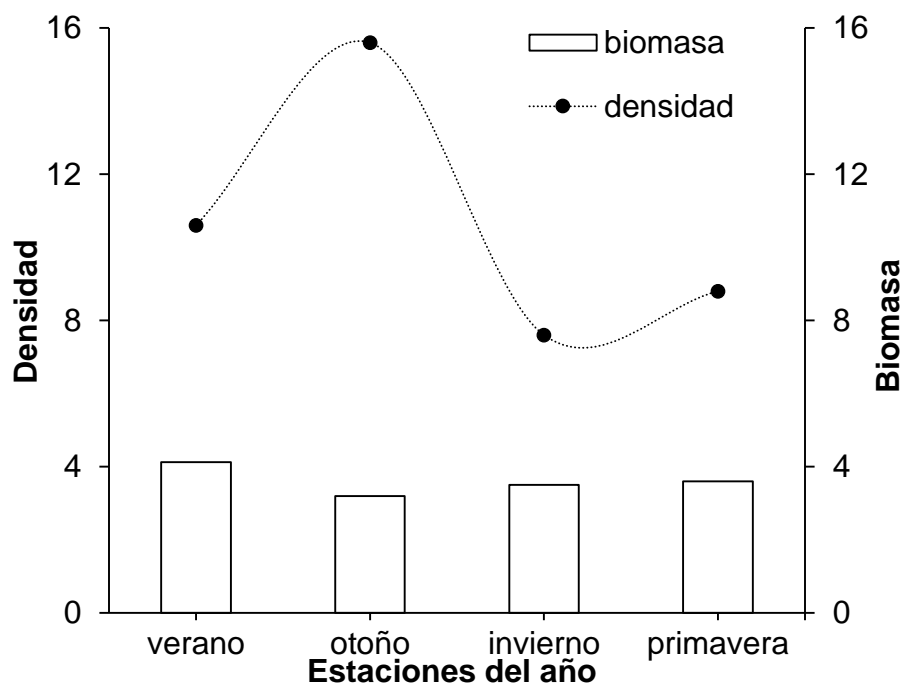


Figura 22. Densidad y biomasa de lombrices de tierra durante el año en el sistema agroforestal con manzano y borregos.

SAC también obtuvo el mayor dato en otoño con 11 individuos y el menor en primavera con 7 (Figura 21), lo cual se le puede atribuir a que en primavera existe menor humedad en el suelo limitando las condiciones óptimas para las lombrices. En este estudio la época del año refleja diferencias, contrario a lo que reporta Zerbino (2007), quien afirmó que no hubo diferencias en cuanto a la época de muestreo, obteniendo mayor biomasa en un uso de suelo sin pastoreo. De acuerdo con Porras (2006), los sistemas agroforestales de cafeto cuentan con mayor número de lombrices en comparación a un cafetal de manejo convencional, esto debido a la menor evaporación de agua que propicia el componente arbóreo (Villarreyna *et al.*, 2020).

El uso de suelo con mayor biomasa de lombrices fue SAC, con el mayor dato registrado en invierno con 4.5 g y el menor en primavera con 3.3 g. Lo que podría deberse a que la altitud y latitud del sistema, siendo el clima más cálido, por lo que en el invierno las lombrices encuentran las mejores condiciones ambientales en este hábitat. En resumen, en densidad SAMB obtuvo los resultados más altos y hablando de biomasa SAC obtuvo el mayor dato.

Los datos reportados en esta investigación realzan las bondades de los sistemas agroforestales tal como lo hace Cornwell (2014), en su estudio de efectos de sistemas agrícolas diferentes sobre calidad de suelos en el norte de la provincia de Limón, Costa Rica; donde reportó que el mayor número de lombrices fue encontrado en un sistema agroforestal de cacao, incluso por encima del bosque, argumentando que en este tipo de sistemas la abundancia de cobertura del cultivo en conjunto con las especies inmersas proporcionan mayor disponibilidad de hojarasca.

También se podría tomar en cuenta que el área ocupada por los árboles frutales no es afectada por la agricultura convencional debido al arreglo topológico de las especies inmersas, dando como resultado la conservación de la biota incluyendo a las lombrices del suelo (Price y Gordon, 1999; Montoya y Solé, 2002; Postma, 2010). Estos organismos promueven infiltración y aireación, proporcionando la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes para otros organismos del suelo (Bouché, 1984;

Edwards y Bohlen 1996; Brown *et al.* 1999; Jouquet *et al.* 2006;). Interviniendo directamente en la porosidad del suelo y permitiendo a las lombrices tener mayor movilidad.

En cuanto a los demás usos de suelo que fueron muestreados, la ausencia de lombrices se le pudiera atribuir a que en el BPPI el tiempo en el que se realizaron los muestreos no fue suficiente para recuperar las poblaciones de lombrices o que estas migraron hacia las partes bajas para protegerse del calor derivado del incendio. Este efecto del suelo limita la formación temprana de agregados como función ecosistémica que ejercen las lombrices. Por otro lado, la nula presencia de lombrices en BPP podría deberse a que de acuerdo con Echaverría (2020), las lombrices no toleran suelos ácidos como lo son en los bosques pino-encino. Autores como Shipilato y Gibbs (2000), señalaron que existen suelos excelentes y las lombrices no están presentes, así como lo son algunos bosques templados.

Finalmente, el sistema MT carece de un adecuado manejo de las prácticas agronómicas, siendo este un factor importante para mejorar la diversidad de coberturas naturales al interior del sistema, contribuyendo a la diversidad de las comunidades de invertebrados transformadores de hojarasca y mesorreguladores (Herrera, 2019). Por ello no se reporta la presencia de lombrices en este uso de suelo. También se puede deber al manejo del suelo y cultivo ya que el agricultor remueve el suelo con la preparación del mismo como: rastreo, surcado, primera y segunda labor, etc. o por la aplicación de agroquímicos.

5. CONCLUSIONES

La microbiota del suelo mostró déficit de la presencia de bacterias en SAC, de hongos en SAMB y actinomicetos en MT. Siendo BPPI el uso de suelo con mayor UFC de bacterias y actinomicetos, mientras que el mayor número de colonias de hongos fue registrado en BPP. Señalando así, que la presencia de microbiota está en función de los requerimientos de cada microorganismo y se localizaran en mayor proporción en aquel uso de suelo que cumpla con las condiciones que a estos favorezcan.

La densidad y biomasa de lombrices arrojó que de los cinco usos de suelo que fueron muestreados solo hubo presencia de lombrices en dos de ellos, siendo estos los sistemas agroforestales; con la mayor densidad en SAMB y la mayor biomasa en SAC. Sin embargo, la estación del año fue determinante en la densidad ya que se mostró un mayor registro en otoño en ambos sistemas. Referente a la biomasa, hubo un incremento en verano en SAMB y en invierno en SAC.

La fertilidad mediante el análisis físico y químico fue una herramienta útil para la explicación del comportamiento de la macro y microbiota. El pH determinó que BPP fue el uso de suelo con mayor acidez, explicando así la ausencia de lombrices y la abundancia de hongos. Debido al incendio en BPPI este uso de suelo aumento significativamente el pH gracias a la mineralización del material vegetal, lo cual fue favorable para el incremento de bacterias y actinomicetos. MT fue el uso de suelo más careciente de MO por debajo de SAC y SAMB, que gracias al manejo y combinación con el componente arbóreo se ha ido incorporando una cubierta vegetal al suelo.

LITERTURA CITADA

Abdel, H., 2003. Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1187-1196.

Aguilar, J., Illsley, C., y Marielle, C. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. *In: G. Esteva y C. Marielle (Eds). Sin maíz no hay país. Primera edición, pp: 82- 122. México, D.F: Culturas Populares de México.*

American Society for Testing and Materials. 2003. Norma C 128, Volumen 04.02.

Anderson, J. M., e Ingram, J. S. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility a Handbook of Methods*, Unesco, Oxford. C. A. B. International. 238 p.

Apráez, E., Gálvez, A. y Apráez, J. 2019. Factores edafoclimáticos en la producción y calidad del pasto Saboya (*Holcus lanatus L.*) en el Altiplano de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 36(1): 16-32.

Bader, B. R., Taban, S. K., Fahmi, A. H., Abood, M. A., y Hamdi, G. J. (2021). Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays L*) growth. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 20(6): 390–394. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2021.04.006>.

Barr, D. P., y Aust, S. D.1994. Mechanisms rot fungi use to degrade pollutants. *Environmental Science and Tecnology* 282: 794-874.

Benavides, H. R., Vargas, S., Caicedo, D., Carvajal, L., Gutiérrez, D.I., y Mina, J. 2019. Efecto del agroecosistema y las estaciones del año en la densidad poblacional de la lombriz de tierra en los sistemas silvopastoriles. *Cuban Journal of Agricultural Science* 53(2): 197-206.

Bignell, D. 2006. Termites as soil engineers and soil processors. En: König, H. y Varma, A. (Eds). *Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates* pp: 183- 220.

Blakemore, R. J. 2006. *Cosmopolitan earthworms and ecotaxonomic guide to the peregrine species of the World. (2nd Edition)*. Verm Ecology, Japón. 600 pp.

Brady, N. C., y Weil, R. R. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14 ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey: pp: 28-36.

Brady, N. C., y Weil, R. R. (2016). *Nature and Properties of Soils, The 15th Edition*. In Pearson Education. 1072 pp.

Bockheim, J., Gennadiyev, A., Hartemink, A., y Brevik, E. 2014. Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma*, pp: 231-237.

Bueno, J. y Rojas, P. 1999. Fauna de milpiés (Artropoda: Diplopoda) edáficos de una selva de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 76: 56-83.

Calderón A., Moreno M. y Barra E. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5): 605-620.

Cárdenas, R., Donoso, D., Argoti, A., y Dangles, O. 2017. Functional consequences of realistic extinction scenarios in Amazonian soil food webs. *Ecosphere* 8(2): e01692. 10.1002/ECS2.1692.

Celaya, H., y Castellanos, A. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29(3): 343-356.

Coitiño, J., Barbazán, M., y Ernst, O. 2015. Conductividad eléctrica aparente para delimitar zonas de manejo en un suelo agrícola con reducida variabilidad en propiedades físico-químicas. *Agrociencia Uruguay* 19(1): 102-111.

Cornwell, E. 2014. Efectos de diferentes sistemas agrícolas en la calidad del suelo en la provincia Norte de Limón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 62(3): 887-897.

Corwin, D. L., y Lesch, S. M. 2003. Application of soil electrical conductivity to theory principles and guidelines. *Agronomy Journal* 95(3): 455-471.

Cruz, G., Guerra, E., Valderrábano, J., y Campo, J. 2020. Indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la Reserva de la Biosfera los Volcanes, México. *Terra Latinoamericana* 38(4): 781-793.

Curry, J. P. 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. *In*: Edwards, C.A. (Edit), *Earthworm Ecology*. CRC Press, Boca Raton EUA. pp: 91-113.

Dávila, M., Gallegos, G., Hernández, F., Ochoa, Y., y Flores, A. 2013. Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1187-1196.

De Boer, W., Folman, L. B., Summerbell, R. C., y Boddy, L. 2005. Living in a fungal world: Impact of fungi on soil bacterial niche development. *FEMS Microbiology Reviews* 29(4): 795–811.

Díaz, P. M. 2009. Producción-descomposición de hojarasca y macroinvertebrados fragmentadores en cuatro agroecosistemas de la cuenca del río la Vieja. *Journal of Chemical Information and Modeling* 9:118.

Dyne, G. R., y Jamieson, B. G. 2004. Native earthworms of Australia II (Megascolecidae, Acanthodrilinae). Australian Government. ABRS. The University of Queensland. Canberra, 200 pp.

Ebrecht, A., Fernández, N., y El Mujtar, V. 2022. ¿Qué efectos tienen los incendios en los suelos? Primeros resultados de un estudio en el incendio forestal de Cuesta del Ternero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 33(77): 4-8.

Echevarría, L. 2020. La lombriz terrestre: su actividad y capacidad para mejorar la calidad de los suelos. Scientific International Journal 17(1): 69-80.

Entry, J.A., Stark, N.M., Loewenstein, H. 1985. Effect of timber harvesting on microbial biomass fluxes in a northern Rocky Mountain forest soil. Canadian Journal of Forest Research; 16: 1076-1081.

FAO. 2015. Status of the World's Soil Resources. Rome, Italy. Vargas, R. Gestión de la Tierra y Suelos en la FAO. Un enfoque sobre los suelos en la Agenda de Desarrollo Post- 2015.

FAO. 2017. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.

Fernández, E. 2022. Diluciones seriadas (Ilustración educativa). Universidad de Santiago de Compostela. Link: <https://bacteriasactuaciencia.blogspot.com/2022/10/como-hacer-diluciones.html>.

Fernández, O., Acevedo, P., Villanueva, D., Uribe, A. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 7(35): 65-77.

Fragoso, C. y Rojas, P. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida; Oligochaeta; Crassilitea). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85 (5): 197-207.

Fridgen, J., Kitchen, N., Sudduth, K., Drummond, S. Wiebold WJ, Fraisse CW. 2004. Management Zone Analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agronomy Journal* 96: 100-108.

Gaia, J., Pereira, M., Francelino, M. y Larangeira, J. 2020. Physical and chemical attributes of soil on gully erosion in the Atlantic forest biome. *Revista Ambiente y Agua Brasil* 15(2): 2-13.

Galicia, L., Gamboa, A. M., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V., y Siebe, C. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*. 34(1):1-29.

García, F., Fernández, D., y Zornoza, R. 2017. Propiedades químicas del suelo: Efectos sobre la fertilidad y la producción de cultivos. *Agroalimentaria* 16(1): 6-14.

García, O. 2008. La materia orgánica (MOS) y su papel en la lucha contra la degradación del suelo. *In: XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. 29-31 de octubre de 2008. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador pp: 1-18.

Gimeno, E., Andreu, V., y Rubio, J. 2000. Changes in organic matter, nitrogen and phosphorus and cations as a result of fire and water erosion in a mediterranean landscape. *European Journal Soil Science* 51: 201-210.

Gliessman, S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Impresiones LITOLAT. Turrialba, Costa Rica, 359 pp.

Gros, A., y Domínguez, A. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. 8 va. Edición. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid 450 pp.

Gutiérrez, M., Lotina, B., Farrés, A., Sánchez, S. y Mata, R. 1999. Phytotoxic and photosynthetic activities of maduramicin and maduramicin methyl ester. *Naturforch* 54: 325-332.

Gutiérrez, Z., Aguilar, J., Galdámez, J., Mendoza, S., y Martínez, F. 2007. Impacto socioeconómico de los sistemas de policultivos maíz-frijol-calabaza en La Frailesca, Chiapas, México. En: I Seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos sostenibles e indicadores. Almería, España, 16 pp.

Hättenschwiler, S., Tiunov, A.V., y Scheu, S., 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 36:191-218.

Hernández, A., Vera, L., Naveda, C., Guzmán, Á., Vivar, M., Zambrano, T., Mesías, F., Ormanza, K., León, R. y López, G. 2017. Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales* 38 (1): 50-56.

Herrera-Díaz, A. M. 2019. Composición y abundancia de invertebrados y microorganismos indicadores del proceso de descomposición de materia orgánica del suelo, en relación a prácticas agronómicas en ocho fincas con cultivos de palma de aceite en la zona Oriente de Colombia. La Salle. 69 pp.

Ingham, E. R. 2017. *The Soil Biology Primer*. Oregon, EUA. Soil Foodweb, Inc. pp: 6-30.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2020. Geografía y medio ambiente. Climatología.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2010. Geografía y medio ambiente. Tipos de suelo.

Instituto Nacional de Investigación Agrícola y Pecuaria (INIA). 2012. Caracterización física del suelo. <http://www.inia.gob.ve>

Jenks, M. A. y Hasegawa, P. M. 2005. Plant Abiotic Stress. India. Blackwell Publishing. 270 pp.

Juárez, R., Dionicio, y Fragoso, C. 2014. Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* 30(3): 637-654.

Julca, A., Meneses, F., Blas, R. y Bello S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESA* 24: 49-61.

Kelting, D. L., J. A. Burguer, S. C. Patterson, W. M. Aust, M. Miwa., y Trettin, C.C. 1999. Soil quality assessment in domesticated forests a southern pine example. *Forest Ecology and Management* 122: 167-185.

López, J., Melo, C. y Manzo, L. 1991. Propiedades físicas y químicas del suelo. Edit. Ana García de Fuentes. Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, México. 19(4): 293-299.

Luna, G., Sequeira, K., Torres, M., Taleno, E., Serrano, I., y González, M. 2010. Abundancia y biomasa de lombrices de tierra en dos ecosistemas intervenidos del Bosque Tropical Húmedo, Bluefields. *Dialnet Universidad de Rioja. Ciencia e Interculturalidad* 6(3): 1.

Mahecha, L. 2003. Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16: 11-17.

Malik, A., Chowdhury, S., Schalager, V., Oliver, A., Puissant, J., Vazquez, P., Jehmlich, N., Bergen, M., Griffiths, R., y Gleixner, G. 2016. Soil fungal: bacterial ratios are linked to altered carbón cycling. *Front Microbiology* 7:1247. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01247.

Mataix-Solera, J. 2001. Forest fires in Mediterranean environments and their effects on soils. Seminar in the University of Wales Swansea. United Kingdom Department of Geography 1: 8-40.

McBride, B. A. 2010. La influencia humana en los microorganismos del suelo. *Soil Biology and Biochemistry* 42(1): 1-14.

Mengel, K. 1996. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant Soil* 181: 83-93.

Momose, I., Hirosawa, S., Nakamura, H., Naganawa, H., Inuma, H., Ikeda, D. y Takeuchi, T. 1999. Decatronomicins A and B, New antibiotics produced by *Actinomadura* sp. MK 73-NF4. I. Taxonomy, Isolation, Physicochemical properties and biological activities. *Journal of Antibiotics* 52: 787-796.

Montoya, J. M. y Solé A., R. 2002. Small World Patterns in Food Webs. *The Journal of Theoretical Biology* 214: 405-412.

Murgueitio, E., e Ibrahim, M. 2008. Ganadería y medio ambiente en América Latina. *Ganadería del futuro: Investigación para el Desarrollo*. pp:19-40.

Nair, P.K.R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp: 499-450.

Neina, D. y Trevisan, M. 2019. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. Department of Soil Science P.O. School of Agriculture College of Basic and Applied Science University of Ghana Legon-Accra Ghana. 245 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66.

Orozco, C. A., Valverde, F. M., Martínez, T. R., Chávez, B. C., y Benavides, H. R. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana* 34(4): 441-456.

Ortiz-Solorio, C.A. 2019. *Edafología*. Trillas. 4: 12-23.

Pacasa, F., Loza, M., Bonifacio, A. Vino, L. y Serran, T. Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de Kiphakiphani, Comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society* 8(1): 2-25.

Pieri, C. 1989. *Fertilité des Terres de Savanes*. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, Francia. pp: 33-60.

Porras-Vanegas, C.M. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. CATIE, Turrialba. pp: 14-63.

Postma, M., de Goede, R., Bloem, J., Faber, J., y Brussaard, L. 2010. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology* 91: 460-473.

Price, G. W., y Gordon, A. M. 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 44: 141-149.

Proulx, R., Wirth, C., Voigt, W., Weigelt, A., Roscher, C., Attinger, S. y Jussi, B. J. 2010. Diversity Promotes Temporal Stability across Levels of Ecosystem Organization in Experimental Grasslands 5(10): 570-590.

Pulido, M. 2014. Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo. Departamento de artes y ciencias del territorio. Universidad de Extremadura. pp: 247-253.

Ramírez, E., Hernández, R., Castro, I., y González, I. 2017. Manejo de recursos orgánicos locales, como estrategia agroecológica para la elaboración de abonos, en bosques nublados de la cordillera de la costa en Venezuela. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos IDECYT. Agro Sur 45(1): 19-30.

Rengel, Z. 2012. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Springer Science y Business Media 7(2): 93-113.

Rivera, J. 2017. Diversidad microbológica del suelo en el cultivo de cacao de origen trinitario y nacional en la zona de Buena Fe, provincia de los Ríos. Universidad Técnica de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias de España. pp: 10-55.

Sales, G., Aguirre, C., Doive, A., Pérez, V., Reategui, N. 2024. Análisis de microorganismos funcionales y su relación con parámetros fisicoquímicos del suelo en un bosque reservado. Manglar 21(1): 19-28. <http://doi.org/10.57188/manglar.2024.002>.

Sánchez, M. y Vicente, H. 1980. Mineralogía y génesis de arcillas de suelos forestales del centro-oeste de España. III. Centro de Edafología y Biología aplicada en Salamanca, ResearchGate. 6: 243-253.

Sánchez, J., Márquez, B., y Villegas, J. 2007. Los actinomicetos en la fertilidad y producción agrícola. Laboratorio de Microbiología Ambiental. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, ResearchGate. 25(7): 2-6.

Sánchez, Y., Márquez, B., Leal, L., y Fernández, P. 2007. Los hongos fundamentales en la productividad del suelo. Instituto de Investigaciones Químico- Biológicas, ResearchGate. 9(4): 2-11.

Sanchez-Yañez, J.M. 2006. Las interacciones microbianas su importancia para el suelo y la agricultura. Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 1(7):1-6.

Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys, B. y Schrijver, A. D. 2017. Tree Species Identity Shapes Earthworm Communities Forests. *Pedobiología* 67: 16-25.

Schnitzer, M. 1991. Soil organic matter the next 75 years. *Soil Science* 151:41-58.

Schwyter, A., Vaughan, K., 2020. Introducción al manual de laboratorio de ciencias del suelo. Microorganismos del suelo. California State University Affordable Learning Solutions Program; C.C. by 4.0: 10.3.1-10.4.1.

Shipilato, M. y Gibbs, F. 2020. Potential of Earthworms burrows to transmitted injected animal wastes to tail drains soil. *Soil Science* 64 (6): 2103-2109.

Shipilato, M. J. y Bayon, R. C. 2004. Cuantificación de los efectos de las lombrices de tierra en la agregación y porosidad del suelo. En: C.A. Edwards (Ed.). *Ecología de lombrices*. 2ª Ed. CRC Press, Boca Ratón EUA. pp: 183-200.

Shuster, W., Subler, S. y McCoy, E. 2002. La influencia de la estructura de la comunidad de lombrices de tierra en la distribución y el movimiento de solutos en un suelo labrado con cincel. *Ecología de Suelos Aplicada* 21: 159–167.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Ciudad de México.

Sisinno, C., Bulus, M., Rizzo, A. y Moreira, J. 2005. Ensayo de evitación con lombrices de tierra como complemento para la evaluación de sitios contaminados por metales: resultados preliminares. En: XIII Congreso Internacional sobre Metales Pesados en el Medio Ambiente – ICHMET. Comunicación Técnica CT2005–038–00. Río de Janeiro, RJ, Brasil.

Soil Survey Staff. 2007. Claves para la Taxonomía de suelos. (10a. ed.). 2006. (trad. de Carlos A. Ortiz S. y Ma. del C. Gutierrez C.) Depto. de Agricultura de Estados Unidos, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 3, 305 p.

Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons. New York 443 pp.

Swift, M., Bignell, D., Moreira, F. y Huising, E. 1994. The Biological Management of Tropical Soil Fertility, Wiley. 252 p.

Thomazini, A., Mendoca, I., Cardoso, M. y Garbin, M. 2015. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. Geoderma Regional 5: 15-24.

Trasar M., Leirós, M., y Gil. F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate- humid zone Galicia, NW Spain: Soil Biology and Biochemistry. Elsevier, Biología y Bioquímica del Suelo 32(6): 733-745.

Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L., y Martin, D. A. 2009. Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of Cork oak (*Quercus Suber*). *Land Degradation and Development* 20(6): 589–608.

Vallejo, V. 2012. Efecto del establecimiento de sistemas silvopastoriles sobre la comunidad microbiana edáfica (total y de bacterias oxidadoras de amonio) en la Reserva Natural: El Hatico-Valle. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana 239 pp.

Vargas, S. G. 2016. Caracterización de la biodiversidad de hongos del suelo asociados a diferentes usos del suelo en la cuenca alta del río Aconcagua, Chile. *Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente* 4(1): 43-54.

Villareyna, R., Avelino, J., y Cerda, R. 2020. Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Universidad de Costa Rica, Agronomía Mesoamericana* 31 (2): 499-516.

Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 pp.

Wilson, C., Mitchell, R., Boring, L., y Hendricks, J. 2002. Soil nitrogen dynamics in a fire maintained forest ecosystem: results over a 3 year burn interval. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 679-689.

Wüthrich, C., Schaub, D., Weber, M., Marxer, P., Conedera, M. 2002. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland. *Catena* 48: 201-215.

Yáñez, G., Sánchez, M.E., De la Portilla, N., Águila, P., y Lugo, J. 2020. Densidad poblacional de actinomicetos en suelos florícolas, enmendados con vermicomposta. *Terra Latinoamericana* 38 (4): 52-55.

Zamora- Morales, P., Zamora- Martínez, M. Nieto, P. M., y García, C. F. 2018. Condiciones edáficas, abundancia y riqueza de hongos ectomicorrizógenos comestibles. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(48):226-251.

Zerbino, S. 2007. Evaluación de la biomasa de lombrices de tierra en diferentes sistemas de producción del Uruguay. National Institute of Agricultural. Research of Uruguay. pp: 281-290.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de clasificación de valores de pH de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Anexo 2. Tabla de interpretación de resultados de densidad aparente según la NOM-021-RECNAT-2000.

Tipos de suelo	g/cm ³
Orgánicos y volcánicos	Menor de 1.00
Minerales	
Arcillosos	1.0 1.19
Francosos	1.20 1.32
Arenosos	Mayor a 1.32

Anexo 3. Interpretación de conductividad eléctrica de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

CE dS m ⁻¹ a 25°C	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 -2.0	Muy ligeramente salino
2.1-4.0	Moderadamente salino
4.1-8.0	Suelo salino
8.1-16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Anexo 4. Tabla de interpretación de resultados de materia orgánica según la NOM-021-RECNAT-2000.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0

Anexo 5. Interpretación de resultados de nitrógeno de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Clase	Nitrógeno total %
Muy bajo	< 0.05
Bajo	0.05-0.10
Medio	0.10-0.15
Alto	0.15-0.25
Muy alto	> 0.25

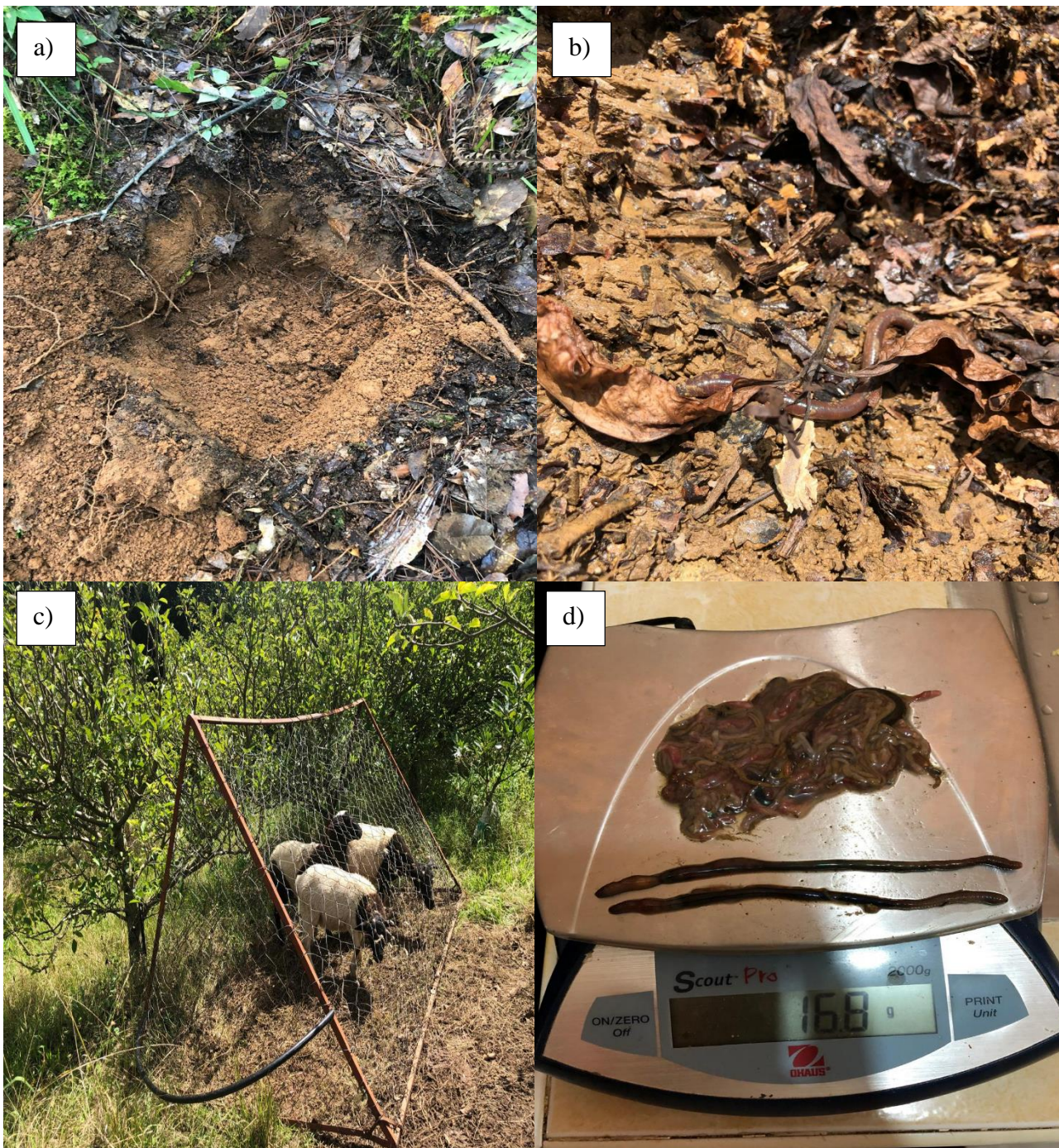
Anexo 6. Interpretación de resultados de fosforo Olsen de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Clase	mg Kg-1 de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 – 11
Alto	> 11

Anexo 7. Los resultados de los análisis de las bases intercambiables pueden interpretarse con base al siguiente cuadro (NOM-021-RECNAT, 2000).

Clase	Ca	Mg Cmol (+) Kg-1	K
Muy baja	menor -2	menor -0.5	menor -0.2
Baja	2-5	0.5-1.3	0.2-0.3
Media	5-10	1.3-3.0	0.3-0.6
Alta	mayor -10	mayor -3.0	mayor -0.6

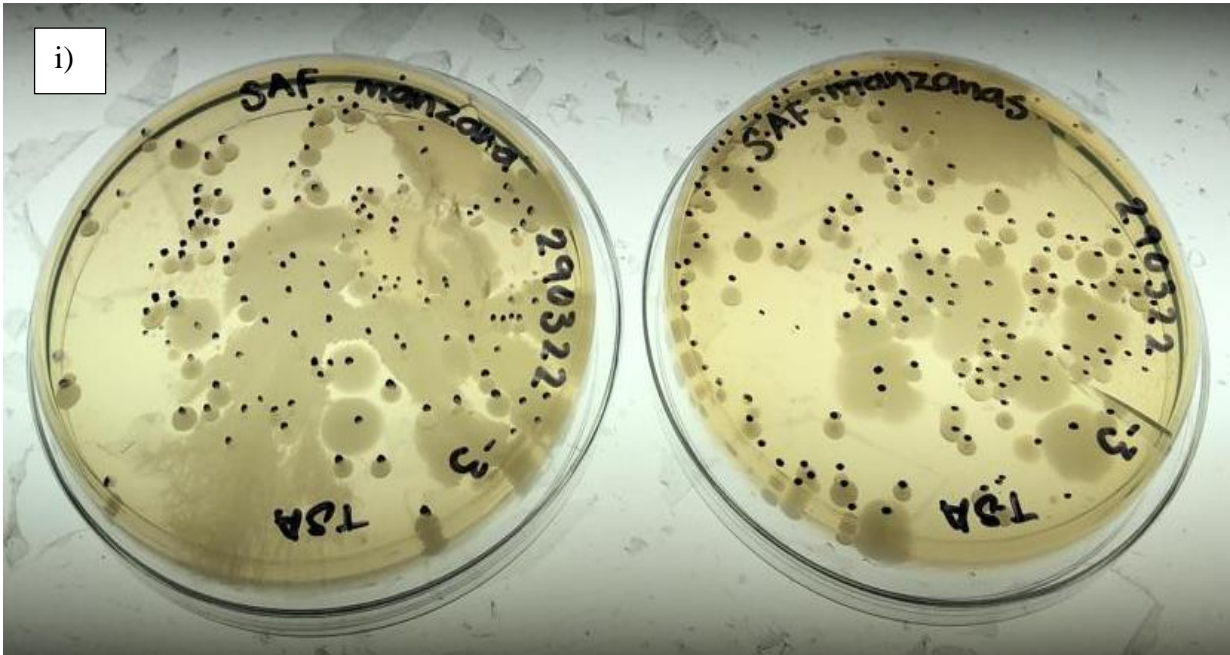
Anexo 8. Archivo fotográfico



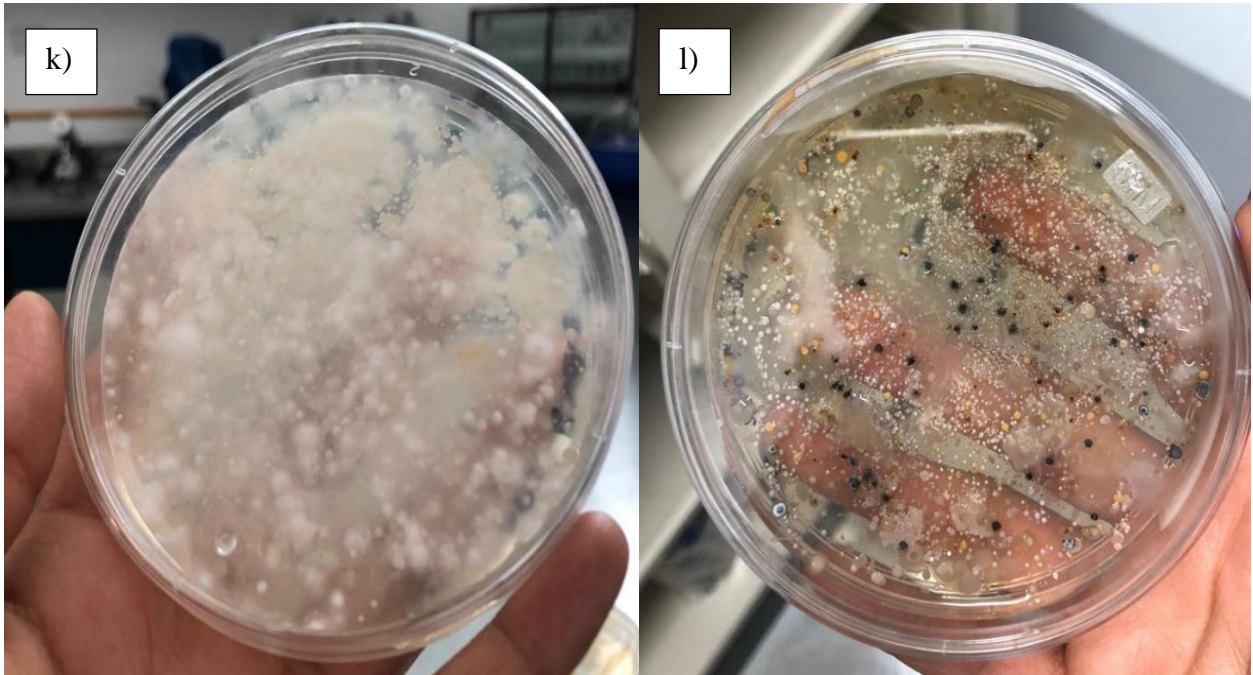
a) Cepa de donde fue extraído un monolito de suelo, b) lombriz de sistema agroforestal de cafetal, c) pastoreo controlado con jaulas y e) determinación de biomasa de lombrices (g) con bascula de laboratorio.



e) Maizal de temporal post cosecha, f) sistema agroforestal de cafetal, g) bosque post incendio y h) lombriz colectada de monolito de suelo.



i) Colonias de bacterias obtenidas de 1 g de suelo incubadas en placas de agar y j) diluciones para sembrado en placa.



k) Colonias de hongos obtenidas de 1 g de suelo y l) colonias de actinomicetos obtenidas de 1 g de suelo.