



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**"ESTADO FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN
MANGLARALTO Y COLONCHE, PROVINCIA DE SANTA
ELENA"**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Nohelia Denisse Gómez Tejena

LA LIBERTAD, JULIO 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**"ESTADO FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL
SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN
MANGLARALTO Y COLONCHE, PROVINCIA DE SANTA
ELENA"**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Nohelia Denisse Gómez Tejena

Tutor: Blgo. Javier Soto Valenzuela, PhD.

LA LIBERTAD, JULIO 2024

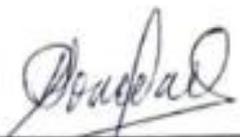
TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **NOHELIA DENISSE GÓMEZ TEJENA** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 16/07/2024.



Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Daniel Ponce de León, PhD.
PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Javier Soto Valenzuela, PhD.
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Washington Perero Vera Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero darle las gracias a Dios por darme la sabiduría y el entendimiento, por la fortaleza que me dio en cada proceso de mi carrera, que la gloria, la honra y el honor sean para él. A mis padres Miriam Tejena y Ángel Gómez, por creer en mí, por motivarme a continuar con mis estudios, por ser los pilares fundamentales para culminar mi carrera Universitaria, por guiarme y enseñarme a ser mejor cada día.

Extiendo mi más sincero agradecimiento por la dedicación, las enseñanzas impartidas, la orientación brindada y la aclaración de dudas que surgieron durante mi investigación experimental a mi tutor, Blgo. Javier Soto Valenzuela, porque como profesor creyó en mis sueños y proyectos junto a su esposa Karina, por los consejos que me brindaron cuando más lo necesitaba, gracias por no dejarme desmayar.

A mis compañeros y futuros colegas Erika, Narcisa, Maybe, Adrián y Anthony quienes me brindaron su ayuda incondicionalmente de manera desinteresada, por el apoyo y compañía en cada momento.

Culmino con gran satisfacción mi investigación, un logro que no hubiera sido posible sin el apoyo y la formación de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Agradezco profundamente a los docentes por la guía y dedicación, y a toda la institución por haberme abierto las puertas al conocimiento y el desarrollo personal.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme sabiduría, entendimiento y fortaleza.

A mis padres Miriam Tejena y Ángel Gómez quienes han sido mi fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor y enseñanza han sido pilares fundamentales en mi camino hacia el éxito. Este logro es un reflejo de su legado y de los valores que me han inculcado.

A mis 6 hermanos quienes son mi fuente de inspiración, motivación y guía, y les agradezco profundamente por estar siempre presentes en mi camino.

A todas las personas que me apoyaron y ayudaron incondicionalmente en este proceso universitario en especial a la Sra. Martha, Susana, Mariella y al Sr Ronald.

Por último, de todos me llevo un grato recuerdo y finalmente ahora sí puedo decirles colegas.

RESUMEN

El café de Ecuador es uno de los más destacados mundialmente, por su óptima ubicación geográfica y las potencialidades de su cultivo, es el único país que exporta todas las clases de café arábigo: lavado, natural y robusta, cultivadas en todas sus regiones. Por lo cual, este estudio propone evaluar el estado físico, químico y microbiológico del suelo en dos zonas cafetaleras de la provincia de Santa Elena. Los análisis físico, químicos y microbiológico se realizaron mediante absorción atómica (servicios de análisis en INIAP) y con diluciones seriadas de 10^{-2} a 10^{-5} , respectivamente. En sendos muestreos de la rizosfera dos sitios de cultivo de café de las variedades Robusta y Caturra, ubicados en los centros de apoyo de Manglaralto y Colonche de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Los resultados indican que las variedades Robusta y Caturra presentan propiedades similares en pH, textura y niveles de P, mientras que el suelo de la variedad Robusta de Colonche tiene menor cantidad de materia orgánica y niveles altos de P. En contraste, las variedades Robusta y Caturra de Manglaralto, tienen niveles más altos de P, K, Ca y Mg, respecto a la variedad Robusta Colonche. Se identificó la presencia de los hongos *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Verticillium* sp. en las variedades Robusta y Caturra Manglaralto, mientras que en la variedad Robusta Colonche sólo se aisló el género *Trichoderma* sp.

Palabras claves: Análisis físico, químico y microbiológico, diluciones seriadas, variedades, UFC/g suelo seco.

ABSTRACT

Ecuadorian coffee is one of the most outstanding coffees worldwide. Due to its optimal geographical location and cultivation potential, it is the only country that exports all classes of Arabica coffee: washed, natural and robusta, grown in all its regions. Therefore, this study proposes to evaluate the physical, chemical and microbiological status of the soil in two coffee-growing areas of the Santa Elena province. The physical, chemical and microbiological analyzes were carried out by atomic absorption (analysis services at INIAP) and with serial dilutions, 10^{-2} a 10^{-5} respectively. In both samples from the rhizosphere of two coffee growing sites of the Robusta and Caturra varieties, located in the Manglaralto and Colonche support centers of the Santa Elena State Peninsula University. The results indicate that the Robusta and Caturra varieties have similar properties in pH, texture and P levels, while the soil of the Robusta variety of Colonche has less organic matter and high P levels. In contrast, the Robusta and Caturra varieties of Manglaralto have higher levels of P, K, Ca and Mg compared to the Robusta Colonche variety. The presence of the fungi *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. and *Verticillium* sp. in the Robusta and Caturra Manglaralto varieties, while *Trichoderma* sp. was found in the Robusta Colonche variety.

Keywords: Physical, chemical and microbiological analysis, serial dilutions, varieties, CFU/g dry soil.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado "ESTADO FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN MANGLARALTO Y COLONCHE, PROVINCIA DE SANTA ELENA" y elaborado por **Nohelia Denisse Gómez Tejena**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

- "El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nohelia Denisse Gómez Tejena', is written over three horizontal lines.

Firma del estudiante

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Problema Científico | 2 |
| Objetivos | 2 |
| Objetivo General: | 2 |
| Objetivos Específicos: | 2 |
| Hipótesis: | 2 |
| CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 1.1 Origen del café | 3 |
| 1.2 El café en Ecuador | 3 |
| 1.3 Clasificación taxonómica | 3 |
| 1.4 Descripción botánica | 4 |
| 1.4.1 Sistema radicular | 4 |
| 1.4.2 Tallo | 4 |
| 1.4.3 Hojas..... | 4 |
| 1.4.4 Flores | 5 |
| 1.4.5 Fruto | 5 |
| 1.4.6 Semilla..... | 5 |
| 1.5 Variedades | 5 |
| 1.5.1 Variedad Robusta (<i>C. Canephora</i>)..... | 5 |
| 1.5.2 Variedad Caturra | 6 |
| 1.6 Requerimientos edafoclimáticos | 6 |
| 1.6.1 Temperatura | 6 |
| 1.6.2 Precipitación..... | 6 |
| 1.6.3 Humedad relativa | 7 |
| 1.7 Requerimientos nutricionales | 7 |
| 1.7.1 <i>Coffea Canephora</i> | 7 |
| 1.7.2 <i>Coffea Caturra</i> | 7 |
| 1.8 Sistemas de manejo de cultivos de café | 7 |
| 1.8.1 Sistemas agroforestales | 7 |
| 1.8.2 Sistema de monocultura sin sombra..... | 8 |
| 1.8.3 Sistemas convencionales o bajo sombra | 8 |
| 1.8.4 Sistemas agroecológicos | 8 |
| 1.9 Efectos del sistema de manejo en las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo | 8 |
| 1.9.1 Condiciones físicas del suelo | 8 |
| 1.9.2 Condiciones químicas del suelo | 9 |
| 1.10 Indicadores físicos, químicos y microbiológico del suelo | 9 |
| 1.10.1 Indicadores físicos del suelo | 9 |
| 1.10.2 Indicadores químicos del suelo | 10 |
| 1.10.3 Los microorganismos del suelo..... | 10 |
| 1.10.4 Importancia de los microorganismos del suelo | 10 |
| 1.10.5 Hongos del suelo | 10 |
| 1.10.6 Hongos en el cultivo de café | 11 |
| 1.10.7 Bacterias en el cultivo de café..... | 11 |
| 1.11 Indicadores de la fertilidad del suelo | 12 |
| 1.11.1 Indicadores físicos..... | 12 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 1.11.2 | Indicadores químicos..... | 13 |
| 1.11.3 | Indicadores biológicos..... | 13 |
| CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | | 15 |
| 2.1 | Caracterización del área | 15 |
| 2.2 | Condiciones edafoclimáticas de Manglaralto y Colonche | 15 |
| 2.2.1 | Clima en Manglaralto..... | 15 |
| 2.2.2 | Clima en Colonche | 16 |
| 2.2.3 | Suelo en Manglaralto | 16 |
| 2.2.4 | Suelo en Colonche..... | 16 |
| 2.3 | Condiciones de manejo agronómico | 16 |
| 2.3.1 | Fertilización del cultivo..... | 16 |
| 2.3.2 | Control malezas..... | 17 |
| 2.3.3 | Riego | 17 |
| 2.4 | Material biológico y condiciones experimentales | 17 |
| 2.4.1 | Colección de datos | 17 |
| 2.5 | Materiales, equipos e insumos | 18 |
| 2.5.1 | Materiales en el campo..... | 18 |
| 2.5.2 | Materiales en el laboratorio..... | 18 |
| 2.5.3 | Equipos de laboratorio | 19 |
| 2.5.4 | Reactivos e insumos para medios de cultivo..... | 19 |
| 2.6 | Tipo de investigación | 19 |
| 2.7 | Condiciones o manejo del experimento | 19 |
| 2.7.1 | Recolección de muestras | 19 |
| 2.7.2 | Almacenamiento y conservación de las muestras | 20 |
| 2.7.3 | Preparación de muestras para aislar microorganismos | 20 |
| 2.7.4 | Esterilización de materiales..... | 20 |
| 2.7.5 | Preparación de diluciones..... | 20 |
| 2.7.6 | Procedimiento de preparación de medio de cultivo | 20 |
| 2.7.7 | Siembra de microorganismo en cajas Petri | 21 |
| 2.7.8 | Incubación para el crecimiento de hongos y bacterias..... | 22 |
| 2.7.9 | Identificación morfológica de hongos y bacterias en el microscopio | 22 |
| 2.8 | Parámetros por evaluar | 22 |
| 2.8.1 | Físicos, Químicos y Microbiológicos | 22 |
| 2.9 | Interpretación de los resultados | 22 |
| CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 23 |
| 3.1 | Análisis de suelo..... | 23 |
| 3.2 | Cuantificación de hongos rizosféricos en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra | 24 |
| 3.3 | Cuantificación de bacterias rizosféricas en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra | 26 |
| 3.4 | Identificación de hongos rizosféricos en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra | 28 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 30 |
| Conclusiones..... | | 30 |
| Recomendaciones..... | | 30 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 32 |
| ANEXOS | | 36 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café..... | 6 |
| Tabla 2. Factores climáticos del Centro de Apoyo Manglaralto establecidas por el INAMHI | 15 |
| Tabla 3. Factores climáticos de Colonche establecidas por el INAMHI..... | 16 |
| Tabla 4. Descripción del procesamiento analítico de datos | 17 |
| Tabla 5. Submuestras y muestras de suelo colectadas del cultivo de café | 19 |
| Tabla 6. Tratamientos y repeticiones de las muestras de suelo | 21 |
| Tabla 7. Resultado del análisis de suelo obtenidas en las parcelas de las variedades Robusta y Caturra | 23 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Fotografía satelital de las áreas de estudio Manglaralto y Colonche | 15 |
| Figura 2. | Promedios de la cuantificación de colonias de hongos UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra..... | 24 |
| Figura 3. | Promedios de de colonias de hongos rizosféricos UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra | 25 |
| Figura 4. | Promedios de la cuantificación de colonias de bacterias UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra..... | 26 |
| Figura 5. | Promedios de colonias de bacterias rizosféricas, pH y materia orgánica de las variedades Robusta y Caturra | 27 |
| Figura 6. | Microhongos aislados A, B <i>Corticium salmonicolor</i> , C, D <i>Penicillium</i> sp. en la dilución 10-2, E, F <i>Fusarium</i> sp en la dilución 10-4, G, H <i>Aspergillus</i> sp, I, J <i>Verticillium</i> sp. en la dilución 10-5, K, L <i>Penicillium</i> sp. en la dilución 10-3..... | 28 |
| Figura 7. | Microhongos aislados A, B <i>Penicillium</i> sp., C, D <i>Aspergillus</i> sp. en la dilución 10-4, E, F <i>Trichoderma</i> sp., G <i>Penicillium</i> sp. en la dilución 10-5 | 28 |
| Figura 8. | Microhongos aislados A, B <i>Verticillium</i> sp, C, D <i>Penicillium</i> sp., en la dilución 10-2, E, F <i>Marasmius</i> sp. en la dilución 10-5, G, H <i>Cladosporium</i> sp. en la dilución 10-2, I, J <i>Aspergillus</i> sp., K, L <i>Aspergillus</i> sp. en la dilución 10-3..... | 29 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1A.** Informe de análisis de suelo de las variedades Robusta y Caturra Manglaralto.
- Anexo 2A.** Informe de análisis de suelo de la variedad Robusta Colonche.
- Anexo 3A.** Tabla con los promedios UFC/g suelo seco de hongos por muestra.
- Anexo 4A.** Tabla con los promedios UFC/g suelo seco de bacterias por muestra.
- Anexo 5A.** Muestras de suelo Variedad Robusta y Caturra.
- Anexo 6A.** Reactivos para preparación de PDA y LMA.
- Anexo 7A.** Muestras madres 10-1 para la preparación de diluciones.
- Anexo 8A.** Preparación de diluciones 10-2, 10-3, 10-4 y 10-5.
- Anexo 9A.** Siembra de microorganismos en los medios de cultivos.
- Anexo 10A.** Incubación de muestras para la proliferación de microorganismos.
- Anexo 11A.** Conteo de UFC de hongos y bacterias.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el cultivo de café (*Coffea* spp.) se cultiva en una gran diversidad de climas y suelos, que cubre cerca de 221.528 hectáreas, con 105.271 unidades productivas en 20 provincias, desde altitudes cercanas a cero hasta los 2.000 msnm. El género *Coffea* presenta las variedades Arábica y Robusta que crecen bien en las zonas tropicales y subtropicales húmedas; los arábicos incluso en zonas templadas (INIAP, 1995).

El Ecuador posee una gran capacidad cafetera y es el único país que exporta todos los tipos de café arábigo lavado, arábigo natural y robusta; por su posición geográfica permite cosechar este producto en todas sus regiones y ser uno de los más cotizados a nivel mundial. El café arábigo está disponible desde marzo a octubre; mientras que, el robusta en los meses de junio a octubre, es un cultivo de gran importancia económica, el 68% corresponde a *Coffea arabica* y el 32% a *C. canephora* (Venegas *et al.*, 2018).

Para el manejo adecuado del cultivo, es fundamental conocer la morfología y fisiología del café; así como los factores de producción relacionados con el crecimiento y desarrollo vegetativo como altitud, latitud, temperatura, luz, humedad, precipitación, tipo y características del suelo y manejo agronómico (INIAP, 1993). Como cultivo perenne, el café posee una amplia y diversa cantidad de microorganismos benéficos en su rizosfera, vitales para satisfacer las necesidades de la planta (Prates *et al.*, 2021; Tahat *et al.*, 2020).

Dentro del manejo integrado de los cafetales, se debe considerar el manejo adecuado de la microbiología del suelo, ya que los microorganismos son responsables de la dinámica y transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos para una correcta nutrición de las plantas (Gómez y Pulido, 2019). La provincia de Santa Elena, por sus condiciones edafoclimáticas posee una producción cafetalera sostenida en Colonche (Lindao, 2016) y de alta productividad en Manglaralto (Arzube *et al.*, 2017). Así como también, la presencia de microorganismos (rizobacterias y microhongos), en la rizosfera de leguminosas forrajeras en la producción de otros cultivos reportados por Crespo y Julio (2012), Sánchez (2022) y Zamora (2023).

El análisis físico, químico y microbiológico permite al productor determinar la condición del suelo, disponibilidad de nutrientes y estimar una planificación de fertilización remediando condiciones y mejorar el rendimiento del suelo para obtener una mejor producción (Soto-Valenzuela *et al.*, 2024). El objetivo de este estudio es analizar el estado físico, químico y

microbiológico del suelo en el cultivo de café de las variedades Robusta y Caturra en Manglaralto y Colonche, para identificar posibles limitaciones o problemas que puedan afectar la productividad y calidad del café.

Problema Científico

¿Las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo a determinar en los cultivos de las variedades de café Robusta y Caturra, son aptas para el cultivo en dos sitios de producción?

Objetivos

Objetivo General:

- ❖ Evaluar el estado físico, químico y microbiológico del suelo en los cultivos de café de las variedades Robusta y Caturra en cultivares de las parroquias Manglaralto y Colonche.

Objetivos Específicos:

1. Describir los factores físicos, químicos y microbiológicos del suelo presentes de dos variedades de café.
2. Identificar tipos de microorganismos como bacterias y microhongos presentes en la rizosfera de las variedades de café Robusta y Caturra.
3. Estimar la probable relación de pH, materia orgánica y crecimiento microbiológico en las muestras de suelo de dos sitios de cultivo.

Hipótesis:

Existirán cambios en el estado físico, químico y microbiológico del suelo a determinar en el cultivo de café, variedades Robusta y Caturra en los dos sitios de producción.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Origen del café

Según ICO (2021), el café tiene su origen en la actual Etiopía y Sudán, África en estado silvestre llamado Arábica, en Yemen se lo cultivaba desde antes de Siglo XV, luego se extendió por todo el mundo árabe por ser quienes implantaron la costumbre de tomar café motivado por la prohibición del Islam de tomar alcohol y poco a poco se propagó por todo el mundo, siendo ellos los primeros en extraer los granos, tostarlos, molerlos y mezclarlos con agua caliente, el café en Norteamérica data de 1.668 y, pronto después de esa fecha, se abrieron establecimientos de café en Nueva York, Filadelfia, Boston y en algunas otras ciudades.

1.2 El café en Ecuador

Desde su introducción en 1.800, el café se ha convertido en un cultivo fundamental dentro de las exportaciones agrícolas del Ecuador, su importancia se acentuó durante la primera mitad del siglo XX, cuando se estableció como el principal producto de venta al exterior, durante este período, las exportaciones de café ecuatoriano a Europa alcanzaron niveles considerables, llegando a cifras de hasta dos millones de sacos, según Rikolto (2021). Las principales variedades arábicas cultivadas en el Ecuador son: Típica, Caturra, Bourbon, Pacas, Catuaí, Catimor y Sarchimor (Sánchez *et al.*, 2015).

1.3 Clasificación taxonómica

Según Pilatasig (2017), el café pertenece al género *Coffea* con aproximadamente 100 especies. No obstante, únicamente tres de estas se mencionan como cultivadas comercialmente destacándose las dos primeras en el siguiente orden: *Coffea arabica* L., *C. canephora* Pierrees - Froehner y por último la *C. liberica* Bull ex - Hiern. (Pilatasig, 2017).

TAXONOMÍA

| | |
|------------------|--|
| Reino: | Vegetal |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Dicotyledoneae |
| Subclase: | Asteridae |
| Orden: | Rubiales |
| Familia: | Rubiaceae |
| Género: | <i>Coffea</i> |
| Especie: | <i>arabica, canephora, liberica</i> L. |

(International Coffe Organization, 2021).

1.4 Descripción botánica

Según López (2017), *Coffea arabica* crece mejor a la sombra de otros árboles, esto le da un gran valor comercial, tiene hojas suaves y brillantes, de color verde oscuro, miden unos 15 cm de largo aproximadamente, tiene flores blancas y muy aromáticas que crecen en racimos en las axilas de las hojas, los frutos, son unas bayas carnosas rojas, llevando cada una dos semillas planas por un lado con un surco longitudinal y el otro lado convexo.

El café arábigo al ser un cultivo estacional requiere de 180 – 200 días de lluvia (6 meses) para un óptimo desarrollo, aunque el cafeto presenta cierta tolerancia a la sequía su producción declina considerablemente cuando las precipitaciones disminuyen, la especie arábigo requiere un periodo seco de alrededor de tres meses, tiene una amplia adaptabilidad a los distintos ecosistemas de las cuatro regiones del Ecuador, se cultiva desde altitudes cercanas al nivel del mar hasta los 2.000 metros (Sánchez y Gómez, 2015).

1.4.1 Sistema radicular

ICAFE (2011) e INIAP (1993), mancionan que, el sistema radicular es superficial estando al 60% en los primeros 30 cm, la raíz es el órgano que le proporciona el alimento a la planta y sirve para la absorción de agua y nutrientes de origen mineral y orgánico del suelo, el cafeto posee varios tipos de raíces: pivotante; axiales o de sostén; laterales y raicillas, al desarrollarse completamente en su etapa adulta rara vez penetra más de 45 cm de profundidad.

1.4.2 Tallo

La planta del cafeto está compuesta generalmente de un solo tallo o eje central que presenta dos tipos de crecimiento: uno que hace crecer la planta de forma vertical y otro en forma horizontal, el tallo central se desarrolla por una zona de crecimiento en el ápice del tallo y en el mismo se forman nudos y entrenudos (Silva, 2018).

1.4.3 Hojas

Son opuestas y alternas en el tallo ortotrópico y en ramas plagiotrópicas son opuestas, el color varía entre variedades, por lo general son de color verde oscuro y brillante en la parte superior y verde claro en el interior, las hojas nuevas presentan una coloración bronceada o verde claro y después toman su coloración definitiva (Suazo, 2020).

1.4.4 Flores

La producción y distribución de la cosecha a lo largo del año se localizan en los nudos de las ramas, hacia la base de las hojas, en grupos de 4 o más, la cantidad de flores presentes en un momento determinado depende de la cantidad de nudos formados previamente en cada rama (Suazo, 2020).

1.4.5 Fruto

El fruto de la planta de café es una cereza o baya y por lo general, hay dos granos de café en su interior, la piel del fruto del café es de color rojo-violeta y oculta varias partes debajo de él, las partes de la fruta del café aparece en la siguiente secuencia; Al principio, la pulpa es de color amarillo, seguida por una hoja de pergamino amarillento, después de eso una plateada está presente en la cubierta de la semilla que cubre el color verde del grano de café situado en el núcleo (Khalid *et al.*, 2020).

1.4.6 Semilla

El endosperma coriáceo es de color verdoso o amarillento, los granos de café son semillas dicotiledóneas tropicales, las semillas son albuminosas, con un endospermo copioso, el embrión de la semilla de café es muy pequeño, en su mayor parte, la semilla se encuentra constituida por el endosperma y el embrión (Khalid *et al.*, 2020).

1.5 Variedades

Características de las variedades de café.

1.5.1 Variedad Robusta (*C. Canephora*)

- Arbusto multicaule puede medir de 8 a 12 m de altura.
- Sus ramas son largas, de hojas grandes (20 a 35 cm de largo, 8 a 15 cm de ancho).
- Las inflorescencias son axilares, formadas por 1 a 3 verticilos, constituido cada uno por 15 a 30 flores blancas, cuya corola posee de 5 a 7 pétalos.
- El sistema radical del cafetal adulto está entre (0,30 a 0,50 m).
- El café robusta está adaptado a condiciones de temperaturas más elevadas.
- Exige temperaturas medias anuales de 22 a 26°C.
- Crece tanto en los suelos rojos (ultisoles) como en los de origen volcánico (inceptisoles) (INIAP, 1994).

1.5.2 Variedad Caturra

- Se caracteriza por ser de porte bajo.
- La temperatura optima cercana a 21 °C para el crecimiento del café.
- Tiene entrenudos cortos, tronco grueso y poco ramificado.
- Ramas laterales abundantes, cortas, con ramificación secundaria, lo que da a la planta un aspecto vigoroso y compacto.
- Las hojas son más grandes, anchas y oscuras.
- Los frutos son también de mayor tamaño.
- El sistema radical está muy bien desarrollado y es de mayor extensión y densidad (ICAFE, 2011).

1.6 Requerimientos edafoclimáticos

Los suelos más productivos de café son los latosoles arcillosos, la mayoría de los suelos usados tienen problemas de algún elemento limitante, lo cual se debe conocer para remediarlo como lo requiere la tecnología moderna (INIAP, 1993). Según Monge (1999), el café requiere un sustrato, acorde a las características descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café

| Nutrientes | Bajo | Medio | Alto |
|-------------------------|-------|-----------|-------|
| Fósforo (mg/kg o ppm) | < 10 | 10 - 30 | > 30 |
| Potasio [cmol (+) /kg] | < 0.2 | 0.2 - 0.5 | > 0.5 |
| Calcio [cmol (+) /kg] | < 4.0 | 3 - 20 | > 20 |
| Magnesio [cmol (+) /kg] | < 1.0 | 1 - 10 | > 10 |
| Hierro (mg/kg o ppm) | < 10 | 10 - 50 | > 50 |
| Cobre (mg/kg o ppm) | < 1 | 1 - 20 | > 20 |
| pH | < 5.0 | 5.5 - 6.5 | > 6.5 |
| Materia orgánica % | < 3.0 | 3 - 5 | > 5 |

(Monge, 1999)

1.6.1 Temperatura

Las temperaturas altas inhiben el crecimiento del cafeto, porque a los 24 °C la fotosíntesis comienza a decrecer y se hace casi imperceptible a los 34°C, el óptimo de temperatura media del aire para el cultivo de café arábico, *C. arabica*, se encuentra entre 18 y 22 °C y para el café robusta, *C. canephora*, entre 22 y 26 °C (Camargo *et al.*, 1994).

1.6.2 Precipitación

Romero *et al.* (2019) manifiestan que, la precipitación pluvial es un gran condicionante para el crecimiento de una amplia gama de café. La precipitación anual óptima para el cafetal varía entre 1.600 y 1.800 mm, con una buena distribución, cuando hay un período corto de

sequía, es favorable para floración del café, a diferencia del exceso de lluvia, que no permite, el déficit acuífero es beneficioso, pero dificulta el crecimiento vegetativo y el desarrollo normal del fruto.

1.6.3 Humedad relativa

Entre el 70 – 85% es el nivel necesario de humedad para que el café se desarrolle, los tiempos excesivos de alta humedad generan crecimiento e incidencia de plagas y enfermedades (Romero y Camilo, 2019).

1.7 Requerimientos nutricionales

En café, los dos macronutrientes más absorbidos en todas las etapas del cultivo son el nitrógeno y el potasio; en un segundo plano se ubican el calcio, el fósforo, el magnesio y el azufre. Los requerimientos nutricionales de café aumentan con la edad, es así como durante la etapa de almácigo la planta crece lentamente y absorbe bajas cantidades de nutrientes, algo similar ocurre durante la etapa de levante; al iniciar la fase reproductiva la planta aumenta su velocidad de crecimiento y con ello se incrementa la demanda de nutrientes. (Sadeghian, 2021).

1.7.1 Coffea Canephora

Se recomienda el uso de elementos puros en promedio de 250 kg de nitrógeno por ha/año, 100 kg de fósforo por ha/año y 250 kg de potasio por ha/año (Fernández, 2017).

1.7.2 Coffea Caturra

Se recomienda el uso de elementos puros en promedio de 114 kg de nitrógeno por ha/año, 13 kg de fósforo por ha/año y 125 kg de potasio por ha/año (Sadeghian, 2021).

1.8 Sistemas de manejo de cultivos de café

1.8.1 Sistemas agroforestales

Farfán (2020) plantea que, la agroforestería es parte fundamental del proceso integral productivo del café; un sistema agroforestal cafetero es definido como el conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, así como el aumento y mantenimiento de la producción.

1.8.2 Sistema de monocultura sin sombra

Moguel y Toledo (1999) indican que es un sistema agrícola, no tiene cubierta arbórea y los arbustos de café están expuestos al pleno sol, es una plantación especializada cuyo sistema de producción requiere un alto grado de insumos y fertilizantes químicos y plaguicidas, se usa maquinaria y mano de obra intensiva en el ciclo anual, bajo el sistema se alcanza el rendimiento más alto por unidad de superficie.

1.8.3 Sistemas convencionales o bajo sombra

Bajo las condiciones de clima, en las cuales el cultivo de café está instalados en suelos con topografía inclinada, se hace necesario el uso de sombra, principalmente para evitar la erosión y para proteger a los microorganismos vivos existentes en la capa Superficial del suelo (Gomer *et al.*, 2014).

Se utilizan árboles de leguminosas (*Inga*) para sombra de los cafetos, es una plantación monoespecífica bajo una cubierta de copas igualmente especializada. En este sistema el uso de productos agroquímicos es una práctica obligatoria y la producción va dirigida a la creación de productos orientados exclusivamente hacia el mercado (Moguel y Toledo, 1999).

1.8.4 Sistemas agroecológicos

Según PROCAGICA (2020), el éxito en el manejo agronómico de una finca de café está relacionado con múltiples factores y con la manera en que estos se combinan, algunos factores no se pueden controlar, como el clima y el tipo de suelo, pero otros dependen de las decisiones del productor y muchas veces se relacionan con el mercado y con las tecnologías disponibles, como la variedad de las plantas, el tipo de sombra, los programas de fertilización y las prácticas culturales.

1.9 Efectos del sistema de manejo en las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo

1.9.1 Condiciones físicas del suelo

Las características físicas del suelo, como la textura y la estructura, son claves para el crecimiento y la distribución de las raíces, estas propiedades influyen en la capacidad de las raíces para penetrar el suelo, así como en la disponibilidad de oxígeno y agua, entre las condiciones físicas del suelo limitativas para el desarrollo radical están: la alta pedregosidad, el mal drenaje, la poca aireación y la baja retención de agua, los horizontes de arcilla compactos muy superficiales también pueden ser un problema, en estos casos, las raíces no

pueden desarrollarse bien porque están sujetas a condiciones extremas de agua: exceso durante las lluvias y deficiencia durante las sequías (Arcila, 2007).

1.9.2 Condiciones químicas del suelo

Según Arcila (2007), desde una perspectiva química, la pobreza del suelo se define por la existencia de condiciones de fertilidad deficientes, esta carencia de nutrientes impacta directamente en el desarrollo del sistema radical, tanto de forma directa como indirecta, las zonas cafeteras se caracterizan por la prevalencia de suelos ácidos, los cuales generan un impacto negativo en la fertilidad, y que poseen características como el pH muy ácido, menor de 5; una elevada saturación de aluminio, superior al 60%, que genera un bloqueo en los haces vasculares, lo que limita el crecimiento y desarrollo de las raíces; y los bajos niveles de materia orgánica y fósforo, en términos generales, la escasez de nutrientes en el suelo afecta de forma indirecta al desarrollo de las raíces, esto se debe a la insuficiente producción de asimilados por parte de la planta, los cuales son esenciales para el correcto crecimiento del sistema radical.

1.10 Indicadores físicos, químicos y microbiológico del suelo

Si se consideran las múltiples y variadas propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo que pueden ser empleadas como indicadores, su dinámica en tiempo y espacio, así como el nivel de escala donde se aplicará (parcela, cuenca, región, entre otros), no resulta sencillo seleccionar un conjunto de propiedades que cubran todas las condiciones para valorar adecuadamente el suelo (Pérez, 2011).

1.10.1 Indicadores físicos del suelo

Según Gutiérrez (2014), los indicadores físicos empleados en las evaluaciones de la calidad del suelo se relacionan, por un lado, con propiedades que muestren como el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas y por otro lado, a las condiciones que limitan el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil y promover el intercambio óptimo de gases; estos indicadores corresponden a las propiedades físicas tales como: textura, densidad aparente, agua disponible en el suelo, y porosidad.

1.10.2 Indicadores químicos del suelo

Pérez (2011), menciona que, los indicadores químicos del suelo incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo – planta y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Doran y Parkin (1994), propusieron como indicadores el pH, la conductividad eléctrica, el N, P y K disponibles. Sin embargo, los cambios químicos generados en el suelo por el uso de los fertilizantes varían de acuerdo con la dinámica propia de cada elemento, dosis y fuentes empleadas, los sistemas de aplicación y las características particulares del suelo y clima, entre otros (Stevens *et al.*, 1998).

1.10.3 Los microorganismos del suelo

En el suelo existe una gran biodiversidad de microorganismos que son beneficiosos para las plantas, tienen la finalidad de asociarse con la raíz para brindar la captación de nutrientes, realizan simbiosis con la raíz para mejorar la absorción de nitrógeno, fosforo y agua, los principales grupos de microbiota que ayuda en este proceso son micorrizas, rizobacterias y *Trichoderma* (Tarazona, 2021).

Según Pérez (2011), los microorganismos desempeñan un papel decisivo en el proceso de transformación de los compuestos minerales y orgánicos que se incorporan al suelo, influyendo en el contenido y movilización de los macro y micronutrientes; así como en su balance y asimilación por las plantas.

1.10.4 Importancia de los microorganismos del suelo

Según Tarazona (2021), los microorganismos en el suelo tienen numerosas ventajas, las que destacan son: mayor crecimiento radicular y exploración de las raíces y protección física ante hongos patógenos, liberan de forma lenta elementos nutritivos que contribuyen a la reserva orgánica del suelo, reduce la pérdida de nitrógeno por lixiviación y fijación de fósforo. También ayuda a eliminar enfermedades y parásitos nativos del suelo.

1.10.5 Hongos del suelo

Los hongos en el suelo desarrollan un papel fundamental para los procesos de descomposición que mineralizan y reciclan los nutrientes de las plantas. Los hongos interactúan entre una compleja comunidad microbiológica en las que se incluyen las bacterias, actinomicetos y pequeños invertebrados. Los hongos forman una importante cadena alimenticia en el suelo, especialmente para la mesofauna que habita en el suelo (Madigan *et al.*, 2000).

Coyne (2007) indica que, la población de hongos en suelos ácidos tiende a incrementar en número, esto debido a que no hay competencias con actinobacterias y bacterias, por lo que no se encuentran limitados por la acidez. Entre ellos hay presencia de atrapadores de nematodos, por lo que se convierten en controladores biológicos, según su estudio muestra que en calidad de un suelo agrícola fértil pueden encontrarse aproximadamente 40 UFC/g de suelo seco de hongos microscópicos.

1.10.6 Hongos en el cultivo de café

Lozano *et al.* (2015), identificaron 25 morfoespecies de esporas de MA (Micorrizas arbusculares) pertenecientes a 13 géneros, entre ellos *Glomus*, *Diversispora*, *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellospora* que han sido reportados en trabajos de cultivos de café. *Glomus* y *Entrophospora* presentaron mayor abundancia con 62 y 19 individuos, respectivamente. *Glomus* es el género que tiene el mayor número de especies en los *Glomeromycetos*, y por tanto, el más representativo con seis morfoespecies.

Por otra parte, Arcila (2007) manifiesta que entre las enfermedades que afectan a la raíz del café se encuentran aquellas causadas por hongos; como la llaga negra ocasionada por *Rosellinia budones* Berk y la llaga estrellada *Rosellinia pepo* Berk y Br. Piloza *et al.* (2022), plantean que las enfermedades que se presentan en el café son causadas en su gran mayoría por hongos.

1.10.7 Bacterias en el cultivo de café

Las bacterias rizosféricas dependen de la materia orgánica y están relacionadas con la descomposición; por otro lado, las principales limitantes para el crecimiento de bacterias es la cantidad de materia orgánica, alteraciones de pH y presencia de suelos muy ácidos o básicos (Pineda *et al.*, 2015). La aparición de bacterias como lo son las *Pseudomonas* y *Xanthomonas*, así como en menor de otros géneros que se aprovechan de las condiciones húmedas para realizar el daño en tejido, el ciclo de reproducción de las bacterias es sumamente rápido, inclusive de horas, por lo cual su correcto control y buen tiempo de prevención es fundamental para evitar los impactos negativos que esto podría generar, las enfermedades bacterianas causadas por el género *Pseudomonas* fueron detectadas por primera vez a finales de 1955 (Cuadra Arauz *et al.*, 2023).

1.11 Indicadores de la fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes y el agua necesarios para el crecimiento de las plantas, está íntimamente relacionado con las propiedades físicas y químicas (GADPO, 2018). La fertilidad del suelo generalmente está relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas y los microorganismos juegan un rol importante en el reciclaje de todos estos elementos nutricionales que muchas veces no se comprende (Zúñiga, 2012).

1.11.1 Indicadores físicos

1.11.1.1 Textura

Es la propiedad relacionada con el contenido y la proporción de arena, limo y arcilla. Los suelos clasificados como francos presentan un mejor equilibrio entre estas partículas y favorecen el desarrollo de las raíces, mientras que en los suelos arenosos y arcillosos ocurre lo contrario (Sadeghian, 2019). Amberger (2006) manifiesta que la textura del suelo tiene que ver con el tamaño de las partículas minerales, lo que determina la superficie del suelo, a nivel simple, según el tamaño de las partículas, se encuentran arcilla (<0,002 mm), limo (0,002-0,05 mm), arena (0,05-2 mm) y piedras (>2 mm), los suelos con un gran contenido de arcilla se vuelven duros cuando están secos y pegajosos cuando están húmedos.

1.11.1.2 Densidad aparente del suelo

Paz y Sánchez (2007) reportan que, los valores bajos de densidad aparente son normales en suelos con altos contenidos de materia orgánica. El rango encontrado de densidad aparente (0.62 y 0.71 g cm³) concuerdan con lo reportado por estos autores, quienes indican que valores por debajo de 0.9 g cm³ en suelos Andisoles son normales, y presentan alta fertilidad física por la presencia de alófana, por ser suelos profundos y de baja densidad aparente.

1.11.1.3 Porosidad del suelo

De la Rosa (2008) establece que, la porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, y que la densidad aparente relaciona el espacio poroso con el peso, de forma que cuando la densidad aparente aumenta, el volumen de poros disminuye y viceversa.

1.11.2 Indicadores químicos

1.11.2.1 Materia orgánica

Los cafetales que se cultivan bajo sombra presentan cantidades de materia orgánica comparable con la de un bosque caducifolio, estas cantidades favorecen el reciclaje de los nutrimentos, crecimiento de raíces y reducción de nemátodos en el suelo (Pozo, 2014).

1.11.2.2 pH (potencial de Hidrógeno)

Según Pozo (2014), los suelos preferidos para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos, con pH entre 5 y 6. Con suelos que poseen pH inferiores a 5 se puede cultivar adecuadamente el café, siempre y cuando la estructura del suelo sea buena. Se suele aplicar bases a los suelos ácidos, principalmente utilizando o mezclando con calcio.

1.11.2.3 CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico)

Según (Sadeghian, 2016), la mayoría de los suelos de la zona cafetera son de carga variable o carga dependiente del pH; esto quiere decir que el incremento de la acidez (reducción del pH) se traduce en una disminución de la CICE (Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva).

1.11.3 Indicadores biológicos

1.11.3.1 Cuantificación de hongos del suelo.

Las poblaciones fúngicas aumentan bajo condiciones de adecuada humedad e inmediatamente después de adicionar materia orgánica al suelo, disminuyendo luego de este incremento, según Larios *et al.* (2014).

1.11.3.2 Cuantificación de bacterias del suelo.

Según Larios *et al.* (2014), no existen diferencias estadísticas en cuanto a las poblaciones de bacterias por efecto de los sistemas, sin embargo, se presenta una tendencia de que las poblaciones sean mayores en los sistemas con prácticas agroecológicas. En los sistemas con prácticas agroecológicas, las extras de pulpa de café y gallinaza han contribuido al aumento del sustrato orgánico del suelo y al aumento de la humedad, favoreciendo a las bacterias.

1.11.3.3 Respiración microbiana

Las pruebas de respiración microbiana miden la cantidad de dióxido de carbono (el producto de la respiración) que liberan los organismos del suelo durante un período de tiempo determinado para una cantidad determinada de suelo, según Bellows (2020).

1.11.3.4 Mineralización de N

La mineralización de nitrógeno mide la cantidad de nitrógeno liberado de los cuerpos de los organismos del suelo (materia orgánica viva) cuando se matan con un químico tóxico, la mineralización de nitrógeno se usa más comúnmente en experimentos científicos, ya que es más precisa y menos afectada por los métodos de recolección y manejo de muestras (Bellows, 2020).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

La presente investigación se realizó en los Centros de Apoyo Manglaralto y Colonche-UPSE, ubicadas en la parroquia Manglaralto y Colonche, provincia de Santa Elena, con las coordenadas geográficas 01°50'29" latitud sur, 80°44'24" longitud oeste, a una altura de 12 m.s.n.m; topografía plana con pendiente menor al 1 % y Colonche cuyas coordenadas geográficas son: Latitud Sur 02°01'23.7", Longitud Oeste 80°40'48.3" (Figura 1). El experimento se llevó a cabo en los laboratorios del Centro de Investigaciones Biotecnológicas (CEB), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

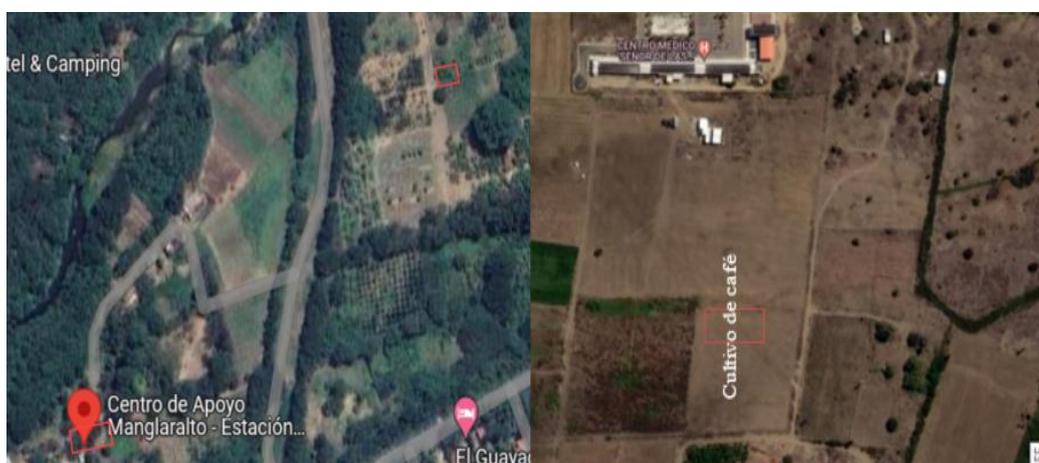


Figura 1. Fotografía satelital de las áreas de estudio Manglaralto y Colonche

2.2 Condiciones edafoclimáticas de Manglaralto y Colonche

2.2.1 Clima en Manglaralto

La zona se caracteriza, por tener dos épocas al año: la húmeda y la seca. La primera de diciembre a abril y la segunda de mayo a noviembre con ligeras lloviznas y temperaturas que pueden llegar hasta 18 °C, como se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores climáticos del Centro de Apoyo Manglaralto establecidas por el INAMHI

| PARÁMETROS | PROMEDIO ANUAL |
|-------------------|----------------|
| PRECIPITACIÓN | 385,2 mm |
| TEMPERATURA MEDIA | 23,4 °C |
| EVAPORACIÓN | 1459,2 mm |
| HELIOFANÍA | 112,9 horas |

(INAMHI, 2017)

2.2.2 *Clima en Colonche*

Al igual que Manglaralto, esta zona también se caracteriza por tener dos temporadas, la seca que se da entre los meses de junio a noviembre y lluviosa desde diciembre hasta mayo, con temperatura anual con un máx. 30 °C y un mín. 19 °C y la humedad relativa de 80% como promedio anual (Arriaga, 2022), como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Factores climáticos de Colonche establecidas por el INAMHI
PARÁMETROS **PROMEDIO**

| | |
|-------------------|-------------|
| PRECIPITACIÓN | 328 mm |
| TEMPERATURA MEDIA | 24,6 °C |
| ALTITUD | 800 m.s.n.m |

(INAMHI, 2017)

2.2.3 *Suelo en Manglaralto*

Según Goyes (2021), el Centro de Apoyo Manglaralto posee un total de 22, 34 ha, y presenta suelos tipo Tierras misceláneas y Fluventic Eutrudepts, siendo este último el de mayor predominancia espacial. Las tierras misceláneas no son consideradas como unidades de suelo; en cambio, los suelos Fluventic Eutrudepts, presentan características agro-productivas, como suelos francos en superficie y francos arcillosos a profundidad, buen drenaje, pH ligeramente alcalino y fertilidad alta.

2.2.4 *Suelo en Colonche*

Pozo (2021) menciona que, el suelo de la parroquia Colonche posee una textura franca arcillosa, cuya superficie abarca alrededor de 39 mil hectáreas haciendo fértil y apto para todo tipo de cultivo, con pendientes mayores a 18% y menores a 5%. El orden de suelo que predomina en el área de estudio es el Aridisol con 35.32%.

2.3 **Condiciones de manejo agronómico**

2.3.1 *Fertilización del cultivo*

La demanda nutritiva del café se incrementa considerablemente con el inicio de las lluvias, debido al rápido crecimiento de nuevos brotes y desarrollo de los frutos. Por tal motivo, la primera fertilización debe realizarse al inicio de cada año coincidiendo con las primeras lluvias. Se aplica solo la mitad de la dosis recomendada de N, P y K, en caso de que estos últimos elementos se encuentren también incluidos en el programa de fertilización anual,

para todas las regiones las fórmulas completas no deberían poseer menos de 15% de Nitrógeno (N) y 0,33% de Boro (B) (ICAFE, 2011).

2.3.2 Control malezas

El control de maleza tiene el propósito de evitar la competencia de las malezas con el cultivo por espacio, luz y nutrientes, generalmente se realiza manualmente.

2.3.3 Riego

Este se realizó con el propósito de mantener el suelo húmedo sin permitir secamiento ni encharcamiento. El exceso de agua favorece la pudrición de raíces y el desarrollo de enfermedades fungosas.

2.4 Material biológico y condiciones experimentales

2.4.1 Colección de datos

Para el análisis físico y químico, de las muestras obtenidas de los suelos de Manglaralto y Colonche fueron enviadas al laboratorio INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), como se detalla en la Tabla 4.

Para la investigación microbiológica se consideró como unidad experimental a cada caja Petri, con tres repeticiones para los cultivos de bacterias y hongos respectivamente, mediante el programa Excel se realizaron los promedios de los conteos expresados en UFC/g suelo seco para su comparación por cada muestra y tipo de microorganismos que se encontraron en los suelos procesados.

Tabla 4. Descripción del procesamiento analítico de datos

| Análisis | Variable | Método/ Equipo |
|-----------------|--|--|
| Físico | Clase textural | Método EPA 150.2 (1982) |
| Químico | Materia orgánica (%) | Laboratorio INIAP |
| | pH | |
| | Disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno (meq/ml) | |
| Microbiológico | Conteo de bacterias (UFC/g de suelo seco) | Medio Extracto de levadura- Manitol-Agar (LMA) |
| | Conteo e identificación de hongos (UFC/g suelo seco) | Medio de cultivo potato-dextrosa- agar (PDA) |

2.5 Materiales, equipos e insumos

2.5.1 *Materiales en el campo*

Los materiales que se utilizaron para la investigación de campo son:

- Palas
- Botas
- Cinta métrica
- Rótulos adhesivos
- Fundas para recolectar muestras
- Balanza

2.5.2 *Materiales en el laboratorio*

Los materiales que se utilizaron para realizar el análisis microbiológico del suelo son:

- Mandil
- Guantes
- Libreta de apuntes
- Esferos
- Cámara digital
- Muestras del suelo
- Cajas Petri
- Alcohol
- Agua destilada
- Matraces
- Pipetas automáticas
- Mecheros
- Agitador
- Claves de identificación
- Tubos de ensayo
- Gradillas de tubos de ensayo
- Papel Aluminio
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Estufa

2.5.3 Equipos de laboratorio

- Refrigerador
- Contador de colonias
- Autoclave
- Incubadora
- Microscopio

2.5.4 Reactivos e insumos para medios de cultivo

- Azul de lactofenol
- Agua destilada
- Medio de cultivo PDA (hongos) y LMA (bacterias)

2.6 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva aplicada debido a que busca adquirir nuevos conocimientos y está dirigido al cumplimiento de objetivos prácticos específicos, además tiene un enfoque experimental por lo que se fundamenta principalmente en el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del suelo (Bermeo y Lasluisa, 2020).

2.7 Condiciones o manejo del experimento

2.7.1 Recolección de muestras

Se colectaron muestras de suelo de las parcelas de café Robusta y Caturra, ubicadas en los centros de apoyo Manglaralto y Colonche (UPSE). Se realizó un muestreo compuesto que consiste en obtener diferentes extracciones o muestras simples, adquiriendo cuatro submuestras para luego mezclarlas y conseguir una muestra, como se observa en la Tabla 5. Se eliminó la cobertura vegetal y las piedras presentes en la superficie del área del muestreo, por cada submuestra se colectó 1 kg de suelo a una profundidad de 20 cm, se mezclaron las cuatro submuestras de cada sitio para obtener una muestra final de 1 kg.

Al finalizar cada muestra fueron rotuladas y transportadas al laboratorio CEB donde se realizó el respectivo análisis microbiológico, las muestras también fueron llevadas al laboratorio del INIAP para el análisis físico y químico.

Tabla 5. Submuestras y muestras de suelo colectadas del cultivo de café

| CULTIVO | PARCELAS | SUBMUESTRAS | MUESTRAS | DESCRIPCIÓN |
|---------|----------|-------------|----------|-------------|
|---------|----------|-------------|----------|-------------|

| | | | | |
|------|---|---|----|------------|
| | 1 | 4 | M1 | |
| CAFÉ | 2 | 4 | M2 | Suelo seco |
| | 1 | 4 | M1 | |

2.7.2 Almacenamiento y conservación de las muestras

Con el fin de interrumpir los procesos biológicos se procedió a secar las muestras al aire, aproximadamente por 24 horas, luego se refrigeraron a 4°C (Zúñiga, 2012).

2.7.3 Preparación de muestras para aislar microorganismos

Por cada kg de las muestras de suelo, se pesaron 10 gramos, que inmediatamente se transfirieron a un vaso de precipitados que contenía 90 mL de solución salina al 0,85%, la mezcla se realizó cuidadosamente para garantizar una adecuada homogenización de la muestra para su posterior análisis.

2.7.4 Esterilización de materiales

Se esterilizaron distintos materiales del laboratorio, incluyendo fiolas, algodón, varillas de vidrio, vasos Beaker, tubos de ensayo, cajas Petri, etc. el proceso se llevó a cabo a una temperatura de 121 °C durante 1 hora, manteniendo la presión de 1 atmósfera.

2.7.5 Preparación de diluciones

Con una pipeta estéril se tomó 1 mL de la suspensión y se transfirió al tubo de ensayo con 9 mL de solución salina, obteniendo la dilución 10^{-2} hasta llegar a la dilución 10^{-5} (Zúñiga, 2012).

2.7.6 Procedimiento de preparación de medio de cultivo

2.7.6.1 Preparación medio de cultivo (PDA)

Enriquez (2016) menciona que, el PDA es un medio que se usa para aislar todo tipo de hongos, y a su vez para realizar el conteo presentes en las muestras. Por lo que se preparó la relación de 39 g de PDA por cada 1.000 mL de agua destilada.

2.7.6.2 Preparación medio de cultivo (LMA)

Se utilizó el medio de cultivo extracto de levadura manitol agar (LMA) para el aislamiento de bacterias rizosféricas, se preparó 1.000 mL en dos matraces de 500 mL. Se pesó 5 g de manitol, 0.25 g extracto de levadura, 0.25 g de K_2HPO_4 , 0.10 NaCl, 7.5 g de agar y 0.05 $MgSO_4$, los insumos se disolverán en 500 mL de agua destilada.

2.7.7 Siembra de microorganismo en cajas Petri

Se dispensó aproximadamente 12 mL de medio de cultivo en cada caja Petri, identificándolas adecuadamente. Para garantizar un ambiente estéril durante la siembra, se inocularon 100 microlitros de las diluciones de la muestra en cada caja Petri.

Se distribuyeron uniformemente los microorganismos por el medio de cultivo utilizando la técnica de siembra por barrido con asa. Se repitió el proceso de siembra tres veces para el proceso de las bacterias como para los hongos, que luego fueron sembradas en cajas Petri por triplicado, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Tratamientos y repeticiones de las muestras de suelo

| C. CAFÉ | MUESTRAS | TRATAMIENTO | SIEMBRA/REPETICIONES |
|--|----------|-------------|----------------------|
| V. Robusta (C. Canephora) Manglaralto | M1 VR | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| V. Caturra Manglaralto | M2 VC | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| V. Robusta (C. Canephora) Colonche | M1 VR | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |
| | | T1 | R1 R2 R3 |
| | | T2 | R1 R2 R3 |
| | | T3 | R1 R2 R3 |
| | | T4 | R1 R2 R3 |

2.7.8 Incubación para el crecimiento de hongos y bacterias

Después de sembradas las diluciones en las cajas Petri se procedió a colocarlas en la incubadora a una temperatura de 28°C, con el fin de brindar el ambiente necesario para el crecimiento de hongos durante cinco días y siete días para las bacterias (Zúñiga, 2012).

2.7.9 Identificación morfológica de hongos y bacterias en el microscopio

Las muestras obtenidas del cultivo de hongo se colocaron en el portaobjeto con el asa de siembra esterilizada, se utilizó 0.05 mL de azul de lactofenol para la tinción, seguido se colocó en el cubreobjeto y se procedió a observar en el microscopio óptico con los objetivos 4, 10 y 40X. Para identificar los hongos se utilizó las claves de Finch y Finch (1974) complementado con la IA (ChatGPT) donde se compararon las características morfológicas de los hongos encontrados en las muestras aisladas y fotografiadas. Las imágenes obtenidas del microscopio fueron procesadas digitalmente para realzar las características nítidas que muestren las estructuras claras de cada hongo aislado. Luego fueron introducidas en el programa de inteligencia artificial ChatGPT (<https://chatgpt.com/>) para la comparación de imágenes.

Las bacterias aisladas se realizaron mediante aproximaciones morfo-bioquímicas aisladas en los medios LMA y LMARC; complementadas con tinción de Gram.

2.8 Parámetros por evaluar

2.8.1 Físicos, Químicos y Microbiológicos

Los datos sobre las características físicas y químicas del suelo se adquirieron mediante servicio de análisis realizados en el Laboratorio del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), que incluyeron la determinación de parámetros como el pH, el nitrógeno (N) y los niveles de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

2.9 Interpretación de los resultados

Los conteos de las colonias obtenidas de los hongos y bacterias aislados se procesaron en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft) para calcular los promedios de las unidades formadoras de colonias (UFC) del crecimiento microbiano del cultivo de café, esta información se utilizó para crear tablas y gráficos.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de suelo

Las características físicas y químicas del suelo en la parcela 1 de la var. Caturra Manglaralto presenta un suelo con textura franco-arcilloso, pH neutro (7,2), porcentaje de materia orgánica media (4,02 %), nivel medio en nitrógeno (N) y niveles altos en fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca). La parcela 2 de la var. Robusta Manglaralto presenta una textura franco-arcilloso, el pH es neutro (7,3), materia orgánica media (3,2 %), nivel medio en nitrógeno (N) y también niveles altos en P, K, Mg y Ca. En la var. Robusta localizada en Colonche, el suelo presenta una textura franco-limoso, materia orgánica (1,7 %), niveles bajos de nitrógeno (N), niveles altos de P, K, Mg y Ca, con pH medio ácido (6) (Tabla 7). De manera general, los resultados de los análisis de suelo realizados en los centros de apoyo Manglaralto y Colonche muestran niveles altos para la producción de café, acorde a Monge (1999) (Tabla 1). Estos resultados también coinciden con los publicados por Arzube *et al.* (2017) para la var. Robusta; en cuanto a textura, pH, niveles de potasio, calcio y nitrógeno; sin embargo, se observan diferencias en los niveles de fósforo, magnesio y materia orgánica, que podría atribuirse a las diferentes prácticas de fertilización y riego en Manglaralto. Respecto a la var. Caturra, Valverde *et al.* (2022) presenta resultados similares en cuanto a textura, materia orgánica, fósforo y calcio, obtenidos en la localidad de Manglaralto. En el caso de la var. Robusta, el mismo autor, también menciona resultados similares a los obtenidos en este trabajo para la localidad de Colonche, en los valores de pH, materia orgánica y calcio.

Tabla 7. Resultado del análisis de suelo obtenidas en las parcelas de las variedades Robusta y Caturra

| Características del suelo | Var. Caturra | Var. Robusta | Var. Robusta |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------|
| | N° Parcelas P 1 | P 2 | P 1 |
| Textura | Franco-Arcilloso | Franco-Arcilloso | Franco-Limoso |
| MO % | 4,02 M | 3,20 M | 1,7 B |
| pH | 7,2 PN | 7,3 PN | 6 Me. Ac |
| Nivel de N (ppm) | 33 M | 31 M | 9 B |
| Nivel de P (ppm) | 59 A | 82 A | 247 A |
| Nivel de K (meq/100mL) | 4,7 A | 4,06 A | 3,83 A |
| Nivel de Ca (meq/100mL) | 13,36 A | 21,58 A | 10,05 A |
| Nivel de Mg (meq/100mL) | 2,93 A | 2,42 A | 6,44 A |

PN=Prácticamente neutro, Me. Ac= Medio ácido, M=Medio, B= Bajo, A= Alto

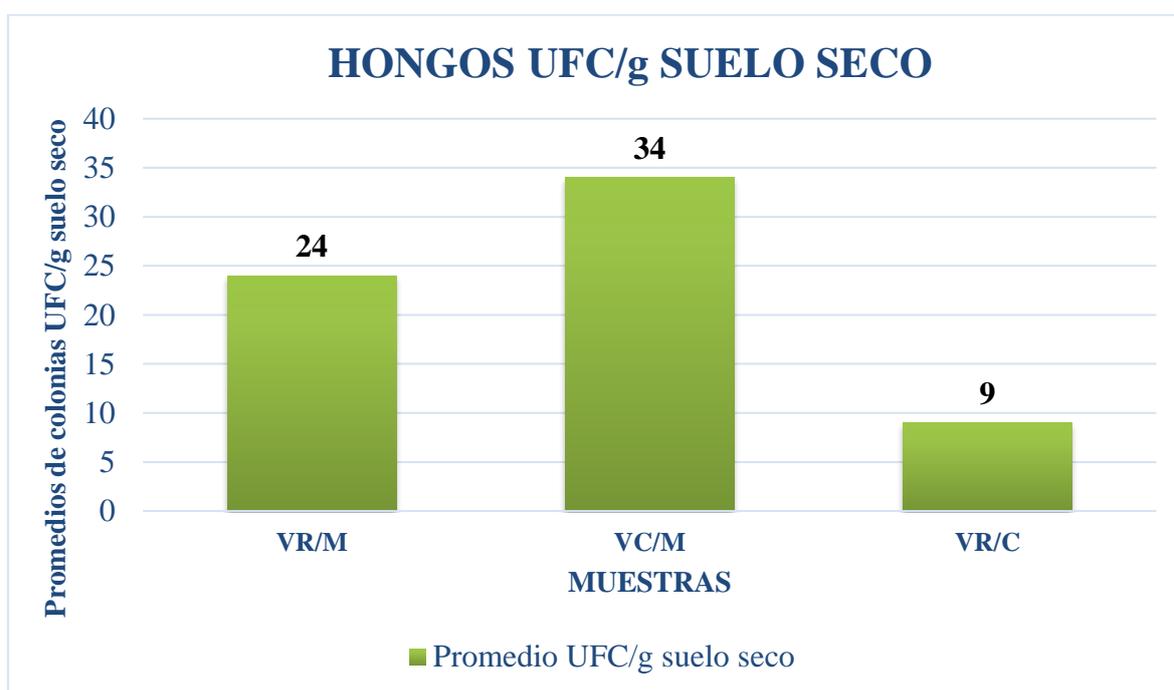
3.2 Cuantificación de hongos rizosféricos en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra

Las colonias fungales obtenidas, una vez sembradas en el medio PDA por dilución y por triplicado para su conteo fueron:

En el cultivo de café var. Robusta localizada en Manglaralto se encontraron 24 UFC/g suelo seco; mientras que, en la var. Robusta localizada en Colonche el conteo fue de 9 UFC/g suelo seco; sin embargo, el mayor conteo obtenido fue de 34 UFC/g suelo seco de la var. Caturra localizada en Manglaralto (Figura 2).

En un estudio realizado por Velmourougane *et al.* (2000) encontraron poblaciones de 39 UFC/g suelo seco de hongos rizosféricos en el cultivo de café Arabico var. Caturra; valor similar al establecido en este trabajo. Así mismo, Bermeo y Lasluisa (2020) con sistemas de siembra agroforestal y tipo chacra obtuvieron 20 UFC/g suelo seco y 16 UFC/g suelo seco de hongos rizosféricos, respectivamente; valores aproximados a los obtenidos en la var. Robusta Manglaralto y Robusta Colonche.

Los promedios de conteos de las UFC se encuentran en la tabla del Anexo A3.



VR/M= Variedad Robusta Manglaralto, VC/M= Variedad Caturra Manglaralto, VR/C= Variedad Robusta Colonche, UFC= Unidades formadoras de colonias.

Figura 2. Promedios de la cuantificación de colonias de hongos UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra

En la Figura 3 se observan los resultados promedio de los hongos relacionados con los valores de pH y la materia orgánica; obteniendo en las variedades Robusta y Caturra de Manglaralto los valores más altos, esto probablemente se debe a que, la materia orgánica del suelo contribuye también a la salud de este y, en consecuencia, a los vínculos naturales con la biodiversidad: cuanto mayor materia orgánica exista, se supone mayor concentración de carbono en el suelo (Cruz *et al.*, 2023). En su trabajo de investigación Urgiles-Gómez *et al.* (2023) mencionan que, la caficultura tanto en monocultivo como en sistemas agroforestales se conserva la fertilidad físico y química, promoviendo así la diversidad microbiana del suelo. Por este motivo se podría mencionar que los parámetros físicos y químicos del suelo en el cultivo de la var. Caturra podrían favorecer la presencia de hongos rizosféricos, en comparación con la var. Robusta, en la localidad de Manglaralto; y que, el menor conteo para la var. Robusta Colonche podría deberse a que en los centros de apoyo, antes mencionadas presentan diferentes condiciones edafoclimáticas; así mismo la var. Robusta en Colonche tiene pocos años de producción. (comunicación personal por el encargado de producción en Colonche, 2024).

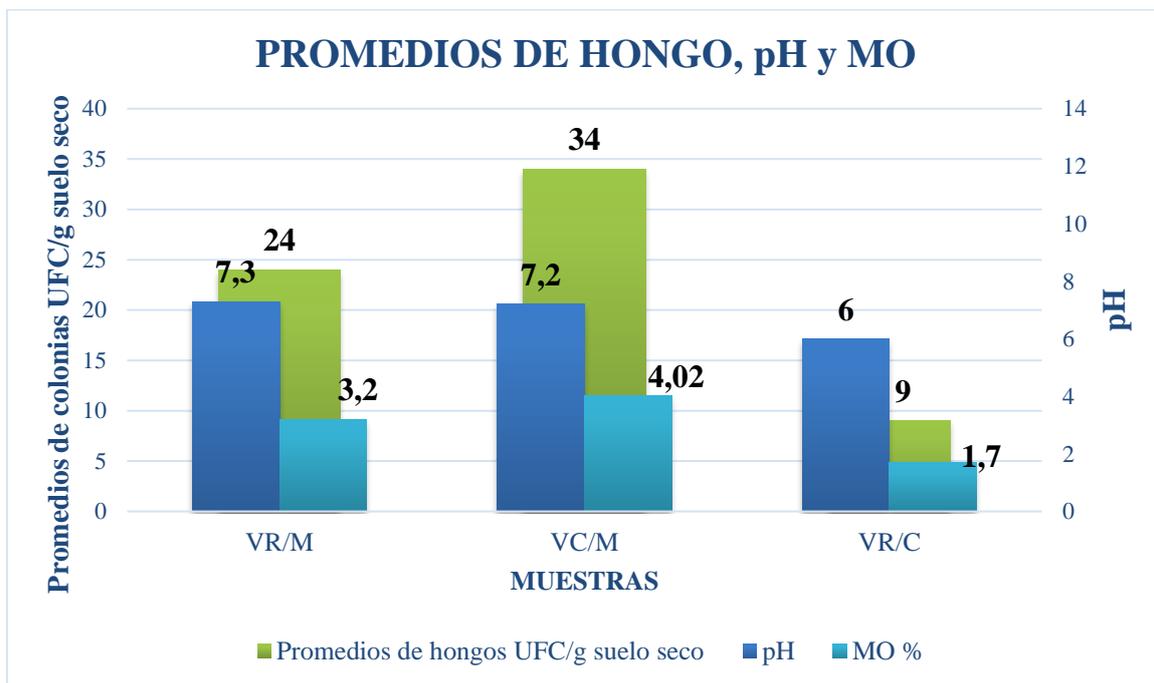
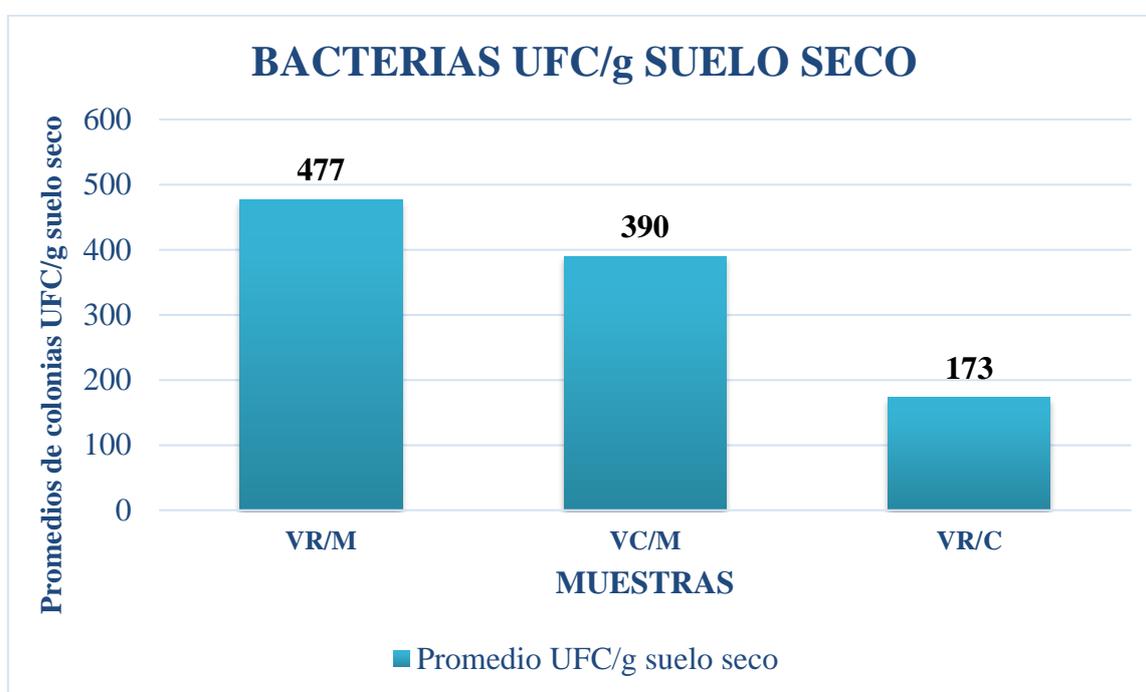


Figura 3. Promedios de de colonias de hongos rizosféricos UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra

3.3 Cuantificación de bacterias rizosféricas en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra

Las colonias obtenidas se sembraron en el medio LMA por dilución y por triplicado, cuyos resultados obtenidos entre las dos var. de café Robusta y Caturra localizadas en Manglaralto y Colonche respectivamente, se encontró que la mayor cantidad de bacterias rizosféricas están asociadas a las variedades Robusta (477 UFC/g) y Caturra (390 UFC/g) localizadas en Manglaralto; mientras que, en la var. Robusta Colonche presentó menor conteo de bacterias (173 UFC/g) (Figura 4). Bermeo y Lasluisa (2020) reportaron para el sistema de cultivo tipo agroforestal 4.853 UFC/g y para el sistema tipo chacra 3.440 UFC/g bacterias rizosféricas; mientras que en este trabajo se contabilizaron de manera general 1.040 UFC/g. Los promedios de conteos de UFC se encuentran en la tabla del Anexo A4.



VR/M= Variedad Robusta Manglaralto, VC/M= Variedad Caturra Manglaralto, VR/C= Variedad Robusta Colonche, UFC= Unidades formadoras de colonias.

Figura 4. Promedios de la cuantificación de colonias de bacterias UFC/g suelo seco de las variedades Robusta y Caturra

En la Figura 5, se observan los resultados promedio de las bacterias aisladas relacionados con el pH y la materia orgánica; obteniendo en las variedades Robusta y Caturra de Manglaralto los valores más altos, respecto a la var. Robusta Colonche con menor conteo, lo que podría explicarse por las condiciones de acidez del suelo, las cuales frenan el desarrollo de las bacterias (Noriega *et al.*, 2014); así como también a que el cultivo tiene poco tiempo en producción (comunicación personal por el encargado de producción en Coloche, 2024). Acorde a lo establecido por Gispert (1987) las bacterias descomponen los substratos de fácil uso, los compuestos de carbono (C) como exudados de las raíces y los residuos de las plantas; por lo cual, los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica. También las condiciones edafoclimáticas de los centros de apoyo, antes mencionadas son diferentes.

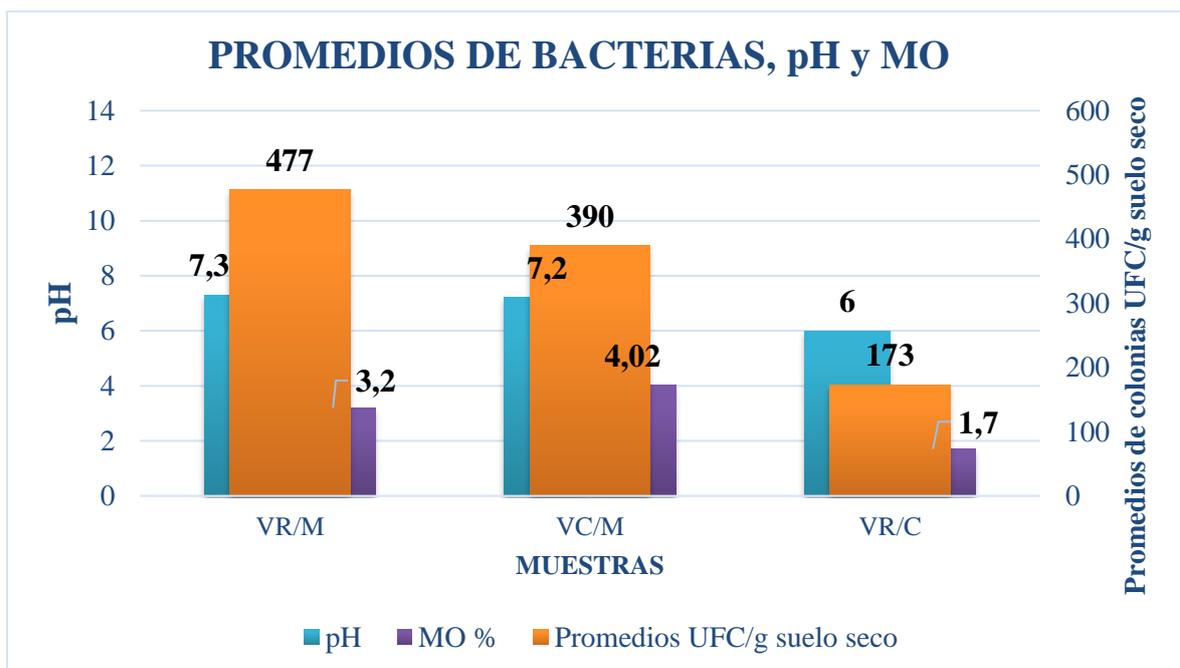


Figura 5. Promedios de colonias de bacterias rizosféricas, pH y materia orgánica de las variedades Robusta y Caturra

3.4 Identificación de hongos rizosféricos en el cultivo de café variedades Robusta y Caturra

En la var. Robusta localizada en Manglaralto, se aislaron cinco géneros de microhongos en la rizosfera, los cuales fueron *Corticium salmonicolor*, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Verticillium* sp. Acorde a Hernando *et al.* (2012) en su estudio de identificación de hongos rizosféricos aislaron a los géneros *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Fusarium* sp., coincidiendo con tres géneros aislados en este trabajo (Figura 6).

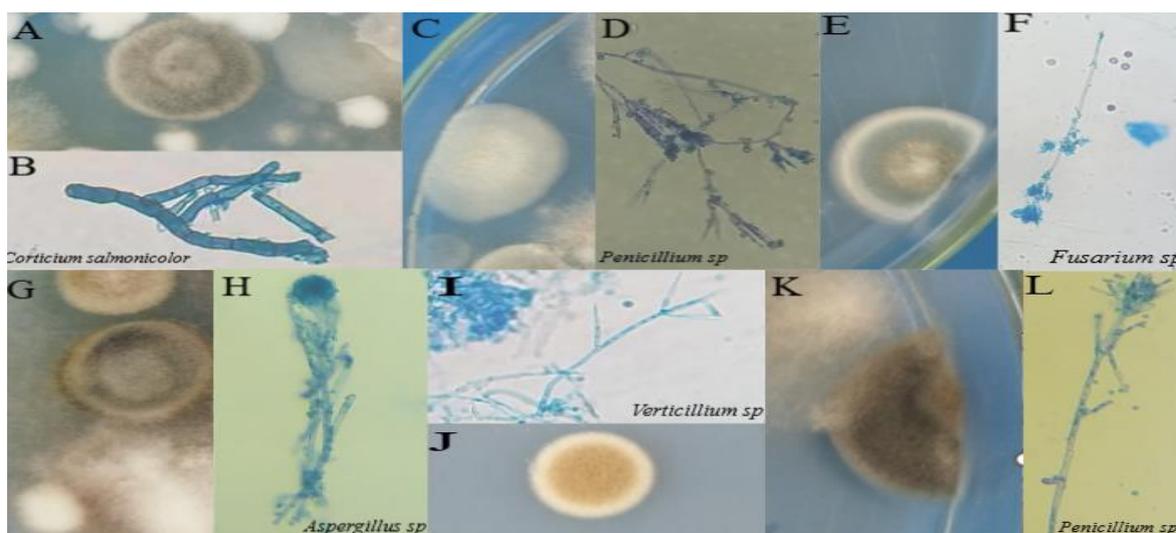


Figura 6. Microhongos aislados **A, B** *Corticium salmonicolor*, **C, D** *Penicillium* sp en la dilución 10^{-2} , **E, F** *Fusarium* sp en la dilución 10^{-4} , **G, H** *Aspergillus* sp, **I, J** *Verticillium* sp en la dilución 10^{-5} , **K, L** *Penicillium* sp en la dilución 10^{-3}

En la var. Robusta situada en Colonche, se aislaron tres géneros de microhongos aislados en la rizosfera, los cuales fueron *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp., coincidiendo con Duong *et al.* (2020) donde identificaron los géneros *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp y *Trichoderma* sp. Teniendo similitud con los géneros *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., aislados en este trabajo (Figura 7).

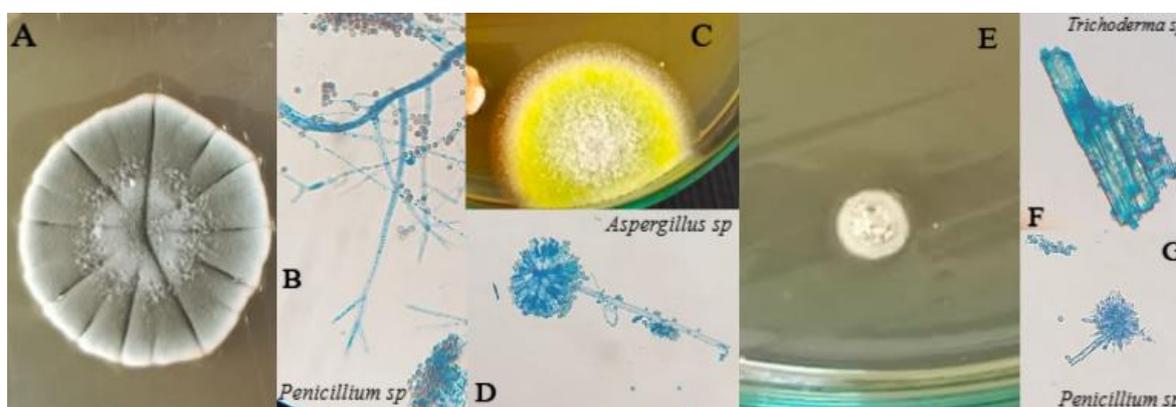


Figura 7. Microhongos aislados **A, B** *Penicillium* sp, **C, D** *Aspergillus* sp en la dilución 10^{-4} , **E, F** *Trichoderma* sp, **G** *Penicillium* sp en la dilución 10^{-5}

En la var. Caturra ubicada en Manglaralto, se aislaron cinco géneros de microhongos en la rizosfera *Verticillium* sp., *Penicillium* sp., *Marasmius* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp., coincidiendo con Arias *et al.* (2022) en la identificación de microhongos con la misma variedad de café, entre los géneros encontrados fueron *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp (Figura 8).

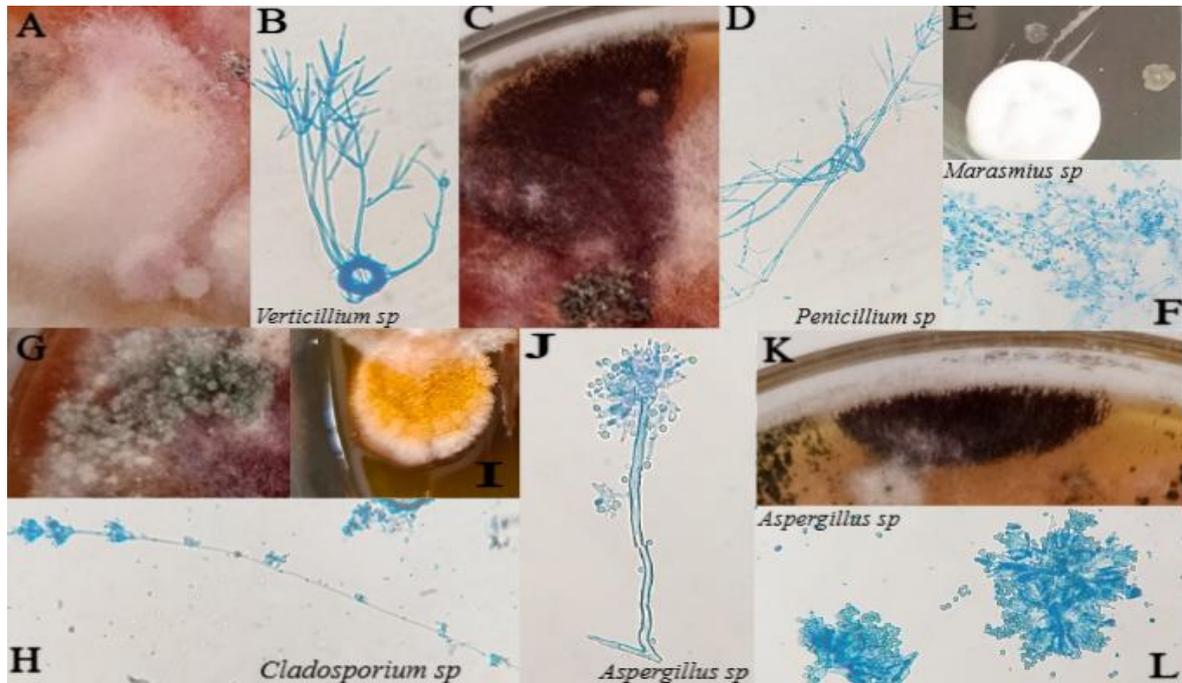


Figura 8. Microhongos aislados **A, B** *Verticillium* sp, **C, D** *Penicillium* sp, en la dilución 10^{-2} , **E, F** *Marasmius* sp en la dilución 10^{-5} , **G, H** *Cladosporium* sp en la dilución 10^{-2} , **I, J** *Aspergillus* sp, **K, L** *Aspergillus* sp en la dilución 10^{-3}

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se evaluaron tres muestras de suelo provenientes de diferentes puntos del cultivo de café variedades Robusta y Caturra en los centros de apoyo Manglaralto y Colonche, y a partir de estos resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Se describieron las propiedades físicas y químicas del suelo en las variedades Robusta y Caturra Manglaralto, encontrando similitudes en las propiedades físicas y químicas de ambas variedades; mientras que, MO % y pH mostraron valores diferentes entre la var. Robusta Manglaralto y Colonche, esto podría deberse al tiempo en producción que tiene la var. Robusta y a las condiciones edafoclimáticas. Los niveles de nutrientes eran altos en general, lo que es favorable para el crecimiento del café.

Se identificaron tres microhongos aislados en el suelo del cultivo de café, de las variedades Robusta y Caturra Manglaralto, coincidiendo con los géneros *Verticillium* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. En Manglaralto y Colonche, la var. Robusta, presenta coincidencia con los géneros *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp.; así como los géneros *Corticium salmonicolor* y *Fusarium* sp., en la var. Robusta Manglaralto considerados como patógenos, al igual que el género *Verticillium* sp.

Se estima que el conteo de UFC/g suelo seco encontrado tendría una posible relación entre la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, los niveles de pH y materia orgánica de las variedades Robusta y Caturra Manglaralto; a diferencia del suelo de la var. Robusta en Colonche que muestra un pH ligeramente ácido y bajos niveles de MO. Confirmando que estos factores son de gran importancia para la proliferación de microorganismos en el suelo, los cuales son beneficiosos para mantener la fertilidad de este.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda lo siguiente para futuras investigaciones:

- Buscar alternativas para los medios de cultivos establecidos de tal forma que permitan aislar otros grupos funcionales de microorganismos presentes en la rizosfera.

- Investigar otras poblaciones de microorganismos en los cultivos estudiados debido a que esto podría proporcionar información complementarias al estudio de la comunidad rizobiana del suelo y su potencial impacto en la producción agrícola.
- Complementar los estudios de identidad microbiana con técnicas bioquímicas y moleculares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amberger, A., 2006. Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics. In: IFA-IKA, ed. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Potash Institute. Paris: IFA and IPI, pp. 5-12.
- Arcila, P. J., 2007. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. 1 ed. Colombia: Cinecafé.
- Arias, M. R. M., Juárez, G. A., Heredia, A. G. & De la Cruz, E. Y., 2022. Capacidad fosfato solubilizadora de hongos rizosféricos provenientes de cafetales de Jilotepec, Veracruz. *Alianzas y tendencias BUAP*, 27(7), pp. 69-74.
- Arriaga, A., 2022. Preferencia de consumo de forrajes de ramoneo con venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en cautiverio de la Provincia de Santa Elena. 1 ed. La Libertad: UPSE-Facultad de Ciencias Agrarias.
- Arzube, M. M., Orrala Borbor, N. & León Mejía, Á. & R. F. L., 2017. Comportamiento productivo de clones de café robusta (*Coffea Canephora p*) en Manglaralto. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, IV(1), pp. 34-38.
- Bellows, B., 2020. Soil Health Indicators and Tests. In: ATTRA, ed. Sustainable agriculture. Texas: NCAT, p. 8.
- Bermeo, J. D. A. & Lasluisa, V. P. S., 2020. Calidad del suelo mediante parámetros físicos químicos y microbiológicos en los cultivos de café (*Coffea arabica*, *Coffea canephora*) del centro de investigación y posgrado para la concervación Amazónica. 1 ed. Puyo: EUA.
- Camargo, & P., 1994. Requerimientos térmicos. *La agroclimatología del cafeto*, Issue 15, p. 150.
- Coyne, M., 2007. Microbiología del suelo. un enfoque exploratorio. *Paraninfo*, p. 416.
- Crespo, A. L. D. R. & Julio, J. A. P., 2012. Identificación y caracterización de *Rhizobium* nativo para la producción de biofertilizante en la provincia de Santa Elena. 104 P ed. Libertad: UPSE. Matriz: Facultad de Ciencias Agrarias.
- Cruz, R., Piraneque, N. & Aguirre, S., 2023. Introducción a la Biología y Microbiología de suelos. 1nd ed. Colombia: Unimagdalena.
- Cuadra Arauz, E. E., Gutiérrez Gaitán, Y. Y., Sánchez Gómez, I. E. & Contreras Estrada, S. P., 2023. Diagnóstico de enfermedades bacterianas en el cultivo de café. 23 ed. Nicaragua: La calera.
- De la Rosa, D., 2008. Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. 404 ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B., 1994. Definición y evaluación de la calidad del suelo. *Definición y evaluación de la calidad del suelo para un medio ambiente sosteible*, 35(1).
- Duong, B. et al., 2020. Coffee microbiota and its potential use in sustainable crop management. A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(Article 607935). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607935>, p. 5.
- Enriquez, N. M., 2016. Elaboración y evaluación de un medio de cultivo sólido a partir de quinua, *chenopodium quinoa*, para la producción del hongo *lentinus spp.*. 1 ed. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Farfán, F., 2020. Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales - SAF. In: Cinecafé, ed. Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café. Colombia: En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed), pp. 73-123.
- Fernández, G., 2018. PROPUESTA DE UN DISEÑO AGROFORESTAL CON CAFE Y MANEJO ORGÁNICO EN LA REGIÓN MONTEVERDE. COSTA RICA: Tecnológico de Costa Rica.
- Fernández, F., 2017. Guia para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café Robusta (*Coffea canephora P*). In: I. G. María & H. Hugo, eds. Guia de aprendizaje

- No 008. Orellana: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), p. 104.
- Finch, H. D. & Finch, A. N., 1974. Los hongos comunes que atacan los cultivos en America Latina. 1 ed. México: Editorial Trillas, S. A.
- GADPO, 2018. Manual para el estudio de la Fertilidad de los Suelos Agrícolas. Orellana : Artes Gráficas SILVA .
- Gispert, N. M. A., 1987. Estudio de la influencia de la materia orgánica sobre la actividad biológica del suelo y sobre el ciclo del nitrógeno. 1 ed. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gomer, G., Ponce, R. & Berrospi, J., 2014. Manejo agronómico del cultivo de café. 1 ed. Perú: Boletín técnico .
- Gómez, D. & Pulido, L., 2019. Hongos micorrízicos arbusculares y trichoderma harzianumr: Alternativas ecológicas para la producción de posturas de café (coffea arabical.) en el estado Tchira, Venezuela. 8, 12-28 ed. Venezuela: Universidad y Ciencia.
- Goyes, P. A., 2021. PROPUESTA DE ORDENAMIENTO AGROECOLÓGICO DEL CENTRO DE APOYO MANGLARALTO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. La Libertad: UPSE, Matriz: Facultad de Ciencias Agrarias.
- Gutiérrez, V. A., 2014. Aportes a la rehabilitación ecosistemica de áreas riparias con énfasis en calidad de suelos y producción dendroenergética por medio de arreglos agroforestales en zonas ganaderas del Piedemonte Llanero. 1 ed. Colombia: Alianza Corpoica.
- Hernández, E., Pérez, F. & Godínez, L., s.f. La producción y el consumo del café. ECORFAN ed. México: Garcia Miranda Martha, PhD.
- Hernando, P. R. et al., 2012. Relaciones entre los hongos filamentosos y solubilizadores de fosfatos con algunas variables edáficas y el manejo de cafetales. 60(3), pp. 1083-1085.
- ICAFE, 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. 1ra ed. Heredia Costa Rica: ICAFE-CICAFE.
- ICO, 2021. Historia del café. [Online] Available at: https://www.ico.org/ES/coffee_storyc.asp [Accessed 10 Junio 2024].
- INIAP, 1993. Manual del cultivo de café. 1 ed. Quevedo: Estación Experimental Tropical Pichilingue.
- INIAP, 1994. "EL MANEJO DE CAFE ROBUSTA Coffea canephora EN LA REGION AMAZONICA". N° 27 ed. "Napo - Payamino": Ing. Mario Jativa Reyes. Agr. Leider Tinoco Jaramillo.
- INIAP, 1995. Control Integrado de las principales Enfermedades Foliares del Cafeto en el Ecuador. 1.000 ejemplares ed. Quevedo Ecuador: Ing. Ignacio Sotomayor Herrera, ng. Luis Duicela Guambi .
- Khalid, M. A.-A., Isam, M. A. Z. & Al-Attar, A. M., 2020. Medicinal Properties of Arabica coffee (Coffea arabica) Oil: An Overview. Advancements in Life Sciences – International Quarterly Journal of Biological Sciences, 8(1), p. 22.
- Larios, G. R., F, S. M. & García, C. L., 2014. Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. Producción de plantas, 14(23), pp. 72-73.
- Lindao, K., 2016. Selección preliminar de líneas de café Robusta (Coffea canephora P.) con base al rendimiento y características agronómicas deseadas en la zona de Colonche provincia de Santa Elena. 1 ed. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guyaquil.
- Lopéz, D., 2017. Descripción de la planta de café, Galicia: Bosques comestibles.

- Lozano, S. J., Armbrrecht, I. & Montoya, L. J., 2015. Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Agroecología y Sistemas de Uso del Suelo*, 4(64), pp. 289-296.
- Luzuriaga, C. C. J., 2022. Fomulación y evaluación de biocatalizador para plantas de café (*Coffea arabica*) a nivel vivero. 1 ed. Macas: ESPOCH.
- Madigan, M., Martinko, J. & & Parker, J., 2000. *Biología de los microorganismos*. 8va ed. s.l.:Pearson.
- Moguel, P. & Toledo, V. M., 1999. Café luchas indígenas y sostenibilidad; el caso de México. *Ecología Política*, 18(11), pp. 4-11.
- Monge, L. F., 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. 3 ed. Costa Rica: Grupo Cafe Britt - Tierra Madre, S.A..
- Pérez, D. A., 2011. Fertilización y requerimientos de nitrógeno para plantaciones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta cultivada en suelos Pardos de la región oriental premontañosa de Cuba. 1 ed. Cuba: UG INCA.
- Pilatasig, M., 2017. Respuestas agronómicas de plantas de café arábica a la aplicación de abonos edáficos y foliares, La Mana, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Pilozo, M. W. et al., 2022. PRINCIPALES ENFERMEDADES DE CAFÉ ARÁBIGO (*Coffea arabica* L.). *Revista Científica Multidisciplinaria*, 26(2), pp. 117-134.
- Pozo, C. M., 2014. Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011. 1 ed. Quito: PUCE.
- Pozo, E., 2021. Evaluación multitemporal de la cubierta forestal en la Parroquia Colonche, Provincia de Santa Elena. 1 ed. La Libertad: UPSE-Facultad de Ciencias Agraria.
- Prates, J. P. et al., 2021. Soil microorganisms and quality of the coffee beverage. In: y. T. R. M. In L. Louzada Pereira, ed. *Quality determinants in coffee production*. Springer, Cham: food engineering series, pp. 101-147.
- PROCAGICA, 2020. *Guía práctica de caficultura*. 3 ed. El Salvador: Creative Commons Attribution.
- Rikolto., 2021. *Café ecuatoriano, aromatizando la economía nacional*, Loja-Ecuador: s.n.
- Romero, J. & Camilo, J., 2019. *Manual de producción sostenible de café*, Santo Domingo, Republica Dominicana: IICA.
- Sadeghian, K. S., 2016. La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. In: L. S. M. Marín, ed. *Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura Colombiana*. Colombia: CENICAFÉ, p. 3.
- Sadeghian, K. S., 2019. Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición. In: K. S. Sadeghian, ed. *Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo de café ajustado a las condiciones particulares del HUILA*”. 4 ed. Colombia: CENICAFÉ, pp. 85-87.
- Sadeghian, S., 2021. Nutrición de cafetales. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad*, Issue 3, pp. 101-1015.
- Sánchez, G. M. C., 2022. Presencia de Rizobios en *Leucaena leucocephala* localizada en tres sitios de la Península de Santa Elena. 31 p ed. La Libertad: UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Sánchez, P. A. & Gómez, R., 2015. *Cultivo de café*. Machala-Ecuador: Universidad tecnica de Machala.
- Silva, M., 2018. *Cultivo de café: cómo es, proceso y factores que influyen*. Agrotendencia.. [Online] Available at: <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/el-cultivo-de-cafe/> [Accessed 13 Junio 2024].
- Silveria, E., 1987. *Microbiología del ambiente*. 1 ed. Nicaragua: Universidad Central de las Villas .

- Soto-Valenzuela, J., Álvarez-Vera, M. & Vázquez, J. y. R. G., 2024. Evaluación físico, químico y microbiológico del suelo en el cultivo de *Musa paradisiaca* Cavendish y *Elaeis guineensis* Jac. 8(22), p. 110–125.
- Stevens, R., Laughlin, R. & Malone, J., 1998. El pH del suelo afecta a los Procesos que reducen el nitrato a óxido nitroso y dinitrógeno.. *Biología del Suelo y Bioquímica.*, 30(8-9), p. 1149 – 1126.
- Suazo, U. T. D., 2020. Caracterización morfológica y molecular de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catrenic proveniente de las fincas CENECOOP-Fedecaruna y El Rosal de Nicaragua, Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua, 2018-2020. Nicaragua: Recinto Universitario Rubén Darío Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M. & Othman, Y. A. & L. D. I., 2020. Soil health and sustainable agriculture. 12(12), pp. 5-8.
- Tarazona, 2021. La importancia de los microorganismos en la agricultura, España: Fertilosofía, fertilización eficiente y sostenible.
- Urgiles-Gómez, N. et al., 2023. Microorganismos benéficos con potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo, 13(1), pp. 103-113.
- Valverde, L. A. et al., 2022. Análisis computacional de las caracterizaciones físico química de los suelos cafetaleros del Sur de Manabí – Ecuador. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 15(11), pp. 37-45.
- Velmourougane, K. et al., 2000. Microflora associated with high and low grown Arabica and Robusta coffee. *Journal Coffee Research*, 28(1/2), pp. 9-19.
- Venegas, S., D, O. & P., & P., 2018. La realidad Ecuatoriana en la producción del café. *Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, Volumen 2, pp. 75-76.
- Zamora, O., 2023. IDENTIFICACIÓN DE RIZOBIOS EN LAS LEGUMINOSAS *Clitoria* sp. y *Cajanus cajan* EN DOS ZONAS PRODUCTIVAS DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA. La Libertad: UPSE, Matriz: Facultad de Ciencias Agrarias.
- Zúñiga, D., 2012. Manual de microbiología agrícola *Rhizobium*, PGPRS, Indicadores de Fertilidad e Inocuidad. 1ra ed. Perú: María Beatriz Olaya Morales.

ANEXOS

Anexo 1A. Informe de análisis de suelo de las variedades Robusta y Caturra Manglaralto.

| | | |
|---|--|--|
|  | ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS <small>Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador</small> <small>Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec</small> | LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE N°OAE LE C 11-007 |
|---|--|--|

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

| DATOS DEL PROPIETARIO | | | DATOS DE LA PROPIEDAD | | | DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|-----------------------|--|--|-----------------------|-------------|--|---------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------|--|--|
| Nombre : | UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA | | Nombre : | S/N | | Informe No. : | 00066 | | | Factura No. : | 9483 | | |
| Dirección : | SANTA ELENA | | Provincia : | SANTA ELENA | | Responsable Muestreo : | Cliente | | | Fecha Análisis : | 22/02/2024 | | |
| Ciudad : | LA LIBERTAD | | Cantón : | SANTA ELENA | | Fecha Muestreo : | 01/02/2024 | | | Fecha Emisión : | 23/02/2024 | | |
| Teléfono : | 042781732 | | Parroquia : | MANGLARALTO | | Fecha Ingreso : | 09/02/2024 | | | Fecha Impresión : | 27/02/2024 | | |
| Fax : | 042781971 | | Ubicación : | NE | | Condiciones Ambientales : | T°C:25.3 %H: 54.5 | | | Cultivo Actual : | CAFÉ | | |

| N° Laborat. | Identificación | * Textura (%) | | | * Clase Textural | meq/100ml | | | mS/cm | C.E. (%) | meq/100ml | | | | Ca | Mg | Ca+Mg | | | | | | | | |
|-------------|----------------|---------------|------|---------|------------------|-----------|------|------|-------|----------|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | | Arena | Limo | Arcilla | | * Al+H | * Al | * Na | | | * M.O. | K | * Ca | * Mg | | | | Σ Bases | Mg | K | K | | | | |
| 78800 | ZONA 1 | 27 | 35 | 38 | Franco-Arcilloso | | | | | | 4.02 | M | 4.47 | A | 13.36 | A | 2.93 | A | 20.75 | 4.56 | M | 0.66 | B | 3.64 | B |
| 78801 | ZONA 2 | 28 | 33 | 36 | | | | | | | | 3.20 | M | 4.06 | A | 21.58 | A | 2.42 | A | 28.06 | 8.92 | A | 0.60 | B | 5.92 |

| Interpretación | |
|----------------------|-----------------|
| Al+H, Al, Na | C.E. |
| Ad = Adecuado | NS = No Salino |
| LT = Ligeram. Tóxico | LS = Lg. Salino |
| T = Tóxico | S = Salino |
| | MS = Muy Salino |

| Abreviaturas |
|--|
| C.E. Conductividad Eléctrica |
| M.O. Materia Orgánica |
| CIC Capacidad de Intercambio Cationico |

| Determinación | Metodología | Extractante |
|---------------|----------------------------|-------------------|
| M.O. | Walkley Black | Dicromato de K |
| CIC | | Acetato de Amonio |
| Na | | Cloruro de Bario |
| C.E. | Extracto de pasta salinada | Agua |

| Lig. Tóxico meq/100ml | Niveles de Referencia | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | Lig. Salino (dS/m) | | Medio | Medio (meq/100ml) |
| Al+H | 0.51 - 1.5 | C.E. 2.0 - 4.0 | Ca/Mg 2.0 - 8.0 | K 0.2 - 0.4 |
| Al | 0.31 - 1.0 | Medio (%) | Mp/K 2.5 - 10.0 | Ca 4 - 8 |
| Na | 0.5 - 1.0 | M.O. 3.1 - 9.0 | (Ca+Mg)/K 12.5 - 50.0 | Mg 1 - 2 |

NE = No entregado

<LC = Menor al Límite de Cuantificación

Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE.

Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al SAE.

** Ensayo subcontratado.

Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad

Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente


Responsable Técnico del Laboratorio

Msc. Diana Acosta J.

Anexo 2A. Informe de análisis de suelo de la variedad Robusta Colonche.

| | | |
|---|---|--|
|  | ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS <small>Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec</small> | LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE N°OAE LE C 11-007 |
|---|---|--|

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

| DATOS DEL PROPIETARIO | | | DATOS DE LA PROPIEDAD | | | DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|-----------------------|--|--|-----------------------|-------------|--|---------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------|--|--|
| Nombre : | UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA | | Nombre : | SN | | Informe No. : | 00068 | | | Factura No. : | 9483 | | |
| Dirección : | SANTA ELENA | | Provincia : | SANTA ELENA | | Responsable Muestreo : | Cliente | | | Fecha Análisis : | 22/02/2024 | | |
| Ciudad : | LA LIBERTAD | | Cantón : | SANTA ELENA | | Fecha Muestreo : | 01/02/2024 | | | Fecha Emisión : | 23/02/2024 | | |
| Teléfono : | 042781732 | | Parroquia : | COLONCHE | | Fecha Ingreso : | 09/02/2024 | | | Fecha Impresión : | 27/02/2024 | | |
| Fax : | 042781971 | | Ubicación : | NE | | Condiciones Ambientales : | T°C:25.3 %H: 54.5 | | | Cultivo Actual : | CAFÉ | | |

| N° Laborat. | Identificación | * Textura (%) | | | * Clase Textural | meq/100ml | | | mS/cm | C.E. (%) | meq/100ml | | | | Ca Mg | Ca+Mg | |
|-------------|----------------|---------------|------|---------|------------------|-----------|------|------|-------|----------|-----------|-------|------|-------|-------|-------|---------|
| | | Arena | Limo | Arcilla | | * Al+H | * Al | * Na | | | * M.O. | K | * Ca | * Mg | | | Σ Bases |
| 78803 | MUESTRA 1 | 23 | 70 | 10 | Franco-Limoso | | | | | 1,7 | 3,83 | 10,05 | 6,44 | 20,33 | 1,56 | 1,68 | 4,31 |

| Interpretación | |
|----------------------|------------------|
| Al+H, Al, Na | C.E. |
| Ad = Adecuado | NS = No Salino |
| LT = Ligeros, Tóxico | LS = Lig. Salino |
| T = Tóxico | S = Salino |
| | MS = Muy Salino |

| Abreviaturas |
|--|
| C.E. Conductividad Eléctrica |
| M.O. Materia Orgánica |
| CIC Capacidad de Intercambio Catiónico |

| Determinación | Metodología | Extractante |
|---------------|---------------------------|-------------------|
| M.O. | Walkley Black | Dicromato de K |
| CIC | | Acetato de Amonio |
| Na | | Cloruro de Bario |
| C.E. | Extrato de pasta saturada | Agua |

| Liq. físico meq/100ml | Suelos de Referencia | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
| | Liq. Salino (d/dm) | | Medio | Medio (meq/100ml) |
| Al+H | 0.51 - 1.5 | C.E. 2.0 - 4.0 | CaMg 2.0 - 8.0 | K 0.2 - 0.4 |
| Al | 0.31 - 1.0 | Medio (%) | MgK 2.5 - 10.0 | Ca 4 - 8 |
| Na | 0.5 - 1.0 | M.O. 3.1 - 5.0 | (Ca+Mg)/K 12.5 - 50.0 | Mg 1 - 2 |

NIE = No entregado

<LC = Menor al Límite de Cuantificación
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE.
 Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 ** Ensayo subcontratado.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad.
 Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente


Responsable Técnico del Laboratorio

Mgs. Diana Acosta J.

Anexo 3A. Tabla con los promedios UFC/g suelo seco de hongos por muestra.

| CULTIVO | MUESTRAS | SUBMUESTRAS | REPETICIONES | CANT. COLONIAS | X Colonias | UFC/g Suelo Seco |
|------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------------|
| CAFÉ | M1 VR/M | 10 ⁻² | R1 | 53 | 56 | 24 |
| | | | R2 | 51 | | |
| | | | R3 | 64 | | |
| | | 10 ⁻³ | R1 | 46 | 35 | |
| | | | R2 | 30 | | |
| | | | R3 | 32 | | |
| | | 10 ⁻⁴ | R1 | 15 | 13 | |
| | | | R2 | 11 | | |
| | | | R3 | 13 | | |
| | 10 ⁻⁵ | R1 | 6 | 9 | | |
| | | R2 | 5 | | | |
| | | R3 | 15 | | | |
| | M2 VC/M | 10 ⁻² | R1 | 70 | 78 | 34 |
| | | | R2 | 83 | | |
| | | | R3 | 81 | | |
| | | 10 ⁻³ | R1 | 60 | 54 | |
| | | | R2 | 48 | | |
| | | | R3 | 55 | | |
| | | 10 ⁻⁴ | R1 | 12 | 14 | |
| | | | R2 | 13 | | |
| | | | R3 | 16 | | |
| | 10 ⁻⁵ | R1 | 7 | 5 | | |
| | | R2 | 1 | | | |
| | | R3 | 6 | | | |
| M1 VR/C | 10 ⁻² | R1 | 32 | 36 | 9 | |
| | | R2 | 45 | | | |
| | | R3 | 35 | | | |
| | 10 ⁻³ | R1 | 10 | 14 | | |
| | | R2 | 16 | | | |
| | | R3 | 17 | | | |
| | 10 ⁻⁴ | R1 | 3 | 3 | | |
| | | R2 | 4 | | | |
| | | R3 | 3 | | | |
| 10 ⁻⁵ | R1 | 3 | 1 | | | |
| | R2 | 0 | | | | |
| | R3 | 1 | | | | |

Anexo 4A. Tabla con los promedios UFC/g suelo seco de bacterias por muestra.

| CULTIVO | MUESTRAS | SUBMUESTRAS | REPETICIONES | CANT. BACTERIAS | X Colonias | UFC/g Suelo Seco |
|------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| CAFÉ | M1 VR/M | 10 ⁻² | R1 | 720 | 647 | 477 |
| | | | R2 | 680 | | |
| | | | R3 | 540 | | |
| | | 10 ⁻³ | R1 | 532 | 537 | |
| | | | R2 | 600 | | |
| | | | R3 | 480 | | |
| | | 10 ⁻⁴ | R1 | 452 | 417 | |
| | | | R2 | 468 | | |
| | | | R3 | 332 | | |
| | 10 ⁻⁵ | R1 | 142 | 128 | | |
| | | R2 | 125 | | | |
| | | R3 | 116 | | | |
| | M2 VC/M | 10 ⁻² | R1 | 400 | 432 | 390 |
| | | | R2 | 416 | | |
| | | | R3 | 480 | | |
| | | 10 ⁻³ | R1 | 480 | 464 | |
| | | | R2 | 464 | | |
| | | | R3 | 448 | | |
| | | 10 ⁻⁴ | R1 | 368 | 347 | |
| | | | R2 | 352 | | |
| | | | R3 | 320 | | |
| | 10 ⁻⁵ | R1 | 320 | 213 | | |
| | | R2 | 320 | | | |
| | | R3 | INCONTABLES | | | |
| M1 VR/C | 10 ⁻² | R1 | 412 | 432 | 173 | |
| | | R2 | 384 | | | |
| | | R3 | 500 | | | |
| | 10 ⁻³ | R1 | 184 | 159 | | |
| | | R2 | 292 | | | |
| | | R3 | INCONTABLES | | | |
| | 10 ⁻⁴ | R1 | 220 | 189 | | |
| | | R2 | 196 | | | |
| | | R3 | 144 | | | |
| 10 ⁻⁵ | R1 | 100 | 108 | | | |
| | R2 | 112 | | | | |
| | R3 | 112 | | | | |

Anexo 5A. Muestras de suelo Variedad Robusta y Caturra.



Anexo 6A. Reactivos para preparación de PDA y LMA.



Anexo 7A. Muestras madres 10^{-1} para la preparación de diluciones.



Anexo 8A. Preparación de diluciones 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} .



Anexo 9A. Siembra de microorganismos en los medios de cultivos.



Anexo 10A. Incubación de muestras para la proliferación de microorganismos.



Anexo 11A. Conteo de UFC de hongos y bacterias.

