



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la
obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Caracterización de los microbiomas de suelos en plantaciones
cafetaleras comerciales del Ecuador.

AUTOR:

Henry Gaudencio Bajaña Santana

TUTOR:

Ing. Agr. Roberto Medina Burbano, MBA.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

En el Ecuador se estima que existen plantadas alrededor de 230000 de café, esta amplia distribución se presenta porque el Ecuador es uno de los 14 países, entre cerca de 70, que cultiva ambas especies comerciales de café. Por tal motivo al ser un cultivo altamente especializado deben manejarse todos los componentes del sistema productivo entre ellos el suelo. Para esto la microbiota en el suelo juega una función importante en la defensa contra enfermedades, promoción del crecimiento de plantas, así como en el cambio de la vegetación. En el caso de café la información presente sobre estudios de microbiomas, en muchos casos, es insuficiente. En este concepto se buscó caracterizar los microbiomas de suelos en plantaciones cafetaleras comerciales del Ecuador. Para el efecto se realizó una revisión bibliográfica sobre la evidencia científica relacionada con microbiomas del cultivo de café a nivel mundial y en el país. A través de parafraseo y selección de citas se encontraron resultados bastantes discutibles y contradictorios. En función de los resultados se indica que en Ecuador aun es poco conocido o en muchos casos incipiente, el estudio de los microbiomas de suelos. Esto se debe de cierta manera a la poca formación de los investigadores en el área, el estudio realizado demuestra que falta mucho desarrollo en edafología a nivel local. La revisión realizada detalla con dificultad la escasez de trabajos académicos de relevancia, que indiquen en medida, las diferentes conformaciones de microbiomas edáficos y la importancia de estos en la producción agropecuaria. En muchos casos estos estudios son aún menos precisos debido a la dificultad que se encuentra, en el momento de identificación de los agentes microbianos presentes en las muestras estudiadas. También es evidente que en los sectores donde se realizó estudios de microbiomas, se encontró considerable variabilidad genética para los hongos, bacterias y otros microorganismos. En otros aspecto existen agrupaciones por preferencia de organismos que están mejor adaptadas a ciertas particularidades del entorno en el que habitan, además, existen poblaciones en los aislamientos sin identificación.

Palabras Claves: Biomas, Suelo, Café, Diversidad, Sostenibilidad.

SUMMARY

In Ecuador it is estimated that there are around 230 000 planted of coffee, this wide distribution is present because Ecuador is one of the 14 countries, out of around 70, that grows both commercial coffee species. Therefore, in addition to being a highly specialized crop, all components of the production system must be managed between themselves and the soil. For this, the microbiota plays an important role in defending against diseases, promoting plant growth, as well as changing vegetation. In the case of coffee, the information present in microbiome studies is, in many cases, insufficient. In this concept we seek to characterize the soil microbiomes in commercial coffee plantations in Ecuador. For this purpose, a bibliographic review was carried out on scientific evidence related to microbiomes in coffee cultivation worldwide and in the country. Through paraphrasing and selection of quotes, quite controversial and contradictory results will be found. According to the results, it is indicated that in Ecuador there is little knowledge, or in many cases incipient, the study of soil microbiomes. This is due to a certain extent to the training of researchers in the area; the study carried out shows that a lot of development is needed in soil science at the local level. The review carried out details with difficulty the scarcity of relevant academic works that indicate in detail the different conformations of soil microbiomes and their importance in agricultural production. In many cases, these studies are even less precise due to the difficulties encountered when identifying the microbial agents present in the samples studied. It is also evident that in the sectors where microbiome studies were carried out, considerable genetic variability was found for fungi, bacteria, and other microorganisms. In other aspects, there are groups based on the preference of organisms that are better adapted to certain particularities of the environment in which they live, in addition, there are isolated populations without identification.

Keywords: Biomes, Soil, Coffee, Diversity, Sustainability.

ÍNDICE

Contenido

RESUMEN	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. LINEA DE INVESTIGACIÓN	5
2.DESARROLLO.....	6
2.1. Marco Conceptual	6
2.1.1 Microbiomas	7
2.1.2 Importancia de los microbiomas	9
2.1.3 Caracterización de microbiomas.....	11
2.1.3 Microbiomas del café.....	14
2.2. Marco Metodológico	16
2.3. Resultados	16
2.4. Discusión de Resultados	18
3.DESARROLLO.....	20
3.1. Conclusiones.....	20
3.2. Recomendaciones.....	21
4.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un pequeño país ubicado en el sector oeste de Sudamérica, en su centro pasa la complicada cordillera de Los Andes. Debido a esta particularidad este país de 256 370 km² (MRE 2023) en la actualidad se encuentra en el puesto 9, entre los países más megadiversos del planeta. Para el efecto se ha establecido un índice de diversidad de 291,58; sin embargo, en este caso no se ha tomado en cuenta los organismos microscópicos presentes entre sus recursos (Nash 2022).

La Asociación Nacional de Exportadores de Café, ANECAFE, estima que en la región costa se siembra 112000 hectáreas, en la sierra 62000 ha, en la región amazónica 55000 ha y en las Galápagos 1000 ha de cafetales. Esta amplia distribución se presenta porque el Ecuador es uno de los 14 países, entre cerca de 70, que cultiva las especies comerciales arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*), es decir tiene producción mixta (OIC-ANCAFE 2022).

En el caso de café la información presente sobre estudios de microbiomas, en muchos casos, es insuficiente. Sin embargo, en el caso café debido a la importancia que tiene en la actualidad, se han realizado esfuerzos para establecer la diversidad presente en los suelos. Esto se da por cuanto los cafés de calidad están apuntando a la producción sostenible, para esto es necesario la disminución en el uso de agentes agroquímicos, estando en la microbiota del suelo, ciertas alternativas.

El microbioma (también llamado microbiota) es la comunidad de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos y protozoos) que cohabitan y colonizan el suelo. Se trata de un ecosistema propio que interactúa con las plantas

influyendo en su salud (Sembralia 2023).

La microbiota en el suelo juega una función muy importante en la defensa contra enfermedades, promoción del crecimiento de plantas, así como en el cambio de la vegetación. En la microbiota del suelo existen cinco grupos principales de microorganismos, los cuales están integrados por bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios considerados habitantes de la comunidad, cuyo estudio puede contribuir a la práctica de una agricultura sostenible (INIFAP 2021).

La estadística de siembra en el Ecuador es contradictoria, existe datos que indican que cerca de 46 mil productores ecuatorianos dependen del café, cultivo al que destinan alrededor de 96 312 hectáreas (Rikolto 2023). Sin embargo, otros mencionan que todas las regiones están ocupadas por aproximadamente 75 000 productores de café que cultivan, en total, 85 000 hectáreas de Arábica y 110 000 de Robusta (Castellanos 2022).

La microbiota en el suelo juega una función muy importante en la defensa contra enfermedades, promoción del crecimiento de plantas, así como en el cambio de la vegetación. Además, permite identificar cambios en la disponibilidad de recursos, estructura del suelo o contaminación y puede representar una clave importante para entender el impacto de factores ambientales y antropogénicos (Guerrero 2021).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión de los microbiomas del suelo puede ayudar a prevenir y controlar las enfermedades infecciosas y la resistencia a los antimicrobianos, ya que los microorganismos del suelo son una fuente importante de microorganismos beneficiosos y patógenos para los microbiomas vegetales, humanos y animales. La adopción de enfoques sistémicos que incluyan explícitamente el cuidado del suelo, y de los microbiomas en particular, puede ayudar a abordar estos factores

ambientales y mejorar la salud de las personas, los animales y el medio ambiente.

Con el ánimo de compartir conocimientos sobre el complejo sistema de desarrollo vegetal en el campo, en los últimos años se han estudiado los efectos del manejo del suelo sobre las propiedades biológicas, desde el ADN hasta las lombrices, intentando integrar los conocimientos de la bioquímica. Suelo, microbiología, fauna y física del suelo. Sin embargo, los estudios respaldados por los avances tecnológicos en la secuenciación del genoma indican ciertos patrones generales que pueden estar relacionados con la salud o disfunción de sus huéspedes y los ecosistemas que habitan.

Un conocimiento más preciso de las comunidades microbianas del suelo podría contribuir en la formulación de mejores modelos técnicos de manejo de las plantaciones de café. Además, el conocimiento de diversos parámetros como: actividad microbiológica del suelo y ADN presente en el suelo, permitirá evaluar y caracterizar los microorganismos presentes en el suelo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el pasado, el estudio de las comunidades microbianas dependió del aislamiento y cultivo de los microorganismos allí presentes, forma en la cual se definió su función y estructura filogenética. Recientemente, solo gracias a los avances en metagenómica, ha empezado a ser estudiado el rol de la comunidad microbiana total (microorganismos cultivables y no cultivables) y sus interacciones.

El microbioma vegetal se ha considerado como uno de los factores determinantes en la salud y productividad de las plantas. Se ha demostrado el potencial de la manipulación del microbioma para estimular la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas y la resistencia a condiciones de estrés. También se han obtenido efectos positivos en la salud de las plantas, particularmente, en el control biológico de enfermedades. Esto ha llevado a la

reducción de los insumos químicos y ha permitido estudiar el impacto y el riesgo de la aplicación de los inóculos microbianos.

Así mismo, se han demostrado efectos positivos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y se ha logrado aumentar la producción agrícola. Sin embargo, es necesario desarrollar más estudios prácticos, que resultan clave para entender la organización y la función de la comunidad microbiana total en las plantas y, así, ampliar la visión sobre su función y utilización para mejorar la producción agrícola.

Actualmente, se encuentran en desarrollo numerosos procedimientos moleculares para resolver las limitaciones de la microbiología tradicional en el estudio de los microorganismos del suelo. En lugar de enriquecer células basándose en una característica fenotípica los procedimientos moleculares investigan directamente sobre la información genética de la colonia. Específicamente, las técnicas moleculares ensayan las secuencias básicas de los DNA y RNA de la célula. En este sentido conocer los microbiomas existentes en función de los agrosistemas productivos del café, permitirá establecer perfiles microbianos endémicos o generales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar los microbiomas de suelos en plantaciones cafetaleras comerciales del Ecuador.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Detallar las principales áreas de producción del cultivo de café y los microbiomas presentes en estas.
- b. Describir los microorganismos más recurrentes en las áreas de producción del cultivo de café.

1.5. LINEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología.

Línea: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable

Sublíneas: Agricultura sostenible y sustentable, Conservación de suelos y aguas; y técnicas biotecnológicas.

2. DESARROLLO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1 Áreas de producción de café en el Ecuador

El café, en el Ecuador, es un cultivo de gran importancia económica, ya que cuenta con 39 215 ha cultivadas, el 68% de esta área corresponde a la especie *Coffea arábica* y el 32% a *Coffea canephora*. El cultivo de café está distribuido en 23 de las 24 provincias del país, el café arábigo se concentra en las provincias de Manabí (especialmente en la localidad de Jipijapa), Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. En cambio, café robusto, se cultiva mayormente en la Amazonía, es decir en Sucumbíos y Orellana (Santistevan *et al.* 2014).

El café es un cultivo de importancia económica para el país, debido al gran crecimiento que tiene la calidad de este a nivel mundial. En Ecuador se estima que existen 36 398 ha de cultivo de café sembrado en 22 provincia, con excepción de Tungurahua y Cañar. Este hectareaje esta subdividido en 29 393 ha para monocultivo y 7 005 ha en asociado. La mayor concentración de área se encuentra en la región amazónica con 15 597 ha, costa 12 230 ha y sierra 8 571 ha (INEC 2022).

Por lo antes mencionado las provincia con mayor extensión de cultivo es Manabí con 10 863 ha, seguida por: Sucumbíos (7 500 ha), Orellana (7 323 ha), Loja (4 959 ha) y Bolívar (1547 ha). El resto de las provincias no sobrepasan el millar de hectáreas sembrada, en el caso de la provincia de Los Ríos tiene 389 hectáreas cultivadas.

Actualmente, no existe un censo cafetero que ofrezca una cifra oficial, sin embargo, la Asociación Nacional Ecuatoriana de Café (Anecafé) estima que hay

unas 60.000 hectáreas café en las cuatro regiones del Ecuador, principalmente en las provincias de Manabí, Loja, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y Pichincha (Jara 2022).

Existen zonas en el Ecuador donde la producción de café es altamente especializada por su calidad y cantidad, ejemplos de estas son: Olmedo (Loja), Loja (Loja), Mera (Pastaza), Jipijapa (Manabí), Santa Isabel (Azuay), Loreto (Orellana), Zaruma (El Oro) e Intag (Imbabura) (Anecafé 2022).

El 80% de las fincas cafetaleras ecuatorianas no llegan a las 5 hectáreas de superficie, el 13%, tienen entre 5 y 10 hectáreas y sólo un 7% de los cafetales superan las 10 hectáreas de terreno. En las zonas de Manabí, sur del país y estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes, los cafetos se cosechan entre junio y agosto de cada año, mientras que, en las estribaciones orientales la época de cosecha empieza en marzo y concluye en agosto. En el caso de los cafés robusta, estos se cultivan en las zonas tropicales húmedas de la Costa, y del Oriente, siempre por debajo de los 600 m. Al crecer en las zonas de mayor precipitación, su producción se reparte durante todo el año (COFENAC 2015).

2.1.2 Microbiomas

Desde el inicio de la explotación agropecuaria el suelo ha sido uno de los ecosistemas más complejos y diversos del planeta. El conocimiento científico que existe sobre la salud del suelo está directamente relacionado a los microorganismos, especialmente de aquellos que interactúan con las plantas. Estos microorganismos y su interacción son conocidos como Microbioma (Precisagro 2023).

El microbioma es el conjunto de microorganismos, bacterias y hongos que están presentes en el suelo. Hablar de microbioma es hablar de salud del suelo. A diferencia de otros seres vivos, las plantas necesitan adaptarse al entorno cambiante sin poder moverse y los microorganismos presentes el suelo además de

proveerle alimento, también aportan compuestos que le ayudan a sobrevivir cambios de temperatura, cambios de humedad, precipitaciones o la actividad agrícola (Chávez 2020).

La rizosfera se caracteriza por su elevada abundancia de comunidades microbianas (Berg, Eberl, & Hartmann 2005) y es tal vez uno de los ambientes más estudiados, en especial, porque los microorganismos presentes en la raíz promueven un mejor aprovechamiento de los nutrientes. Una de las características interesantes de la rizosfera es su capacidad de reclutar del suelo especies microbianas específicas, a esto se conoce como microbiota raíz-suelo o en términos más generales Microbioma de suelo (Lundberg *et al.* 2012).

Un microbioma sano y equilibrado es la mejor forma de proteger tus cultivos, ya que juega un papel importantísimo en el desarrollo de las plantas y la manera que estas se enfrentan a situaciones de estrés tanto biótico como abiótico. La abundancia y diversidad del microbioma del suelo es el bioindicador clave de la salud del suelo, la cual tiene la capacidad de incrementar los rendimientos agrícolas. El bienestar del suelo se consigue cuando el *microbioma* está en equilibrio con la materia orgánica y los minerales (Fertiberia 2022).

Los Microbiomas del suelo juegan una función muy importante en la defensa contra enfermedades, promoción del crecimiento de plantas, así como en el cambio de la vegetación. Además, permiten identificar cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, así como, puede representar una clave importante para entender el impacto de factores ambientales y antropogénicos. En la microbiota del suelo existen cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios; considerados habitantes de la comunidad, cuyo estudio puede contribuir a la práctica de una agricultura sostenible (Guerrero 2021).

2.1.2 Importancia de los microbiomas

La calidad del suelo puede ser considerada y cuantificada a través de la evaluación de variables físicas, químicas, bioquímicas y biológicas. Entre las variables biológicas, los microorganismos del suelo y sus funciones han sido investigados como componentes integrales de la calidad del suelo, debido a que están involucrados en procesos claves que permiten mantener las funciones del suelo, como la formación de estructura, descomposición de la materia orgánica, ciclado de nutrientes y degradación de contaminantes. Por lo tanto, los microbiomas son importantes en las prácticas de manejo, tipo de suelo y especies vegetales (Morales *et al.* 2022).

El conocimiento científico que tenemos de los microorganismos del suelo, especialmente de aquellos que interactúan con las plantas, ha alcanzado una madurez que trasciende a los centros de investigación básica. Esta comprensión se traduce en una mejor aplicación en nuestros campos en condiciones de interacción con los factores ambientales. Los organismos más pequeños del planeta, bacterias y hongos, que representan un gran reservorio de biodiversidad en suelos. Intervienen en los ciclos biogeoquímicos que sostienen la vida y pueden controlar la salud de las plantas (Gorka *et al.* 2019).

El microbioma representa un nuevo paradigma para la agricultura, juega un papel muy importante en el desarrollo de las plantas y cuenta con diversas estrategias que ayudan a las plantas a enfrentarse a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico. La reducción en los costos de la secuenciación genómica y sus herramientas, debido al gran avance tecnológico en la bioinformática, está impactando de forma vertiginosa en los avances científicos y tecnológicos relacionados con el microbioma (Akdi *et al.* 2019).

De igual manera los autores indican que los estudios genómicos modernos y sus estudios comparativos resultan muy útiles para descubrir los diferentes aspectos de la interacción microorganismos-planta. Se lograría explorar un

conocimiento más profundo del mecanismo de esta interacción para mejorar la producción agrícola en términos de promoción del crecimiento de las plantas, eficiencia de uso de nutrientes, bioprotección, así como al estrés abiótico y biótico.

En los próximos años, el conocimiento desarrollado sobre el rol ecológico de taxones microbiológicos del suelo resultará fundamental para diseñar prácticas de viticultura sustentables con bajo impacto ambiental. En general, en los suelos sin cultivar existen microorganismos adaptados a un ambiente con alta radiación y temperatura, bajo contenido de humedad y nutrientes. El manejo de suelos con labranzas excesivas y riegos abundantes podría disminuir la abundancia de taxones involucrados a la fijación de carbono y nitrógeno, además de, fomentar procesos anaeróbicos que afectarían la fertilidad edáfica como así también aumentar la emisión de metano a la atmósfera (Paolinelli *et al.* 2021).

Decodificar las interacciones microbianas que suceden alrededor de la planta y también que van a ser fundamentales en el proceso de fermentación de la materia orgánica es hoy una tecnología patentada que permite cuantificar y entender cuál es la función de esos microorganismos y su influencia en la calidad de los suelos. Cada comunidad de microorganismos está presente y hay millones de individuos que viven bajo la superficie del suelo, esos microbiomas que a veces las podemos aprovechar, en otras ocasiones se intentan controlar, se tiene hoy herramientas que no sólo nos permite ver estas comunidades, sino que nos permite identificar qué individuos hay y qué función tiene, ya que el 91% de las especies detectadas previamente en el suelo total (Acedo 2018).

La cantidad y la diversidad de los microorganismos de suelo se ha visto enormemente reducida en los últimos años, por prácticas agrícolas como los monocultivos, modificaciones genéticas para mejorar la productividad, abuso de pesticidas y un elevado consumo de agua. En este sentido, el sector agrícola está comenzando a darse cuenta de la importancia que tiene el Microbioma asociado a las plantas, el microbioma representa un nuevo paradigma para la agricultura

(Baigorri 2019).

2.1.3 Caracterización de microbiomas

Es de vital importancia caracterizar el microbioma de la filósfera de los suelos, para conocer los microorganismos presentes, así como de los factores que hacen variar la composición de esa comunidad nos ayudará a diseñar una estrategia para combatir las enfermedades, así como aumentar la biomasa de las plantas. La potenciación de ciertos microorganismos ya existentes en el microbioma de la planta o la adición de un conjunto de microorganismos es un recurso poco utilizado en la agricultura moderna (Carrasquilla 2020).

Diversas investigaciones han demostrado que la ecología microbiana del café involucra a una amplia gama de grupos microbianos que incluyen bacterias ácido láctico (LAB), bacterias de ácido acético (AAB), *Bacillus*, Enterobacterias, levaduras y hongos filamentosos, además de microorganismos que se originan en el medio ambiente (Elhalis *et al.* 2020).

Análisis microscópicos y estudios de marcadores moleculares establecen que menos del 1% de los microorganismos pueden identificarse y cultivarse empleando técnicas microbiológicas de rutina (Sharma *et al.* 2020). Como consecuencia, usar solamente métodos microbiológicos convencionales no es la mejor opción para estudiar la diversidad de organismos en los procesos de cultivos, debido a que se presentan desafíos para aislar únicamente el microorganismo de interés, la gran mayoría de los microorganismos no son cultivables en el entorno del laboratorio, y es difícil reproducir y mantener las estrictas condiciones para el crecimiento (como los requisitos de nutrientes y pH óptimo) (Lim *et al.* 2020).

Debido a que los suelos son distintos, en las diferentes especies de plantas los microbiomas de la rizosfera también difieren entre las especies vegetales y su estado de desarrollo. Algunos trabajos demuestran incluso diferencias en las comunidades microbianas de la rizosfera de diferentes cultivares de la misma especie. la diferencia entre el suelo sin enraizar y el suelo enraizado es una mayor

presencia de Actinobacterias y Proteobacterias en el enraizado, así como una disminución de los filos Acidobacteria, Verrucomicrobia y Gemmatimonadetes, respecto al no enraizado (Berg *et al.* 2014).

Dada la importancia de los microorganismos en la agricultura, explorar el efecto de las prácticas agrícolas sobre la diversidad y la estructura microbiana sirve para tener un mejor entendimiento de los procesos ecosistémicos. Para esto, las tecnologías de secuenciación masiva presentan grandes oportunidades ya que permiten detectar una gran proporción de microorganismos cultivables y no cultivables. El secuenciamiento de amplicones, en este caso 16s rDNA e ITS2, permite la obtención de Amplicon Sequence Variant, que son secuencias de ADN únicas que se distinguen entre sí por un único cambio de nucleótidos. Estos se utilizan para clasificar grupos de especies encontrando variaciones biológicas y ambientales para finalmente determinar patrones ecológicos (Callahan *et al.* 2017).

Para el estudio de microorganismos se han desarrollado métodos dependientes e independientes del cultivo de microorganismos (Hinsu *et al.* 2021). Los métodos dependientes de cultivo son empleados para investigar los microorganismos viables y cultivables presentes en una muestra. Sin embargo, estos métodos tienen sus desventajas debido a que menos del 0,1% de los microorganismos pueden ser cultivados e identificados en condiciones de laboratorio. Por otra parte, los métodos independientes de cultivo que se basan en la secuenciación de nueva generación (NGS) como la metagenómica y la metataxonómica se han convertido en herramientas útiles para la detección e identificación de comunidades presentes en los suelos, siempre que la eficiencia de la amplificación sea lo suficientemente alta (Liu *et al.* 2020).

Se ha descrito que en un suelo rizosférico típico hay hasta 10⁹ células por gramo, que comprende hasta 10⁶ taxones microbianos (Bakker *et al.* 2013). El aumento del número y las actividades microbianas en la rizosfera se debe principalmente a la liberación de grandes cantidades de carbono orgánico por parte de las raíces de

las plantas.

Se ha descrito que, en la rizosfera, existe una gran cantidad y variedad de géneros bacterianos. El mayor número de bacterias ocurre en la profundidad de arado del suelo cultivable a una profundidad de hasta ~30 cm, en capas más profundas, su número se reduce gradualmente (Tang *et al.* 2022).

En Colombia, han sido varios los estudios realizados sobre la comunidad bacteriana cultivable presente en suelos. Por ejemplo, Bravo *et al.* (2018) aislaron ciento veintinueve bacterias de suelos agrícolas en 26 fincas. De ellos, 77 eran Grampositivos y 47 Gramnegativos. Los morfotipos más abundantes con capacidad para reproductiva fueron Gramnegativos pertenecientes al filo Proteobacteria (90%) y casi la mitad de ellos mostraron capacidad para fijar nitrógeno, solubilizar fosfatos y degradar celulosa.

La diversidad microbiana comprende tres niveles de estudio de la diversidad biológica: diversidad genética dentro de las especies, número de especies y la diversidad comunitaria a nivel de ecosistema (ecológica). El término diversidad de especies está constituido principalmente por dos componentes, el primero de ellos hace referencia al número total de especies presentes en un ecosistema dado (riqueza de especies) y el segundo a la distribución de los individuos entre estas especies (uniformidad o equidad de especies) (Hermans *et al.* 2020).

La metagenómica ha sido aplicada en varios estudios de suelos, las comunidades bacterianas son un componente importante del suelo que se ve afectado por diversos motivos. Prácticas agrícolas afectan significativamente la diversidad y composición microbiana del suelo. Por ejemplo, el porcentaje de abundancia de algunos filos bacterianos variaba con relación a la concentración de nutrientes presentes en el suelo, observando un aumento en la abundancia del filo Actinobacteria y una disminución en los filos Proteobacteria, Verrucomicrobia y Nitrospirae (Sun *et al.* 2022).

2.1.3 Microbiomas asociados al cultivo de café en Ecuador

Un estudio realizada en la zona insular de las Galápagos en cultivos de café comercial encontró poblaciones de *Trichoderma* spp., *Glioccephalotrichum* sp., y *Aspergillus* spp; encontrando dificultades para determinar la especie correspondiente mediante este método, debido a que los aislamientos presentan diferencias mínimas al nivel morfológico (Masaquiza 2019).

El análisis metagenómico permitió la identificación de 14 géneros correspondientes al grupo bacteria *Gluconobacter*, *Leuconostoc*, *Acetobacter*, *Frateuria*, *Sphingobacterium*, *Tatumella*, *Lactobacillus*, *Weissella*, *Pseudomonas*, *Methylobacterium*, *Novosphingobium*, *Mycobacterium*, *Escherichia*, *Stenotrophomonas* y 6 géneros correspondientes al grupo fungi: *Hanseniaspora*, *Pichia*, *Starmerella*, *Lachancea*, *Penicillium* y *Fusarium* (Pérez 2022).

En las zonas de estudio como Loja y Chaguarpamba, las condiciones climáticas, la asociación con especies vegetales y el manejo agronómico de los cultivos determinaron la presencia del género *Acaulospora* y *Glomus* en lugares que presentan vegetación asociada a los cultivos de café con hábitos de crecimiento similares. A su vez, la diversidad de morfotipos y el número de esporas registrado en cada zona, puede guardar estrecha relación con la diversidad vegetal asociada al cultivo de café (Urgiles *et al.* 2020).

En estudios realizados en la rizosfera de suelos cafetaleros, además de los hongos, se reportó la presencia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV o PGPR por sus siglas en inglés), estas también cumplen un rol fundamental en el desarrollo de las plantas. Algunos de los géneros encontrados fueron: *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Serratia* (Urgiles *et al.* 2023).

En esta investigación se caracterizaron a nivel morfológico las especies

endomicorrícicas asociadas con cafetos (*C. arabica* L.) de la variedad Typica que presentaban signos de infección con roya (*H. vastatrix*), así como en las que éstos no eran visibles. Se encontró que los géneros *Rhizophagus* y *Acaulospora* predominan en la composición de los consorcios, siendo este primero el más frecuente en plantas de café sanas (Herrera *et al.* 2019).

En los últimos años, el análisis metagenómico ha permitido estudiar comunidades de microorganismos directamente en sus entornos naturales, evitando la necesidad de aislarlos y cultivarlos en laboratorio (Lapidus y Korobeynikov, 2021). Diversas investigaciones basadas en técnicas moleculares demostraron la presencia de levaduras como: *Candida parapsilosis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia guilliermondii* y *Hanseniaspora opuntiae* (Evangelista *et al.* 2014).

Además de los hongos, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV o PGPR por sus siglas en inglés) también cumplen un rol fundamental en el desarrollo de las plantas. Algunos de los géneros encontrados en trabajos de biomas realizados en cultivos de café agroforestal son: *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Serratia* (Delgado, 2019).

Estudios previos realizados en cafetales de la zona de Loja han demostrado que la diversidad y la composición de la comunidad de hongos epífitos y endofíticos de la filósfera son diferentes. Sin embargo, entre los géneros encontrados frecuentemente en la filósfera se encuentran: *Fusarium* sp., *Curvularia* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Epicoccum* sp., y *Penicillium* sp. (Gomes *et al.* 2018).

Existen numerosas investigaciones en la zona de Imbabura en café de altura, que han demostrado la presencia de poblaciones constantes de microorganismos en los suelos plantados y de manejo agroecológico. Principalmente, los hongos de

los géneros *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Coniothyrium* y *Candida*, y las bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus* y *Agrobacterium* son los más reportados (Serrano & Galindo, 2007).

En total se percibieron 33 colonias diferentes, siendo el manejo agroecológico el que presentó mayor diversidad micótica representado el 52% de las especies descritas. En este sentido, la parcela que mostró mayor diversidad de colonia de hongos corresponde a las parcelas de conservación de suelos de café, presentando ocho colonias que varían en morfológicamente entre sí. Para el caso de bacterias principalmente se observó Cocos, Bacilos y Espirilo, tanto del grupo gran positivo como gran negativo (Bobadilla 2022).

2.2. Marco Metodológico

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó métodos de investigación cualitativos y cuantitativos. Las técnicas utilizadas fueron métodos de recolección de datos, selección de obras y análisis de información, estas se basaron en la revisión de registros de manera muy detallada y con parámetros descriptivos.

Toda la información fue validada de citas con autores reales y demostrables, con esto se buscó información de bibliotecas virtuales, libros actualizados, revistas, artículos, ponencias, congresos, páginas web y materiales bibliográficos de carácter científico que contribuyan al avance de esta indagación documental.

2.3. Resultados

En Ecuador aun es poco conocido o en muchos casos incipiente, el estudio de los microbiomas de suelos con fines de uso agrícola. Esto se debe de cierta manera a la poca formación de los investigadores en el área de la microbiología de suelos, el estudio realizado demuestra que falta mucho desarrollo en esta área de la edafología a nivel local.

La revisión realizada detalla con dificultad la escasez de trabajos académicos de relevancia, que indiquen en medida, las diferentes conformaciones de ellos microbiomas edáficos y la importancia de estos en la producción agropecuaria. En muchos casos estos estudios son aun menos precisos debido a la dificultad que se encuentra, en el momento de identificación de los agentes microbianos presentes en las muestras estudiadas.

Los resultados encontrados en la información compilada muestran que en los sectores donde se realizó estudio de microbiomas edáficos, se encontró considerable variabilidad genética para los hongos, bacterias y otros microorganismos. Es evidente que existen agrupaciones por preferencia de organismos que están mejor adaptada a ciertas particularidades del entorno en el que habitan para la mayoría de los grupos. Aun hoy, es evidente que existen poblaciones en los aislamientos sin identificación que aparentemente están más relacionados con Actinomicetos.

En el país existen dos puntos marcados de producción cafetera, la región amazónica y costa. En general la región amazónica presenta café de tipo comercial como robusta y algo de arábigo. Sin embargo, en la región costa se encuentra mayor cantidad de café de calidad gourmet tipo arábigo en especial zonas como Zaruma y Jipijapa. De igual manera en la zonas norte y sur de la región andina en la actualidad es común encontrar café de este tipo.

En los microbiomas no hay datos precisos por falta de estudios mas detallados, sin embargo, es muy común la presencia de biomas diversos en la regiones costa y sierra, siendo estamos mas deficientes en la zona amazónica. En este sentido, en la región amazónica es más común encontrar bacterias acidulantes, mientras en las regiones costa y sierra la presencia de hongos, actino bacterias y bacterias asimiladoras es muy común.

Los resultados indica que en las plantaciones cafeteras muestreadas están

conformados por cinco mayores géneros: Bacterias fototrópicas o fotosintéticas (*Rhodopseudomana* spp), Bacterias ácido-lácteas (*Lactobacillus* spp), Levaduras (*Saccharomyces* spp), Actinomicetos, Hongos de Fermentación-Enzimas. De estos se establecieron 223 cepas puras de microorganismos (130 hongos y 93 bacterias).

Además, fue evidente la presencia de: *Cándida*, *Pichia*, *Hanseniaspora*, *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Coniothyrium*; rizobacterias activas (*Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Arthrobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Serratia*). De igual manera hongos epifitos y endofíticos como: *Fusarium*, *Curvularia*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum* y *Penicillium*; y las bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus* y *Agrobacterium*.

En general las especies más comunes encontradas en los diversos microbiomas cafeteros en Ecuador son: *Glomus*, *Acualospora* y *Rhizophagus* como hongos micorrízicos; *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Alternaria* en el grupo hongos; *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Clostridium* en el grupo actinomicetos; *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus* y *Agrobacterium* en el grupo bacterias.

2.4. Discusión de Resultados

El estudio muestra que, pese a las limitaciones encontradas en la descripción de microbiomas, los suelos principalmente aquellos destinados a la producción de café muestran una diversidad microbial adecuado. Esto es confirmado por Gomes *et al.* (2018) quienes en estudios previos realizados en cafetales de la zona de Loja han demostrado que la diversidad y la composición de la comunidad de hongos epifitos y endofíticos de la filósfera son diferentes.

De la misma manera otras investigaciones en un sector diferente de la sierra ecuatoriana muestran poblaciones estables de esta masa microbial, en plantaciones manejadas con menos aportación química. Esto es lo encontraron Serrano y

Galindo (2007) en la zona de Imbabura en café de altura, en la cual han demostrado la presencia de poblaciones de microorganismos en los suelos plantados y con manejo agroecológico.

Las investigaciones determinan la presencia de bacterias de los grupos grampositivo y gran negativo; hongos, actinomicetos y cianobacterias. Eso concuerda con lo encontrado por Bravo *et al.* (2018) quienes aislaron ciento veintinueve bacterias de suelos agrícolas en 26 fincas. Además, los morfotipos más abundantes fueron Proteobacteria (90%) y casi la mitad de ellos mostraron capacidad para fijar nitrógeno, solubilizar fosfatos y degradar celulosa.

Entre los organismos benéficos más encontrados en las evaluaciones fueron: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, especies de *Streptomyces* y micorrizas. Esto es corroborado por Bobadilla (2022) quien estudio 33 colonias diferentes, siendo aquellas provenientes de sistemas de manejo agroecológico las que presentaron mayor diversidad micótica representado el 52% de las especies descritas. En este sentido mayor diversidad de colonias de hongos y bacterias principalmente se Cocos, Bacilos y Espirilo, tanto del grupo gran positivo como gran negativo.

3. DESARROLLO

3.1. Conclusiones

En función de lo encontrado en la investigación se concluye:

1. En el Ecuador las provincia con mayor extensión del cultivo son: Manabí, Sucumbíos, Orellana, Loja y Bolívar. En el resto del país las plantaciones comerciales son de escaso hectareaje.
2. El país cuenta con zona altamente especializada en café siendo las más importantes: Loja (Loja), Jipijapa (Manabí), Zaruma (El Oro) e Intag (Imbabura).
3. Existen pocas investigaciones que apuntan a la determinación de microbiomas en sistemas cafetaleros del Ecuador.
4. La presencia de microbiomas diversos en la regiones costa y sierra, es más común, siendo estamos menos diversos en la zona amazónica. En este sentido, en la región amazónica es más común encontrar bacterias acidulantes, mientras en las regiones costa y sierra la presencia de hongos, actinobacterias y bacterias asimiladoras es frecuente.
5. La mayoría de las investigaciones sobre microbiomas de café se detallan para las provincias de la región sierra en especial: Imbabura, Loja y Carchi. Sin embargo, el estudio más completo esta reportado para Galápagos. En la costa los trabajos son muy reducidos.
6. Las poblaciones microbiales reportadas sobre todos en sistemas de cultivo de café agroforestal son mayores a las reportadas en sistemas convencionales en la zona de Loja.
7. Los géneros más comunes encontradas en los diversos microbiomas cafeteros en Ecuador son: *Glomus*, *Acualospora*, *Rhizophagus*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus* y *Agrobacterium*.

3.2. Recomendaciones

1. Establecer zonas adecuadas para incrementar la siembra de plantaciones de café.
2. Continuar con investigaciones que identifiquen microbiomas de cultivos, tanto de manera benéfica como patogénicas de los organismos que allí compiten.
3. Crear bancos de conservación de microbiomas con fines de reincorporación de estos en los suelos cafeteros degradados.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo, A. 2018. Análisis del microbioma funcional del suelo para mejorar la salud del viñedo. En memorias 11^a edición de Enoforum. Zaragoza, España. 14-16p.
- Akdi, K., Kamah, S., Castillo, S. 2019. Microbioma vegetal: nuevo paradigma para optimizar la eficiencia nutricional y mitigar el estrés abiótico. *Revista Phytoma*, 309(2):54-56.
- Baigorri, R. 2019. Microbiota del suelo, la gran olvidada en fertilización. *Revista Microbioma*, 2(1):27-29.
- Bakker, P., Berendsen, R., Doornbos, R., Wintermans, P., & Pieterse, C. (2013). The rhizosphere revisited: root microbiomics. *Frontiers in plant science*, 4(2):165-178.
- Berg, G., Eberl, L., & Hartmann, A. 2005. The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria. *Environmental Microbiology*, 7(11):1673-1685. doi:10.1111/j.1462-2920.2005.00891.x
- Berg, G., Grube, M., Schloter, M., Smalla K. 2014. Unraveling the plant microbiome: Looking back and future perspectives. *Front Microbiol*, 5(06):148-156. doi:10.3389/fmicb.2014.00148
- Bravo, D., Pardo-Díaz, S., Benavides-Erazo, J., Rengifo-Estrada, G., Braissant, O., & Leon-Moreno, C. 2018. Cadmium and cadmium-tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. *Journal of applied microbiology*, 124(5):1175-1194.
- Callahan, B. J., McMurdie, P., Holmes, S. P. 2017. Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. *The ISME journal* 11(12):2639-2643. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.119>
- Carrasquilla, M. 2020. El microbioma del agroecosistema y su importancia en la agricultura sostenible. Tesis Doctorado en Microbiología, Universidad de Barcelona. España. 294p.

Castellanos, N. 2022. ¿Por qué Ecuador importa tanto café? (en línea, sitio web). Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en <https://perfectdailygrind.com/es/2022/03/07/por-que-ecuador-importa-tanto-cafe/>.

Chávez, J. 2020. ¿Qué es el microbioma del suelo? (en línea, sitio web). Consultado: 6 ago. 2023. Disponible en <https://blog.cambiagro.com/2021/12/03/que-es-el-microbioma-del-suelo/>

COFENAC. 2015. Orígenes del café (en línea, sitio web). Consultado: 24 oct. 2023. Disponible en <https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-22ecuador.pdf>

Delgado, M, 2019. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal (en línea). Orius Biotech USA. Recuperado el 7 de abril de 2022 en <https://www.oriusbiotech.com>.

Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. 2020. The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2):79-86.

Evangelista, S., Ferreira, C., Pedrozo, M.G., De Souza, C., Marques, A., Ferreira, W. & Freitas, R. 2014. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeast strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*, 61(2):183–195.

Fertiberia. 2022. Suelo y Microbioma: el dúo dinámico (en línea, sitio web). Consultado: 5 ago. 2023. Disponible en <https://www.fertiberia.com/suelo-y-microbioma-el-duo-dinamico/>

Gómez-Acevedo, D., & Pulido-Delgado, L. 2019. Hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma harzianum*: alternativas ecológicas para la producción de posturas de café (*Coffea arabica* L.) en el estado Táchira, Venezuela. *Universidad y Ciencia*, 8(2):12–28.

Gorka, E., Bonini, P., Cirino, V., Colla, G., Ruzzi, M. 2019. Influencia del microbioma del suelo en el rendimiento del cultivo de pimiento. *Revista Phytoma*, 309(2):60-62.

Guerrero, B. 2022. Investigan la microbiota de los suelos agrícolas de las Escuelas de Campo de Producción para el Bienestar (en línea, sitio web). En INIFAP web site. Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en <https://www.gob.mx/inifap/articulos/investigan-la-microbiota-de-los-suelos-agricolas-de-las-escuelas-de-campo-de-produccion-para-el-bienestar#:~:text=En%20la%20microbiota%20del%20suelo,pr%C3%A1ctica%20de%20una%20agricultura%20sostenible>.

Hermans, S., Buckley, H., Case, B., Curran-Cournane, F., Taylor, M., & Lear, G. 2020. Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality. *Microbiome*, 8(1):1–13.

Herrera, S., Castro, R., Perez, J., Valdes, E. 2021. Diversidad endomicorrícica en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infestadas con roya (*Hemileia vastatrix*). *Nova Scientia*, 11(1):102-123. <https://doi.org/doi.org/10.21640/ns.v11i22.1642>.

Hinsu, A., Dumadiya, A., Joshi, A., Kotadiya, R., Andharia, K., Koringa, P., & Kothari, R. 2021. To culture or not to culture: a snapshot of culture-dependent and culture independent bacterial diversity from peanut rhizosphere. *Peer J*, 9(2):120-135.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – INIFAP. 2021. Investigan la microbiota de los suelos agrícolas de las Escuelas de Campo de Producción para el Bienestar (en línea, sitio web). Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en <https://www.gob.mx/inifap/articulos/investigan-la-microbiota-de-los-suelos-agricolas-de-las-escuelas-de-campo-de-produccion-para-el-bienestar#:~:text=En%20la%20microbiota%20del%20suelo,pr%C3%A1ctica%20de%20una%20agricultura%20sostenible>.

Jara, H. 2022. Las exportaciones de café ecuatoriano crecieron en 2022 (en línea, sitio web). Consultado: 23 oct. 2023. Disponible en <https://infomercado.net/ecuador/las-exportaciones-de-cafe-ecuatoriano-crecieron-en-2022/>

Lapidus, A. L & Korobeynikov, A. I. 2021. Metagenomic Data Assembly – The Way of Decoding Unknown Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 12, 24(2):137-

143.

Lim, J. W., Park, T., Tong, Y. W., & Yu, Z. 2020. The microbiome driving anaerobic digestion and microbial analysis. *Advances in Bioenergy*, 5(2)45-54.

Liu, H., Wang, C., Xie, Y., Luo, Y., Sheng, M., Xu, F., & Xu, H. 2020. Ecological responses of soil microbial abundance and diversity to cadmium and soil properties in farmland around an enterprise-intensive region. *Journal of hazardous materials*, 392(2):122-147.

Lundberg, D. S., Lebeis, S. L., Paredes, S. H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., Dangl, J. L. 2012. Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature* 488(2):86-90. doi:10.1038/nature11237.

Masaquiza, C. 2019. Caracterización morfológica y molecular de hongos asociados a la rizósfera de plantas de café en la isla Santa Cruz–Galápagos. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 99p.

Ministerio de Relaciones Exteriores del Ecuador - MRE. 2023. República del Ecuador. Oficina de información diplomática, ficha país. Dirección General de Comunicación e Información Diplomática. Quito, Ecuador. 11p.

Morales, M., Locoli, G., Villamil, M., Zabaloy, M. 2022. Efecto de los cultivos de cobertura invernales sobre el microbioma del suelo: revisión sistemática de la literatura. *Revista Argentina de Microbiología*, 54(1):57-70. ISSN: 0325-7541 <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.02.008>

Nash, M. 2022. The 201 most (& Least) biodiverse countries (en línea, sitio web). Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en <https://theswiftest.com/biodiversity-index/>

Organización Internacional del Café (OIC) – Asociación Nacional de cultivadores de Café (ANECAFE). 2022. *Café en Ecuador*. Editorial Feriva, Cali. 77p.

Paolinelli, M., Martínez, L., García, S., Diaz, C., Belmonte, M., Ahumada, G., Pirrone, M., Escoriaza, M., Farber, M., González, M., Lerena, M., Combina, M., Mercado, L. 2021. Explorando el microbioma del suelo para la detección de indicadores taxonómicos del impacto ecológico generado por el cultivo de vid. V

Congreso Argentino de Microbiología Agrícola y Ambiental, Libro de Resúmenes. La Plata, Argentina. 21-31p.

Pérez, J. 2022. Caracterización biológica y química del fermentado espontáneo del café (*Coffea arabica*) en amazonas. Tesis Magister en desarrollo, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú. 94p.

Precisagro. 2023. Microbioma del suelo (en línea, sitio web). Consultado: 6 ago. 2023. Disponible en <https://precisagro.com.ec/microbioma-del-suelo/>

Rikolto. 2023. Café ecuatoriano, aromatizando la economía nacional (en línea, sitio web). Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en <https://latinoamerica.rikolto.org/es/project/cafe-ecuatoriano-aromatizando-la-economia-nacional>

Santistevan, M; Julca, A; Borjas, R; Tuesta, O. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada* 15(2): 187-192.

Sembralia. 2023. Microbioma del suelo: la vida bajo la tierra (en línea, sitio web). Consultado: 6 jul. 2023. Disponible en [https://sembralia.com/blogs/blog/microbioma-del-suelo-la-vida-bajo-la-tierra#:~:text=El%20microbioma%20\(tambi%C3%A9n%20llamado%20microbiota,que%20hay%20bajo%20la%20tierra.](https://sembralia.com/blogs/blog/microbioma-del-suelo-la-vida-bajo-la-tierra#:~:text=El%20microbioma%20(tambi%C3%A9n%20llamado%20microbiota,que%20hay%20bajo%20la%20tierra.)

Serrano Carreón, L. & Galindo Fentanes, E. 2007. Control biológico de organismos fitopatógenos. *Ciencia*, 14(3): 77-88.

Sharma, D., Singh, D., Manzoor, M., Meena, K., Sharma, V., Butaney, K., & Marbaniang, R. G. 2020. Realizing Bioremediation Through Metagenomics: A Technical Review. *Metagenomics: Techniques, Applications, Challenges and Opportunities*, 23(2):91–107.

Sun, H., Shao, C., Jin, Q., Li, M., Zhang, Z., Liang, H., Lei, H., Qian, J. & Zhang, Y. 2022. Effects of cadmium contamination on bacterial and fungal communities in *Panax ginseng*-growing soil. *BMC microbiology*, 22(1):1-14.

Tang, L., Feng, G., Xie, T., Wang, X., Bai, J., Zhao, H., Wei, W., Wang, M., & Zhao,

Y. 2018. Metagenomic analysis of microbial community and function involved in Cd contaminated soil. *BMC Microbiology*, 18(1):11-19.

Urgiles, N; Loján, P; Ávila, M; Benavidez, C; Hurtado, L; Livisaca, F; Guaya, P; Villmagua, M; Poma, L; Quichimbo, L. 2023. Microorganismos benéficos con potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo. *Revista CEDAMAZ*, 13(1):103–113. DOI: 10.54753/cedamaz.v13i1.1310. e-ISSN:1390-5902

Urgiles, N; Guachanamá, J; Granda, I; Robles, A; Encalada, M; Loján, P; Ávila, M; Hurtado, L; Poma, N; Collahuazo, Y; Araujo, S. 2020. Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Bosques Latitud Cero*, 10(2):137–145. ISSN: 2528-7818.

ANEXOS

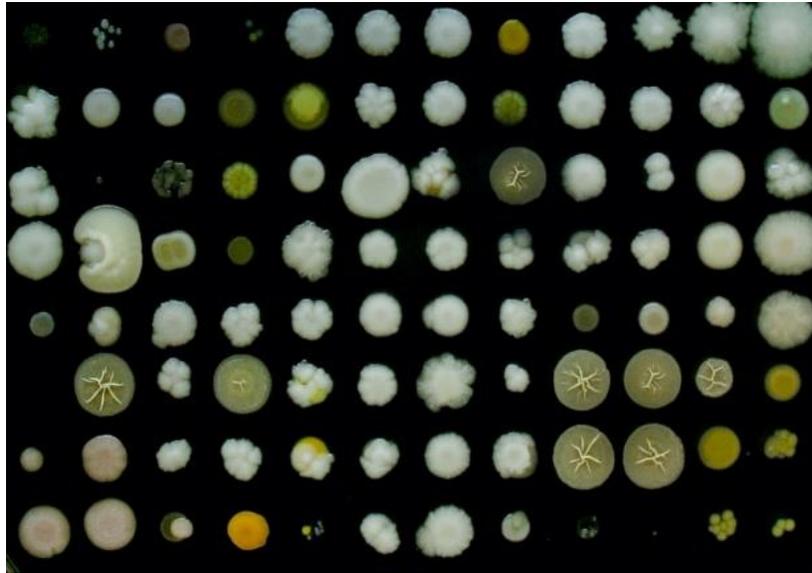


Fig 1. Organismos del microbioma de café

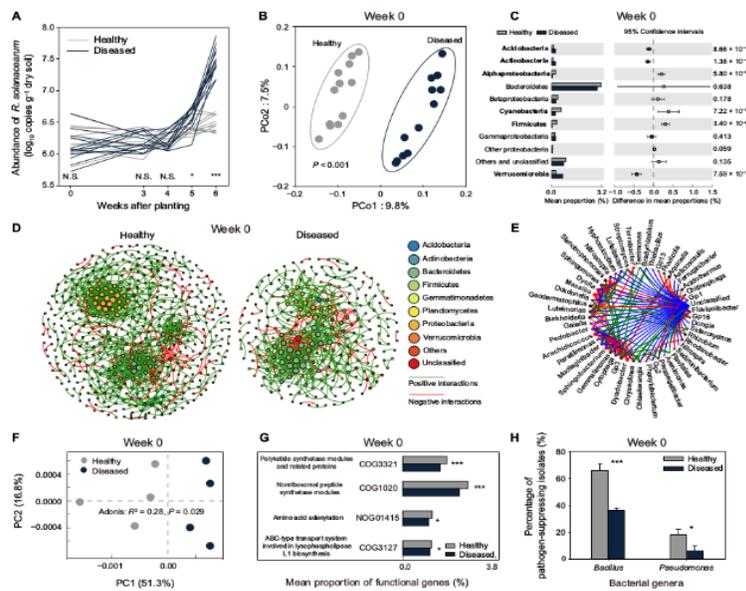


Fig 2. Identificación de biomás de café

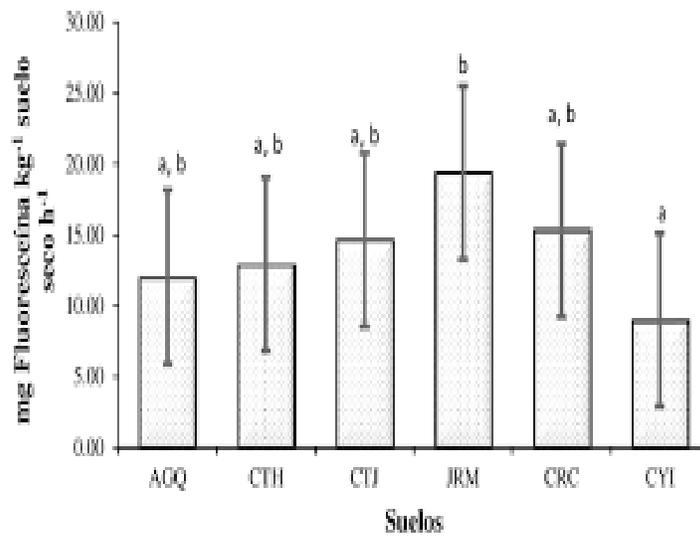


Fig 3. Actividad Microbiana en café



Fig 4. Crecimiento de microbiano en café

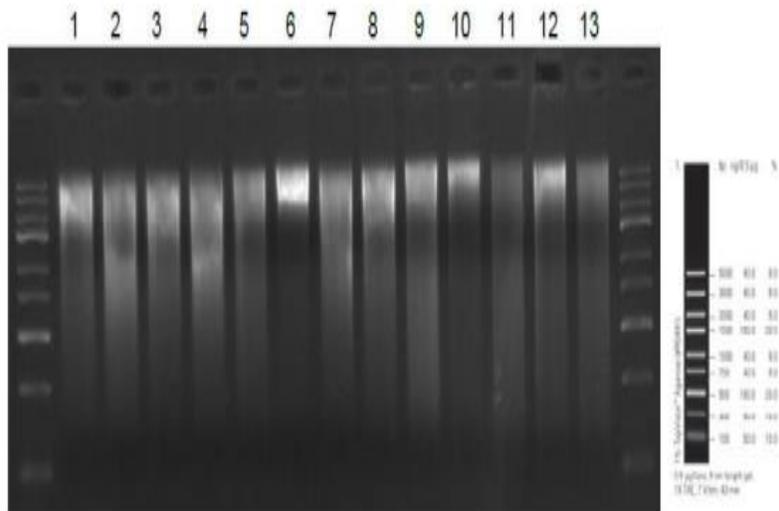


Fig 5. Electroforesis en agarosa

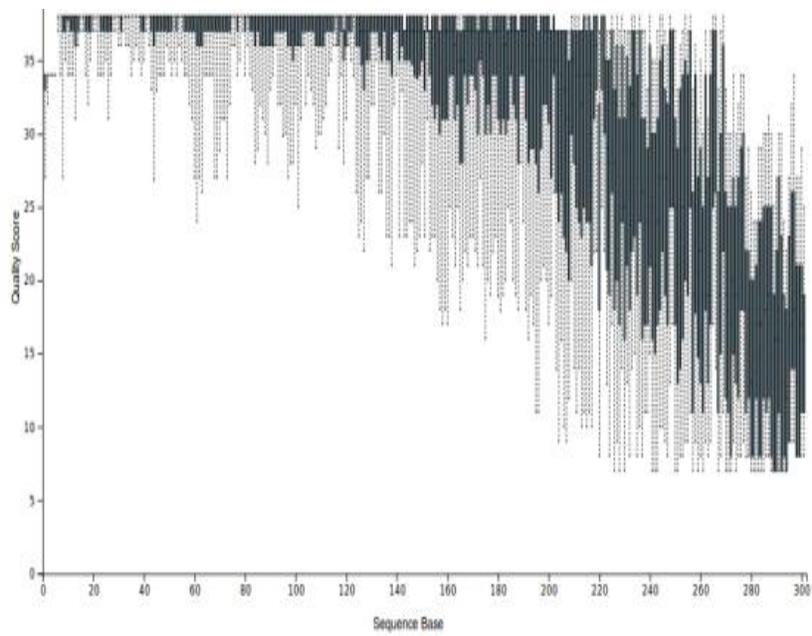


Fig 6. Calidad de secuenciación microbiana