



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO MEDIANTE
MICROORGANISMOS EN PLANTACIONES
DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**

AUTORAS:

**PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO
MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO**

TUTOR:

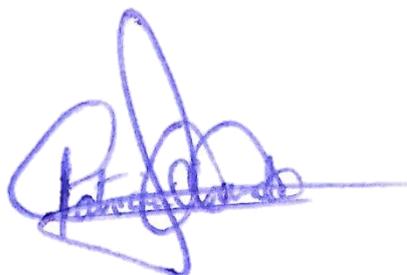
ING. FABRICIO ENRIQUE ALCIVAR INTRIAGO, M. Sc.

CALCETA, JULIO 2023

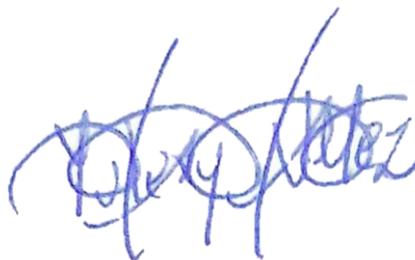
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO** con cédula de ciudadanía **1316333762** y **MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO** con cédula de ciudadanía **1313604017**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO MEDIANTE MICROORGANISMOS EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica*)** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



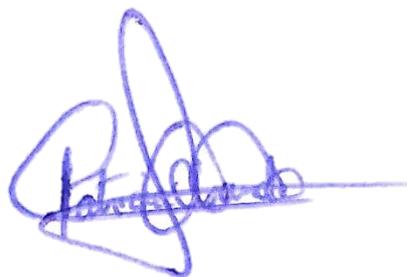
PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO
CC: 1316333762



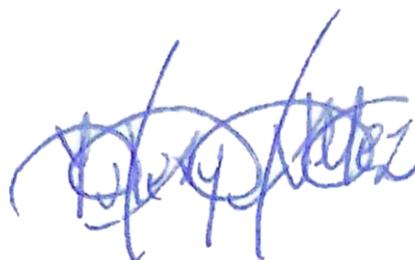
MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO
CC: 1313604017

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO con cédula de ciudadanía **1316333762** y **MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO** con cédula de ciudadanía **1313604017**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO MEDIANTE MICROORGANISMOS EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO
CC: 1316333762



MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO
CC: 1313604017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO M. Sc, certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO MEDIANTE MICROORGANISMOS EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**, que ha sido desarrollada por **PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO** y **MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. FABRICIO ALCÍVAR INTRIAGO, M. Sc.

CC: 1308632262

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO MEDIANTE MICROORGANISMOS EN PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica*)**, que ha sido propuesto y desarrollado por **PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO Y MARÍA YULEXY VÉLEZ HIDALGO**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOSÉ CALDERÓN PINCAY, M. Sc.
CC: 2300121833

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. KEVIN PATIÑO A., M. Sc.
CC: 1313231118

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. CARLOS SOLÓRZANO S., M. Sc.
CC: 1306071984

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, que nos dio la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día a través de nuestras destrezas;

A nuestros padres, a nuestras familias por motivarnos a seguir adelante, ser esos pilares que nos impulsaron, por ser ese apoyo incondicional, brindándonos sus buenos ejemplos y valores desde casa para ser mejores personas con el pasar de los días.

A nuestro asesor de tesis, el Ing. Fabricio Alcívar Intriago, por estar presto y ayudarnos en la trayectoria de nuestra tesis. Al Dr. José Ormaza, Ing. Fabián Peñarrieta, Ing. Diego Zambrano, Ing. Diana Andrade, Ing. Carlos Banchón, al Ing. José Manuel Calderón, a la PhD. Cecilia Parra y la Ing. Judith Cevallos López, por su inestimable ayuda y orientación en todo el proceso de investigación, en especial queremos expresar nuestra gratitud por la dedicación de su tiempo, esfuerzo y colaboración en cada fase de este proyecto;

Al personal docente de la carrera de Ingeniería Ambiental, por ser guías que nos brindaron sus conocimientos y herramientas durante cinco años para nuestra formación profesional y esta travesía conocida como vida.

A nuestros compañeros de clases, ya que con ellos recibíamos conocimientos que nos hacían crecer como personas cada día y aprendíamos cosas nuevas todos los días.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

A Dios, por la dicha de aprovechar cada día, por la sabiduría y fortalezas que adquirimos en cada paso que damos a lo largo de nuestra vida académica y personal;

A mis abuelos, Bienvenido Zambrano (+) e Inés Bravo, por su amor de padre y madre, por sus esfuerzos y apoyo para seguir adelante, por sus valores y consejos que me enseñan cada día a ser mejor que ayer;

A mi madre, la Ing. María Fernanda Zambrano Bravo, por todo el esfuerzo y apoyo, por el sacrificio que hace día a día para salir a delante y brindarnos todo lo que necesitamos, por ser mi modelo a seguir, mi inspiración y motivo de lucha para poder retribuirle un poco de todo el amor y apoyo que nos brinda;

A mi pequeña familia, mi pareja Jahir Herrera y mi amado hijo Elián; por ser los engranajes que me ayudan a seguir avanzando, por su compañía, amor y paciencia, por ser parte de mi motivación para mejorar día a día en mi vida personal y profesional, por el apoyo para superar los obstáculos que se nos atraviesen;

A todas las personas que participaron en este estudio, especialmente a mis amigos por su apoyo incondicional, por sus palabras de consuelo y aliento, lo que me impulsó a seguir, junto con la motivación para seguir luchando por mis metas a lo largo de mi vida.

PATRICIA VALENTINA OBANDO ZAMBRANO

DEDICATORIA

A Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, por ser esa luz que ilumina mi mente y derrama sus bendiciones en cada instante.

A mis padres, Auxiliadora Hidalgo e Hilario Vélez por brindarme su apoyo y confianza, pero sobre todo su amor incondicional, a mi segunda madre Norma Hidalgo por estar presta a escucharme, entenderme y apoyarme en toda la trayectoria de mi carrera universitaria; y a mis hermanos Jefferson Vélez y Diego Vélez por creer y confiar en mí;

A mi abuelita, Emérita Vera por inculcarme siempre los buenos valores, brindarme su inmenso amor y dándome fuerzas cada día para que sea una profesional, así mismo a mi sobrino Kendrick Vélez por ser mi mayor inspiración en seguir adelante, a mi hermana de corazón Nataly Zambrano por ser ella mi ejemplo a seguir, animándome cada día a no rendirme y ser una persona exitosa en la vida.

A mi novio, Jean Carlos García por motivarme a seguir adelante, apoyarme cada instante y a toda mi familia en general por sus palabras de aliento a lo largo de mi carrera.

MARÍA YULEXY VELÉZ HIDALGO

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
CONTENIDO GENERAL	ix
CONTENIDO DE TABLAS	xii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xii
CONTENIDO DE ECUACIONES.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. HIPÓTESIS.....	6
1.4.1. HIPÓTESIS NULA.....	6
1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVAS	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ORIGEN DEL CAFÉ ARÁBICO	7
2.2. GENERALIDADES DEL CAFÉ.....	7
2.2.1. TAXONOMÍA DEL CAFÉ.....	7

2.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	8
2.2.3. IMPORTANCIA DEL CAFÉ	8
2.3. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS	8
2.3.1. SUELO	8
2.3.2. CALIDAD DEL SUELO.....	9
2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DEL SUELO.....	9
2.4. CAPTURA DE CARBONO.....	12
2.4.1. CARBONO.....	12
2.4.2. CICLO DEL CARBONO	12
2.4.3. CAPTACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO	13
2.4.4. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL CO ₂	13
2.4.5. CAPTACIÓN DE CARBONO EN CULTIVO DE CAFÉ.....	14
2.5. MICROORGANISMOS EN EL SUELO.....	14
2.5.1. BACTERIAS	15
2.5.2. HONGOS	16
2.6. MEDIOS DE CULTIVO PARA LOS MICROORGANISMOS	17
2.7. APLICACIÓN EN EL SUELO	17
2.8. ANÁLISIS DE CARBONO POR EL MÉTODO DE TITULACIÓN	18
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	19
3.1. UBICACIÓN.....	19
3.2. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS	19
3.3. DURACIÓN.....	20
3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	20
3.5. MÉTODOS.....	20
3.5.1. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO	20
3.5.2. HIPOTÉTICO – DEDUCTIVO	20
3.5.3. MÉTODO ESTADÍSTICO.....	21

3.5.4. MÉTODO DE TITULACIÓN SIMPLE	21
3.5.5. MÉTODO DE IGNICIÓN	21
3.6. TÉCNICAS.....	21
3.6.1. LA OBSERVACIÓN.....	21
3.6.2. LABORATORIO	21
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	22
3.8. VARIABLES A MEDIR.....	22
3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO	22
3.9.1. FASE I. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMO QUE PROMUEVAN LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ EN LA ESPAM MFL.....	22
3.9.2. FASE II. DETERMINAR EL EFECTO DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ DE LA ESPAM MFL	24
3.9.3. FASE III. ESTABLECER EL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA DE FORMA ESTADÍSTICA	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS QUE PROMUEVAN LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ EN LA ESPAM MFL ..	30
4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ DE LA ESPAM MFL	31
4.3. ESTABLECIMIENTO DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA DE FORMA ESTADÍSTICA	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1. CONCLUSIONES.....	40
5.2. RECOMENDACIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	57

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación taxonómica del café.....	7
Tabla 3.1. Características edafoclimáticas de la ESPAM MFL.....	20
Tabla 3.2. Cepas fúngicas y bacterianas de microorganismos del laboratorio de la ESPAM MFL.....	23
Tabla 3.3. Parámetros a evaluar y métodos para los análisis de laboratorio....	25
Tabla 3.4. Descripción de los tratamientos	27
Tabla 3.5. Esquema de análisis de varianza	29
Tabla 4.1. Resultados de la inoculación de los microorganismos.....	30
Tabla 4.2. Parámetros evaluados en las muestras de suelo.....	32
Tabla 4.3. Datos de la materia orgánica en las diferentes muestras de suelo...33	
Tabla 4.4. Datos de la captura de carbono en las diferentes aplicaciones.....	35
Tabla 4.5. Análisis de varianza en función de la captura de carbono.....	37
Tabla 4.6. Prueba de Tukey para la captura de carbono.....	37
Tabla 4.7. Eficiencia de captura de carbono en los diferentes tratamientos....	38

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de la ubicación del sitio experimental.....	19
Figura 3.2. Croquis de la distribución de tratamientos en los bloques o macetas	27

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 3.1. Modelo estadístico	26
Ecuación 3.2. Fórmula para calcular la eficiencia.....	29

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad demostrar el uso de diferentes cepas de microorganismos en suelos de café para evaluar su efecto en la captación de carbono. Luego, se procedió a la selección, reproducción y preparación de las cepas fúngicas EM-72 (*Trichoderma longibrochiatum*) y EM-49 (*T. reesei*); y cepas bacterianas EM-54 (*Bacillus licheniformis*) y EM-44 (*B. subtilis*); obtenidas a nivel de laboratorio. Posteriormente, se realizó la toma de muestras de suelo en los cultivos de café de manera aleatoria; éstas, fueron utilizadas para establecer los respectivos tratamientos, donde se realizó la aplicación de las cepas y los análisis de los parámetros físicos y químicos, antes y después de la aplicación. También, se realizó la captación de carbono en los respectivos tratamientos, mediante el método de titulación, una vez aplicada la dosis de microorganismos en las macetas. Los resultados de los análisis mostraron un aumento en el pH del suelo después de la aplicación de los microorganismos, lo cual está relacionado con la acción de las poblaciones microbianas; se encontró que la cantidad de materia orgánica (MO) en el suelo estaba relacionada directamente con la captura de carbono, la aplicación de los hongos y bacterias mostró variaciones en los niveles de MO y emisiones de CO₂. La eficiencia en la captación de CO₂ varió según el tratamiento, siendo más alta en los tratamientos con hongos con una eficiencia del 55,71% en comparación con los tratamientos con bacterias, sin embargo, en general, se observó una disminución en la eficiencia en tratamientos posteriores.

PALABRAS CLAVES: Captura de carbono, microorganismos, suelo, método de ignición o calcinado

ABSTRACT

The purpose of this research is to demonstrate the use of different strains of microorganisms in coffee soils to evaluate their effect on carbon sequestration. Then, we proceeded to the selection, reproduction and preparation of fungal strains EM-72 (*Trichoderma longibrochiatum*) and EM-49 (*T. reesei*); and bacterial strains EM-54 (*Bacillus licheniformis*) and EM-44 (*B. subtilis*); obtained at laboratory level. Subsequently, soil samples were taken randomly from the coffee crops; these were used to establish the respective treatments, where the strains were applied and the physical and chemical parameters were analyzed before and after application. Carbon sequestration was also carried out in the respective treatments, using the titration method, once the dose of microorganisms had been applied to the pots. The results of the analyses showed an increase in soil pH after the application of the microorganisms, which is related to the action of the microbial populations; it was found that the amount of organic matter (OM) in the soil was directly related to carbon sequestration; the application of fungi and bacteria showed variations in OM levels and CO₂ emissions. The efficiency of CO₂ sequestration varied according to the treatment, being higher in fungal treatments with an efficiency of 55,71% compared to bacterial treatments, however, in general, a decrease in efficiency was observed in subsequent treatments.

KEY WORDS: Carbon sequestration, microorganisms, soil, ignition method.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las principales causas del calentamiento global son las emisiones excesivas de gases de efecto invernadero (GEI), en los cuales la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera osciló entre los 170 y 330 partes por millón, siendo niveles aceptables para la sostenibilidad del planeta (Arroyo y Ramírez, 2020). No obstante, en los últimos años, esta concentración se ha acelerado hasta los 415 partes por millón (Montzka et al., 2011).

A nivel mundial, las proyecciones van en aumento, con estimaciones que apuntan a un cambio climático más dañino para 2050, especialmente el crecimiento del 70 % en las emisiones de dióxido de carbono (Casados, 2022). La absorción de CO₂ por las plantas es el resultado de la diferencia entre el CO₂ atmosférico absorbido durante la fotosíntesis y el CO emitido durante la respiración, lo que se traduce en biomasa, normalmente entre el 45 % y el 50 % del peso seco de la planta (Carbajal et al., 2017).

Dentro de los causantes del incremento de las emisiones de GEI, se encuentra el cambio de uso de la tierra; particularmente la conversión de bosques a tierras agrícolas, la cual es una práctica común en los trópicos (Hernández et al., 2019). Adicionalmente, si no se intensifican los esfuerzos de mitigación de estos gases emisiones de GEI del sector pecuario podrían neutralizar los esfuerzos de mitigación y de captura de carbono de otros sectores (Ripple et al., 2014). Por esta razón, se busca incorporar cambios en las prácticas agrícolas tradicionales, aportando así plantas con raíces más profundas que atrapen más carbono y lo depositen en el suelo (Campos, 2016).

La producción de café en América Latina ha contribuido con las emisiones de gases de efecto invernadero por el cambio de uso del suelo, malas prácticas en el manejo de recursos tanto naturales como manufacturados (combustibles, plásticos, vehículos, entre otros) (Garay, 2021).

De acuerdo con Medina y Luna (2013), en Ecuador el café se cultiva básicamente en sistemas agroforestales en 23 de las 24 provincias las áreas cafetaleras ubicadas en la costa alrededor de los 2000 m.s.n.m., siendo Manabí una de las provincias de mayor producción cafetalera, con alrededor del 40% del total de sacos de 60kg producidos en el país, que concentra el 32,20% de la superficie total (Cortijo, 2017). En su mayor parte, las plantaciones de café se cultivan bajo árboles de alto valor ecológico y económico, y en varios arreglos agroforestales, los cuales constituyen hábitats adecuados para muchas especies de flora y fauna, ya que crecen en un patrón similar al de un bosque secundario; contando con cerca de 72.000 hectáreas de cafetales arábica, cultivados de forma orgánica con una productividad menor a 5 qq/ha, posicionados en el mercado internacional mejorados y declarados zona agrícola y de protección ambiental (Hernández y González, 2017).

En este sentido, es importante hacer énfasis en el uso de estrategias adecuadas para mantener y mejorar el equilibrio ecológico de los sistemas de producción. Esto es de alta importancia para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de las comunidades, utilizando prácticas agroecológicas (Contreras et al., 2019). La aplicación de preparados microbianos (EM), como los biofertilizantes en los cultivos de café, representan una opción amigable con el medio ambiente, para evitar el uso continuo de fertilizantes químicos (Cisneros et al., 2017).

Según Morocho y Leiva (2019), el uso de microorganismos eficientes (EM) ha demostrado ser una alternativa eficaz y sostenible en la producción de alimentos; también favorecen la germinación de las semillas, floración, crecimiento y desarrollo de los frutos; además de que mejoran la estructura física del suelo, aumentando la fertilidad y suprimiendo varios patógenos de plantas que causan enfermedades en muchos cultivos, aumentando la capacidad fotosintética de las plantas, así como su capacidad de absorción de agua y nutrientes, mejorando la calidad y reduciendo el tiempo de maduración especialmente de los fertilizantes orgánicos, por lo que, la implementación de tecnologías limpias mediante el uso de los microorganismos es beneficioso para los diversos cultivos Ponce et. al., (2016).

López et al., (2016) indican que los suelos agroforestales constituyen una fuente de secuestro de carbono que van de 1 a 10 t/ha/año, y en casos extremos hasta 50 t/ha/año, las plantas y los suelos juntos absorben en la actualidad un 30% del CO₂ emitido por las actividades humanas cada año, es importante cuantificar la masa de carbono que se incorpora o se pierde en el suelo cuando un sistema de vegetación es sustituido por otro.

Su cuantificación, en términos de distinción de ambos componentes microbianos es importante, ya que estos grupos de microorganismos juegan diferentes papeles en el reciclaje de nutrientes, y difieren en su capacidad para secuestrar el carbono dentro de su biomasa, así es posible establecer la contribución de cada componente al carbono total almacenado en el suelo y su longevidad mediante diversos procesos (Zabala y Gómez, 2010).

Estos antecedentes llevan a las autoras a formular la siguiente interrogante:

¿Cómo inciden los microorganismos en la captación de carbono a través del método de titulación en los suelos de las plantaciones de café (*Coffea arabica*)?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se enmarca legalmente en el artículo 409 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), manifiesta que: “Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil”. Por lo que, según los autores Díaz y Blanco (2022), los microorganismos debido a su diversidad y el efecto sobre la calidad del suelo, son considerados fundamentales, por lo que se pueden utilizar en biotecnologías o tecnologías ecológicas y ambientales, el cual son alternativas que facilitan el crecimiento vegetal y favorecen la calidad de los suelos y su sustentabilidad, por lo tanto, la presencia de los microorganismos autóctonos es realmente necesaria para la conservación y recuperación de la biodiversidad.

Dando sustento a la investigación, este trabajo se integra al Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 en el eje 4, correspondiente a la Transición Ecológica con su objetivo 12, el cual transcribe lo siguiente: Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático, lo que permitirá coadyuvar a fomentar la producción con las mejores prácticas ambientales.

Por ende, desde la perspectiva ambiental, el uso de la agricultura orgánica constituye una parte cada vez más importantes el sector agrícola por sus ventajas ambientales, además de que conlleva a una mejor calidad de suelo y la importancia de consumir alimentos sanos y libres de residuos que la agricultura convencional no proporciona, por lo que el uso de sistemas orgánicos representa una opción interesante (Toalombo, 2012), por lo que en este sentido, el uso de los microorganismos eficientes puede representar una alternativa para la mejora de la fertilidad del suelo, restablecimiento del equilibrio microbiano y acelerar la descomposición de desechos orgánicos para incrementar la disponibilidad de nutrientes.

Desde el punto de vista socioeconómica, las prácticas agrícolas orgánicas representan una forma más beneficiosa y sostenible, debido a los agricultores que utilizan las prácticas tradicionales ven que cada vez es menos sostenible debido a su alta demanda de dependencia a insumos como los fertilizantes

químicos, el Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (SIPA) (2022), menciona que existe un incremento en el índice de precios de los agroquímicos y fertilizantes, donde el uso de los agroquímicos aumentó en un 1,6% comparados con el año 2019 y en un 32,4% en el año 2021; y los fertilizantes tuvo una disminución del 1,8%, por lo que el precio promedio llega a 53,31 USD/saco de 50 kg. Por ello, uno de los desafíos para la agricultura sostenible está relacionada con la economía de los agricultores debido a la idea con respecto al costo/beneficio, por lo que esta técnicas a pesar de contar con poca inversión a corto y mediano plazo representa un costo al no cumplir con la alta demanda del mercado, a diferencia de la visión a largo plazo, el cual sería un beneficio al considerar el costo por la pérdida de fertilidad, degradación del suelo y los servicios multifuncionales de la agricultura (Cruz et al., 2021).

Por lo que, desde un enfoque investigativo, debido a la carencia de información relacionado al uso de microorganismos eficientes durante los cultivos de café en nuestro país, se desea conocer la influencia de estos, a través de esta investigación, siendo útil para el fortalecimiento del conocimiento de aquellas personas que realizan experimentos con estos microorganismos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la captación de carbono mediante microorganismos en plantaciones de café (*Coffea arabica*).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Inocular microorganismos que promuevan la captación de carbono en suelos de café en la ESPAM MFL
- Determinar el efecto de la captación de carbono a través del método de titulación en suelos de café de la ESPAM MFL
- Establecer el tratamiento con mayor eficiencia de forma estadística

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS NULA

H0. Las concentraciones de microorganismos no inciden de manera significativa en la captación de carbono en los suelos de plantaciones de café.

1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVAS

H1. Al menos uno de los tratamientos incide de manera significativa en la captación de carbono en los suelos de plantaciones de café.

H2. Todos los tratamientos inciden de manera significativa en la captación de carbono en los suelos de plantaciones de café.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN DEL CAFÉ ARÁBICO

El café es una bebida que proviene de los granos cosechados, tostados y molidos de las plantas las cuales se identifican como cafetos (Macías, 2021). Esta planta tiene su origen en los bosques tropicales de África, y corresponde a la familia de las Rubiáceas, la cual consta con más de 6.000 especies que está formada por 500 géneros, por lo que, dentro de la tribu, los géneros más afines son *Coffeae*, *Coffea sp.* y *Psilanthus sp.* (Bartra et al., 2011).

Según la International Coffee Organization (ICO) (2019) menciona que la *Coffea arabica* fue descrita en 1756 por primera vez por Linneo, a menudo esta especie es vulnerable ante la presencia de enfermedades y plagas, y se cultiva generalmente en toda Latinoamérica, India, África Oriental y Central, y en en parte Indonesia, donde entre las variedades más comunes se encuentran la "Typica" y 'Borbón', de las cuales se establecieron varios cultivos diferentes como "Caturra", "Mundo Novo", "Tico", "San Ramón", "Moca", "Maragogipe", "Columnaris" o "Jamaican Blue Mountain".

2.2. GENERALIDADES DEL CAFÉ

2.2.1. TAXONOMÍA DEL CAFÉ

Tabla 2.1. Clasificación taxonómica del café

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Anthophyta o Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Rubiales</i>
Familia	<i>Rubiaceae</i>
Genero	<i>Coffea L.</i>
Especie	<i>arabica, canephora, liberica</i>

Fuente: Lino (2021)

2.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Díaz (2020) describe al cafeto como una planta perenne, de hojas opuestas con diminutas estípulas en la parte alterna, sus flores son blancas con cuatro o cinco pétalos y los estambres surgen en la unión de ellos, tienen una raíz pivotante profunda de la cual brotan las raíces laterales, y poseen un ovario bilobulado y un estigma ramificado que depende del número de óvulos, sus frutos son una baya córnea que varían de color al madurar y está compuesta por dos o cuatro almendras, y las semillas contienen un lado plano y uno convexo, y cuando sólo se desarrolla una semilla se llama grano caracol.

Por otro lado, Rojo (2014) menciona que se trata de un arbusto grande, de unos 5 metros de altura, con hojas ovaladas y de color verde oscuro brillante, la floración se produce después del periodo de lluvias, y sus flores son blancas, de aroma dulce y están dispuestas en racimo, siendo esta especie genéticamente diferente a otras, debido a que es tetraploide, por lo que en lugar de producir 22, produce un total de 44 cromosomas, y sus frutos son verdes y ovalados, madurando al cabo de entre 7 a 9 meses, obteniendo los granos de café.

2.2.3. IMPORTANCIA DEL CAFÉ

El café arábigo (*Coffea arabica* L.) es uno de los productos agrícolas más importantes en el mundo, ya que más de 56 países se dedican a su cultivo, siendo el principal producto de comercialización y exportación (Gómez, 2010). Asimismo, su importancia en la económica global genera anualmente ingresos mayores a USD \$15 mil millones para los países exportadores, siendo una fuente de trabajo a más de 20 millones de personas en todo el mundo (Maza, 2016).

2.3. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

2.3.1. SUELO

El suelo es un ecosistema diverso y complejo que brinda una amplia gama de recursos utilizados para el crecimiento de plantas y animales, debido a las conexiones que existen entre el suelo, plantas, los microorganismos, y su complejidad al implicar factores físicos, químicos y biológicos, provocando los

ciclos de nutrientes, materiales y la transferencia de energía e información, por ello, las prácticas agrícolas alteran el equilibrio natural del ambiente, la estructura y su función a corto, mediano y largo plazo (Castro et al., 2015).

2.3.2. CALIDAD DEL SUELO

La calidad del suelo puede definirse por su funcionalidad con el ecosistema natural o modificado y sostener su productividad vegetal como animal, manteniendo o mejorando la calidad de aire y agua como la salud humana, por lo que se encuentra influenciada por la interacción microbiana, manteniendo su estructura por su capacidad de servir como indicador de empobrecimiento o degradación del suelo (Pedraza et al., 2010).

2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DEL SUELO

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2019) señala que la planta de café crece bajo una amplia gama de condiciones, como los parámetros físicos:

- **Textura.-** Es la proporción de partículas sólidas como la arena, limo y arcilla, de los cuales se derivan a suelos arenosos, limosos, arcillosos dependiendo de la mayor proporción de partículas, mientras que los suelos francos, son los más apropiados para el cultivo del café, debido a una proporción similar de arena, arcilla y limo.
- **Color.-** Es una de las características físicas de diferenciación de los horizontes en los perfiles del suelo relacionado con el comportamiento y su formación por los diferentes agentes cromógenos, siendo un claro indicador de la naturaleza, por lo tanto, para su determinación y medición se utilizan los parámetros establecidos en las tablas Munsell para la comparación de los diversos patrones (Moreno et al., 2010).

Rodríguez (2021) explica que las propiedades químicas de los suelos de la zona cafetera se establece una aptitud de uso y manejo, por lo que se determinan los parámetros químicos como:

- **Boro (B).**- Es un micronutriente que limita la calidad de los cultivos por su exceso, por lo que una concentración de $0,8 \text{ mg B kg}^{-1}$ o menor, puede inducir una deficiencia en las cosechas, mientras que una concentración mayor a la de $3,5 \text{ mg B kg}^{-1}$ provocara una toxicidad dependiendo del cultivo, por lo que en su mayoría se encuentran en rangos entre 1.2 a 3.2 mg B kg^{-1} , siendo adecuados para el suelo (López et al., 2002).
- **Calcio (Ca).**- Se encuentra ligado a compuestos orgánicos de la célula ya que posee una gran importancia en el funcionamiento dentro de la estabilización de la pectina en la lámina media de la pared celular por ende se encuentra en precipitados como oxalato de calcio en la fitina, así formando sales de ácido inositol Hexa fosfórico, en el café el efecto de calcio es vital para el crecimiento de las raíces, tallos y ramas (Rodríguez, 2021).
- **Cobre (Cu).**- Es un conductor de calor y electricidad; además, es maleable, y debido a la exposición al ambiente se altera muy poco su capacidad funcional, por lo que se puede encontrar en la atmósfera húmeda con anhídridos carbónicos, cubriéndose con una capa verde de carbonato (Nordberg, 2023).
- **Fósforo (P).**- Representa uno de los elementos indispensables para el funcionamiento y crecimiento de las plantas, involucrando el desarrollo de la raíz y grano, por lo que se requiere la aplicación de fertilizantes fosforados para alcanzar altos niveles de productividad, ya que puede ser liberado a través de procesos de meteorización, lixiviación, erosión y extracción industrial como fertilizante (Rodríguez, 2021).
- **Hierro (Fe).**- Es un metal abundante, por lo que se puede encontrar comúnmente la hematita o mineral de hierro rojo (Fe_2O_3), limonita o mineral de hierro marrón ($\text{Fe}(\text{OH})_n\text{H}_2\text{O}$), magnetita o mineral de hierro magnético (Fe_3O_4), la siderita o mineral de hierro espático (FeCO_3), pirita (FeS_2), entre otros, los cuales varían de acuerdo a su concentración de hierro; por lo que este metal se utiliza para la fabricación de piezas e

intensificar la densidad de líquidos en las perforaciones petrolíferas (Nordberg, 2023).

- **Magnesio (Mg).**- Es un activador de enzimas, especialmente en la fotofosforilación de la planta y en la síntesis de proteína este elemento posee alrededor de un 15% del Mg total así formando sales conjuntamente con la fitina y pectina, por ende cuando hay deficiencia muy aguda se produce una caída intensa de las hojas que finalmente ocasiona una fuerte reducción de grano en la cosecha (Rodríguez, 2021).
- **Manganeso (Mn).**- Este metal se puede localizar en los sedimentos, tierras, rocas, agua, productos biológicos y minerales como óxidos, carbonatos y silicatos, siendo muy importante para la producción de acero con la finalidad de reducir el oxígeno y el azufre. Además, algunas de las sales de manganeso se utilizan como fertilizantes y secantes (Nordberg, 2023)
- **Materia Orgánica (MO).**- Surge de la acumulación de residuos vegetales y animales total o parcialmente descompuestos, el cambio constante debido a la actividad microbiana, y está formada por compuestos como carbohidratos, ligninas y proteínas, debido a que los microorganismos descomponen esta materia en CO₂ y en humus (Rodríguez, 2021).
- **Nitrógeno (N).**- Es un elemento esencial para los cafetos y lo absorben en altas cantidades, siendo un macronutriente que cumple con función del desarrollo, producción y crecimiento vegetal, por lo que, cuando la deficiencia es severa la clorosis se torna más amarillenta y abarca todo el limbo (Rodríguez, 2021).
- **pH.**- Es la acidez de la superficie del suelo por excelencia, por ende es necesario valorarla, ya que el valor de este expresa la concentración de los iones libres de hidrógeno (H⁺), ya que dentro de la solución del suelo entre más alta sea la concentración de hidrógeno menor será el pH y mayor la acidez, por lo que se establecen rangos en el que 7 se lo considera un pH neutro, mientras que los menores a este son ácidos y los mayores básicos (Rodríguez, 2021).

- **Potasio (K).**- Se encuentra relacionado con la naturaleza, tiene una alta movilidad en los tejidos de la planta y siempre actúa como un ion, siendo el más importante para aumentar la expansión de las proteínas ya que también es un activador de muchas enzimas con grandes influencias en el orden de las moléculas de agua, debido a su alta movilidad este es esencial donde se dan importantes cambios de presión osmótica.
- **Zinc (Zn).**- El zinc es un micronutriente más localizado en suelos alcalinos y calcáreos por su baja solubilidad, por lo que su deficiencia depende del pH y el fosfato; por lo tanto, en suelos con pH elevados presentan carencias de Zn, mientras que el fosfato en grandes cantidades impiden su absorción por parte de las plantas (López et. al., 2002).

2.4. CAPTURA DE CARBONO

2.4.1. CARBONO

El carbono es un elemento químico de número atómico 6 y su simbología es C, dependiendo de las condiciones de formación, puede encontrarse en la naturaleza en diversas formas alotrópicas, carbono amorfo y cristalino, ya sea en forma de grafito o diamante, siendo el pilar básico de la química orgánica; se conocen cerca de 16 millones de compuestos derivados del carbono formando parte de todos los seres vivos (Iroz et al., 2018).

El carbono orgánico en el suelo (COS) es el proceso que consiste en eliminar el carbono atmosférico a través de la fotosíntesis de las plantas, transformándolo como resultado final en materia orgánica sólida, la cual es almacenada en el suelo con una larga duración en ella (Burbano, 2018).

2.4.2. CICLO DEL CARBONO

El ciclo del carbono es un proceso biogeoquímico para regular el clima y para el mantenimiento de los seres vivos, siendo un componente estructural y esencial que se encuentra presente en procesos como la respiración y la fotosíntesis, incorporando el dióxido de carbono extraído del aire en componentes como la glucosa en plantas, algas y cianobacterias, al ser disuelto el CO₂ en agua se

forma el ácido carbónico (H_2CO_3), degradando los silicatos de las rocas formando el ion hidrógeno (H^+) y un ion bicarbonato (HCO^{-3}) que son devueltos al medio acuático, donde las bacterias autótrofas y algas fijan el CO_2 atmosférico para producir carbohidratos, lo que se distribuye por la cadena alimenticia, por lo que al perecer los animales y plantas, se descomponen, dejando toda la materia orgánica transformarse en hidrocarburos fósiles, retornando a la atmósfera mediante incendios forestales, erupciones volcánicas, quema de combustibles fósiles, entre otros (Sánchez, 2017).

2.4.3. CAPTACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO

La captación de carbono ocurre en los ciclos fundamentales del planeta, debido a que todos los seres bióticos y abióticos lo pueden desarrollar, y cualquier desequilibrio se verá reflejado en las concentraciones de dióxido de carbono, por lo que el carbono se almacena en compartimientos llamados sedimentos radiculares, donde el medio acuático alberga el mayor almacenamiento, seguido del suelo, la atmósfera y por último las plantas, las cuales proporcionan un equilibrio a través de la fotosíntesis y los ciclos normales, aparte del suelo (Hanco, 2018).

El carbono orgánico en el suelo (COS) trata sobre la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su acumulación como forma de materia orgánica en el suelo, por lo que la captura del carbono ha sido estudiada en diversos escenarios, con la finalidad de evaluar la capacidad de almacenamiento que poseen los diferentes ecosistemas en los suelos, debida a que dependen de la cobertura del suelo, por lo que es necesario que los agricultores tomen conciencia de la necesidad de efectuar cambios en las prácticas agrícolas tradicionales, buscando aportar más materia orgánica estable y que retarde su descomposición (Carvajal y Andrade, 2020).

2.4.4. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL CO_2

Los procesos de captura y almacenamiento del dióxido de carbono (CO_2) que son emitidos por las industrias y fuentes relacionadas, consiste en apartarlo y trasladarlo al lugar donde será aislado y almacenado a largo plazo de la atmósfera, por lo que esta tecnología está planeada para ser empleada en

grandes termoeléctricas centrales de gas y carbón, aunque también se puede aplicar a las centrales actuales, donde se vende como una forma limpia de producir electricidad, siendo una excusa para fomentar y alargar la extracción de carbón (Carlín y Macías, 2018).

Debido al riesgo potencial, se ha prohibido la difusión de CO₂ en las columnas de agua oceánica o en el medio acuático, contempladas originalmente como una opción en la investigación de la captura y almacenamiento de carbono (CAC), por lo que nos referiremos al almacenamiento en el subsuelo terrestre o oceánico, preferentemente en depósitos salinos (González, 2014).

2.4.5. CAPTACIÓN DE CARBONO EN CULTIVO DE CAFÉ

Fernández et al. (2020) establecieron que el procesamiento agroindustrial del café sólo se utiliza el 9,5% del peso del fruto y el 90,5% restante son residuos, que, por lo general, al no tener un buen manejo terminan siendo arrojados a ríos y quebradas en donde contaminan a gran escala y disminuyen la posibilidad de la existencia de vida.

Los cultivos de café, cada vez tienen un papel más importante con respecto a la implementación y desarrollo de estrategias o modelos eficaces en el uso o captura de carbono, por lo que los agrosistemas cafetaleros son sistemas potenciales para la captación de carbono, con la potencialidad de recibir beneficios económicos por servicios ambientales (Manchabajoy et al., 2022).

2.5. MICROORGANISMOS EN EL SUELO

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO] (2021), el suelo es considerado un ecosistema dinámico y vivo en el que habitan diferentes organismos, tanto unicelulares como pluricelulares, los cuales se clasifican como macrobiota, mesobiota y microbiota, donde cada microorganismo individual afecta la fermentación de una manera muy diferente, y algunos de los microorganismo (en particular *Saccharomyces cerevisiae* y lactobacilos) pueden afectar el sabor, olor, color y el pH de un café, pero aún se están estudiando la influencia de otros microorganismos sobre la fermentación.

Existen millones de microorganismos en el planeta, los cuales podemos encontrar inclusive en una pequeña muestra de suelo, aunque los microorganismos más abundantes son las bacterias, hongos y virus, generalmente está relacionado con enfermedades de los cultivos, por lo que existe una unión entre las plantas, suelo y organismos junto con los factores bióticos y abióticos que modulan el sistema productivo y en donde con certeza (Rivas y Giraldo, 2021).

2.5.1. BACTERIAS

Las bacterias son organismos procariotas y existen diversas variaciones en cuanto a la forma, tamaño y agrupaciones, ya sea en forma de coco, bastoncillo, bacilos, o como los vibrios, espirilos, espiroquetas, entre otras, a pesar de ser células individuales, se las puede encontrar en agrupaciones que son útiles para identificarlas como en parejas, racimos o cadenas de células (Rivas y Giraldo, 2021).

Representan el 80% a 90% del billón de microorganismos típicamente presentes, las cuales son responsables de la mayor parte de la descomposición y de la generación del calor; siendo de categoría nutricionales diversas y usan una diversidad de enzimas para romper una gran variedad de materia orgánica, es por esta razón que al comenzar el proceso predominan las bacterias mesofílicas que en general corresponden a las especies que se encuentran en la superficie del suelo (Casas y Pérez, 2019).

Scaliter (2019) explica que entre las bacterias más importantes tenemos las siguientes:

- ***Bacillus subtilis***.- Es una bacteria gram positiva habitante natural del suelo, la cual coloniza las raíces, compitiendo con los patógenos por espacio y sitios de infección en las raíces, producen endospora en las que son termoresistentes y resistentes a factores físicos perjudiciales como la desecación, la radiación y los desinfectantes químicos.
- ***Bacillus licheniformis***.- Se informa una gran variedad de medios sintéticos pero en la gran mayoría se propone el uso de la glucosa como

principal fuente de carbono, esta bacteria se utiliza industrialmente para la producción de enzimas.

2.5.2. HONGOS

Las enfermedades que se presentan en el café son causadas en su gran mayoría por hongos, la más importante es la roya, ocasionada por *Hemileia vastatrix* (Berk y Br), catalogada como una de las 10 enfermedades más devastadoras en el mundo, siendo la enfermedad que más afecta los cafetales, sin embargo, existen otras de carácter endémico que adquieren importancia regional ya que se presentan en alguna fase del cultivo y épocas marcadas que contribuyen a la limitación del desarrollo y producción de la planta, por lo general se suele observar en la parte superior de la hoja en forma de manchas de color amarillo, las cuales se manifiestan luego en el envés, como un polvo de color naranja. Esta enfermedad conduce a la planta a la defoliación y muchas veces a la muerte (Chango, 2019).

Hernández et al. (2019) menciona que la principal función de los hongos en la naturaleza es descomponer la materia orgánica, tanto de origen vegetal como de origen animal, y entre estos tenemos los siguientes:

- ***Triehoderma longibrachiatum.***- Constituye uno de los géneros con mayor distribución y dominancia tanto en suelos agrícolas como en áreas naturales. El método más comúnmente utilizado en la transformación de hongos filamentosos está basado en el desarrollado previamente para levaduras, que requiere la formación de protoplastos mediante tratamiento con mezclas de enzimas hidrolíticos y donde la entrada de ADN se consigue con un tratamiento con polietilenglicol en presencia de iones Ca^{2+} , aunque también se han utilizado sales de litio.
- ***Triehoderma reesei.***- Es un hongo cosmopolita cuya importancia radica en su capacidad de adaptación y producción de metabolitos, como enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal, y compuestos volátiles, entre otros, de interés biotecnológico y ambiental, y este género es utilizado como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, destacando la antibiosis,

el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, y la producción de metabolitos secundarios. Varias especies de *Trichoderma* se han utilizado en sistemas acoplados de fermentación en sustratos sólidos o cultivos sumergidos, para degradar residuos lignocelulósicos y para generar energías alternativas como etanol.

2.6. MEDIOS DE CULTIVO PARA LOS MICROORGANISMOS

Un medio de cultivo se lo considera como un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes capaces de crear las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos, debido a la gran diversidad metabólica, la variedad de estos medios es enorme (Álvarez, 2022).

Rodríguez y Zhurbenko (2021) explica que los medios de cultivos se pueden clasificar teniendo en cuenta los diversos criterios, aunque actualmente no hay una clasificación por lo que se utilizan clasificaciones más sencillas, como por sus estados físicos los cuales pueden ser sólidos, semisólidos o líquidos y semilíquidos, o en escala, ya sea en laboratorio o de manera industrial.

2.7. APLICACIÓN EN EL SUELO

Laruta (2021) menciona lo siguiente:

Los efectos en la microbiología del suelo son de manera positiva, debido al aumento de la biodiversidad microbiana, para alcanzar las condiciones necesarias para la prosperidad de los microorganismos benéficos, por lo que se suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo, por competencia.

Para las condiciones físicas, proporciona una mejora en la estructura del suelo reduciendo su captación e incrementando los espacios porosos para mejorar la penetración del agua y su capacidad de absorción, evitando la erosión. En las condiciones químicas logra una mejor disposición de nutrientes en el suelo, apartando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos en forma simple para proporcionar una mejor absorción por medio de las raíces.

2.8. ANÁLISIS DE CARBONO POR EL MÉTODO DE TITULACIÓN

Alemán y Piniagua (2016) mencionan que en la mayor parte de laboratorios de ensayos realizan análisis de suelos, que determinen el contenido de carbono orgánico de una forma más sencilla, por lo que ellos emplean métodos como el de Walkley & Black, y proporcionan técnicas de volumen; es por esta razón que el método de titulación nos sirve para determinar la concentración correcta de un reactivo cuyo valor se sabe solo en forma aproximada.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La realización de esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Biología Molecular de la carrera de Medicina Veterinaria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, localizada en el sitio “El Limón”, parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí.

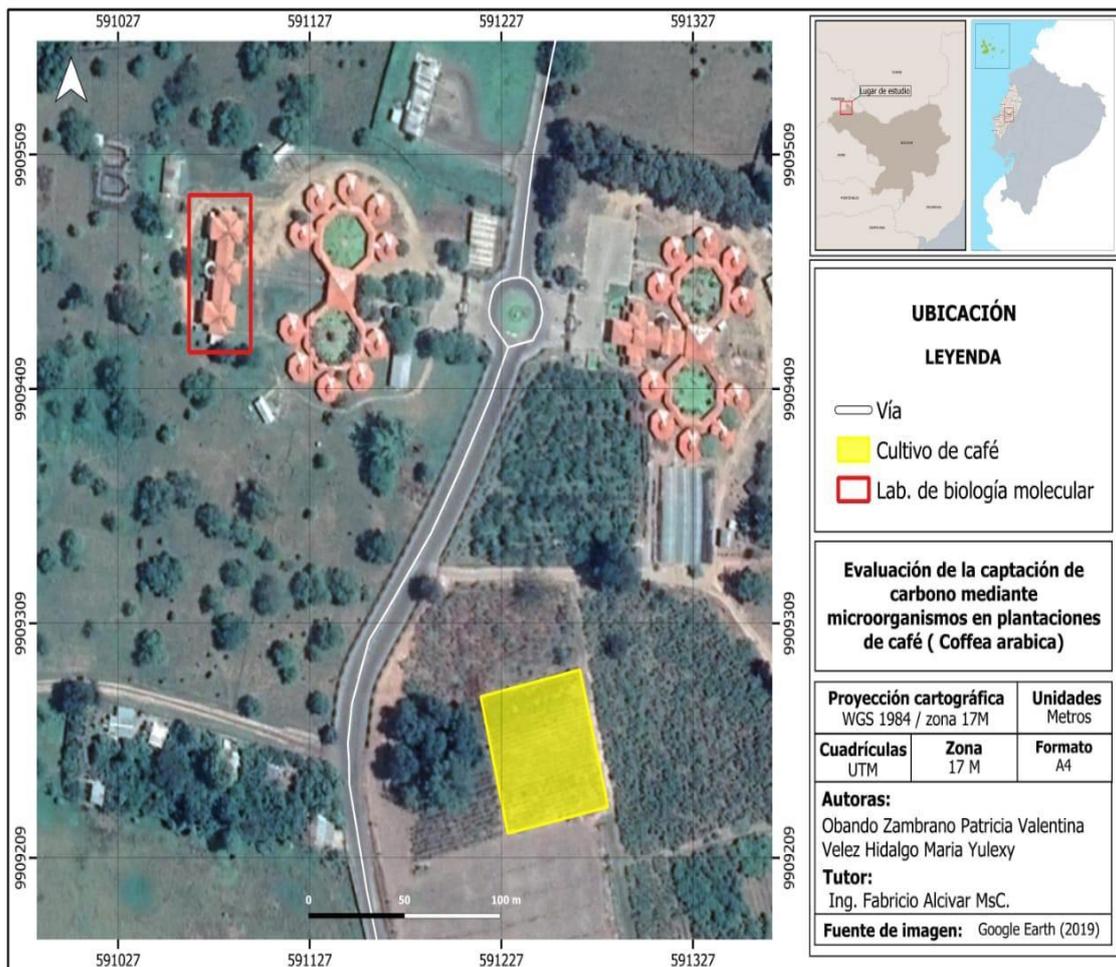


Figura 3.1. Mapa de la ubicación del sitio experimental

Fuente: Elaboración propia.

3.2. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

Entre las características edafoclimáticas de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, se encuentran las siguientes, las cuales se presentan a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características edafoclimáticas de la ESPAM MFL

Características	Campus politécnico
Coordenadas geográficas	Sur: 0° 49' 23" Oeste: 80° 11' 01"
Altitud	15 msnm
Temperatura	Máxima: 31,11 °C Mínima: 20,60 °C
Precipitación	624 mm
Humedad relativa	82,42%

Fuente: (Valdivieso et al., 2021)

3.3. DURACIÓN

La investigación tuvo un tiempo estimado de 9 meses a partir del mes de septiembre del 2022 hasta el mes de junio del 2023.

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de carácter experimental, el cual establece un enfoque científico mediante procesos sistemáticos a la investigación, lo que permitió manipular y controlar las modificaciones de cada una de las variables, este estudio se sometió a un DBCA (Diseño de Bloque Completamente al Azar) incluyendo la comparación de los tratamientos.

3.5. MÉTODOS

3.5.1. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Se utilizó para la selección métodos y técnicas, donde se identificaron documentos en base a información recopilada de diversas fuentes como: revistas científicas, tesis, internet, etc, con la finalidad de apoyar de forma teórica la presente investigación (Pujadas, 2023).

3.5.2. HIPOTÉTICO – DEDUCTIVO

Este método se utilizó para la formulación de las hipótesis, las cuales se pusieron a prueba mediante la observación de los factores y los datos que se obtuvieron durante los procesos al realizar el experimento, los cuales permitieron observar la eficiencia con respecto a la captación de carbono (López y Facheli, 2015).

3.5.3. MÉTODO ESTADÍSTICO

El método estadístico permitió analizar e interpretar de manera ordenada los datos obtenidos a través del experimento para una mejor visualización de los resultados, los cuales se utilizaron tablas, histogramas o gráficos (Corona, 2007).

3.5.4. MÉTODO DE TITULACIÓN SIMPLE

El método de titulación simple se empleó con el objetivo de adquirir datos sobre la oxidación incompleta del carbono del suelo y determinar el carbono orgánico (Barrazeta et al., 2020).

3.5.5. MÉTODO DE IGNICIÓN

Este método tiene como finalidad determinar la estimación de la materia orgánica en el suelo por medio de la pérdida de peso por ignición por calcinación, según Dabadie et al. (2018) es un método económico y simple, debido a que el contenido de materia orgánica del suelo establece un dato importante que permite evaluar los efectos por diversos usos del suelo.

3.6. TÉCNICAS

3.6.1. LA OBSERVACIÓN

Esta técnica se ejecutó con la finalidad de tomar, registrar y analizar información, las cuales se analizaron de manera consecutiva, siendo la observación de manera directa una técnica vital que se aplicará en las diversas fases del proceso (Díaz, 2021).

3.6.2. LABORATORIO

Desde el planteamiento de la problemática, actividades a realizar como la toma de muestras, fueron analizadas con la finalidad de determinar sus parámetros físicos-químicos, además de la demostración de las hipótesis, hasta la formulación de las conclusiones (Aguilar, 2018).

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La investigación tuvo como referencia un total de combinaciones de 4 tratamientos y 4 repeticiones, es decir, un total de 16 unidades o corridas experimentales.

Las unidades experimentales serán bolsas negras para vivero o macetas con la capacidad de 2 kg, en las cuales se rellenaron con suelo proveniente de las plantaciones de café.

3.8. VARIABLES A MEDIR

3.8.1. DEPENDIENTE

Captación de carbono en suelo cafetalero

3.8.2. INDEPENDIENTE

Especies de microorganismos captadores de carbono

3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

El procedimiento de la investigación se desarrolló con base a los objetivos específicos.

3.9.1. FASE I. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMO QUE PROMUEVAN LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ EN LA ESPAM MFL

Para la realización de esta fase, se utilizaron cepas de microorganismos, las cuales fueron proporcionadas por el Laboratorio de Biología Molecular de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, específicamente entre cepas fúngicas y bacterianas, las cuales se detallan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Cepas fúngicas y bacterianas de microorganismos del laboratorio de la ESPAM MFL

Cepas bacterianas	Cepas fúngicas
<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Trichoderma longibrochiatum</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Trichoderma reesei</i>

ACTIVIDAD 1. PREPARACIÓN DE LAS CEPAS FÚNGICAS Y BACTERIANAS A NIVEL DE LABORATORIO DE LA ESPAM MFL

Para la reactivación y preparación de cepas fúngicas y bacterianas, se tomó en cuenta el procedimiento descrito por Andrade y Avellán (2020).

● CEPAS BACTERIANAS

● Reactivación de cepas bacterianas

- ✓ Para la reactivación de las cepas *B. licheniformis* (EM-44) y *B. subtilis* (EM-54) se prepararon con el medio de cultivo agar nutritivo, el cual fue colocado en cajas Petri.
- ✓ El proceso se ejecutó mediante el método de siembra de estrías, en la cual se utilizó un aza de platino esterilizado en el mechero de Bunsen, con la finalidad de obtener la muestra del Ependor, y se procedió realizando pequeños ziczac en las cajas Petri, haciendo movimientos superficiales al agar en diferentes ubicaciones.
- ✓ Posteriormente, se incubaron a 37 °C durante 18 horas.

● Preparación de cepas bacterianas

Para la multiplicación de las cepas *B. licheniformis* (EM-44) y *B. subtilis* (EM-54) se prepararon caldos nutrientes, los cuales fueron esterilizados en la autoclave (Yamato SM510). A continuación, se inocularon adicionando material activo que se obtuvo de las cepas previamente reactivadas, seguidamente se incubaron durante 24 horas a 37 °C. Luego, el cultivo se colocó en tubos Falcon y a través del proceso de centrifugación a 6000 revoluciones por minutos, durante 5 minutos, en donde se obtuvo el sobrenadante donde constan los desechos de las bacterias y el agente activo o pellet. Posteriormente, se eliminó el

sobrenadante, y se realizó una dilución en donde se establecerá 1 g del pellet en 99 ml de agua estéril por cada kilogramo de muestra (Andrade y Avellán, 2020).

- **CEPAS FÚNGICAS**

- **Reactivación de cepas fúngicas**

- ✓ Las cepas *T. longibrochiatum* (EM-72) y *T. reesei* (EM-49) se cultivaron en placas con el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA).
- ✓ Para la siembra de los hongos se tomaron cajas Petri previamente sembradas y se realizó dando 3 piquetes sobre la solución de las PDA colocadas posteriormente en las cajas Petri.
- ✓ Posteriormente, se incubaron a 30°C durante 72 horas.

- **Preparación de cepas fúngicas**

Para la preparación de las cepas *T. reesei* y *T. longibrochiatum* se utilizaron las cajas Petri previamente sembradas. A partir del crecimiento en las cajas, se procedió a colocarles 5000 µl de solución madre a base de agua esterilizada y Tween 80, agitando durante 3 minutos y rozar la superficie de la colonia de forma suave y firme mediante un aza esterilizada. Posteriormente, la solución que se obtuvo del procedimiento de la separación de esporas se colocó directamente en matraces Erlenmeyer. Al igual que las cepas bacterianas se colocaron 1 ml de hongo sobre 99 ml de agua por cada kilogramo de muestra (Andrade y Avellán, 2020).

3.9.2. FASE II. DETERMINAR EL EFECTO DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ DE LA ESPAM MFL

ACTIVIDAD 2. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras para la preparación de los tratamientos y la realización de los análisis de suelo antes y después de la aplicación de los microorganismos, se georreferenció con la ayuda de la aplicación Handy GPS (Free), donde se registraron las coordenadas geográficas en la unidad técnica de medida (UTM) para identificar el sitio de muestreo.

En el sitio de muestreo, de acuerdo con lo establecido por Schweizer (2011) las muestras se tomaron en diferentes puntos de cada unidad experimental según los tratamientos establecido, puntos que fueron seleccionados al azar a una profundidad de 0-20 cm y 1 kg por punto, las cuales se colocaron en macetas de 2 kg de capacidad, luego se tomó 0,5 kg por punto, se homogenizaron para tomar una muestra compuesta de 2 kg por unidad experimental las mismas que se recolectarán en una funda hermética sellada con su respectiva etiqueta.

ACTIVIDAD 3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO DE CULTIVO DE CAFÉ, PRE Y POST APLICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS

Posteriormente a la preparación de los tratamientos correspondientes las cepas bacterianas y fúngicas, se procedió con el envío de las muestras al laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP.

Los parámetros evaluados en las muestras fueron la humedad, el cual se determinó mediante un analizador de humedad, el pH del suelo se estimó en una relación de agua (1:5), la materia orgánica por el método de Walkley Black / Ignición y la concentración de fósforo por el método colorimétrico del azul de molibdeno (Murphy y Riley 1962), tomando en cuenta la investigación realizada por Zabala y Gómez (2010).

Las variables químicas serán descritas por protocolos de Bazán (2017), las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3.3. Parámetros a evaluar y métodos para los análisis de laboratorio

Parámetros	Métodos	Parámetros	Métodos
Ph	Potenciómetro	Azufre (S)	Turbidimetría
Materia orgánica (MO)	Walkley Black / Ignición	Amonio (NH ₄)	-
Potasio (K ⁺)	Absorción Atómica	Fósforo (P)	Colorimetría
Calcio (Ca ²⁺)		Boro (B)	
Magnesio (Mg ²⁺)		Nitrógeno (N)	
Sodio (Na ⁺)			
Cobre (Cu)			
Hierro (Fe)			
Manganeso (Mn)			
Zinc (Zn)			

Fuente: Bazán (2017).

ACTIVIDAD 4. APLICACIÓN DE LAS DOSIS DE MICROORGANISMOS EN SUELOS DE CULTIVOS DE CAFÉ DE LA ESPAM MFL EN FUNCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para determinar el periodo de dosificación se tomó en cuenta lo establecido por Tencio (2015) en el cual menciona que los microorganismos se pueden aplicar cada 8 o 10 días, durante 2 o 3 meses en suelos cafetaleros, en la mañana o tardes como preferencia, debido a que las altas temperaturas afectan los microorganismos.

• DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental, en este proceso de investigación, fue un Diseño de Bloque Completamente al Azar (DBCA), debido a las características del ensayo se efectuó en cuatro bloques, y cada uno de ellos contó con cuatro tratamientos. El modelo lineal es el siguiente (Martínez, 2015):

$$y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$$

Ecuación 3.1. Modelo estadístico

Donde:

y_{ij} = Respuesta observada con el tratamiento (i) en el bloque (j)

m = Media general

t_i = Efecto del tratamiento i (i=1,2,...,t)

b_j = Efecto del bloque j (j=1,2,...,r)

e_{ij} = Término de error asociado al tratamiento i en el bloque j

A continuación, se presentan los factores y niveles de estudio:

• FACTORES DE ESTUDIO

FACTOR A. Cepas de microorganismos

• TRATAMIENTO

Los tratamientos en esta investigación surgieron a partir de los factores en estudio, los cuales se detallan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Descripción de los tratamientos

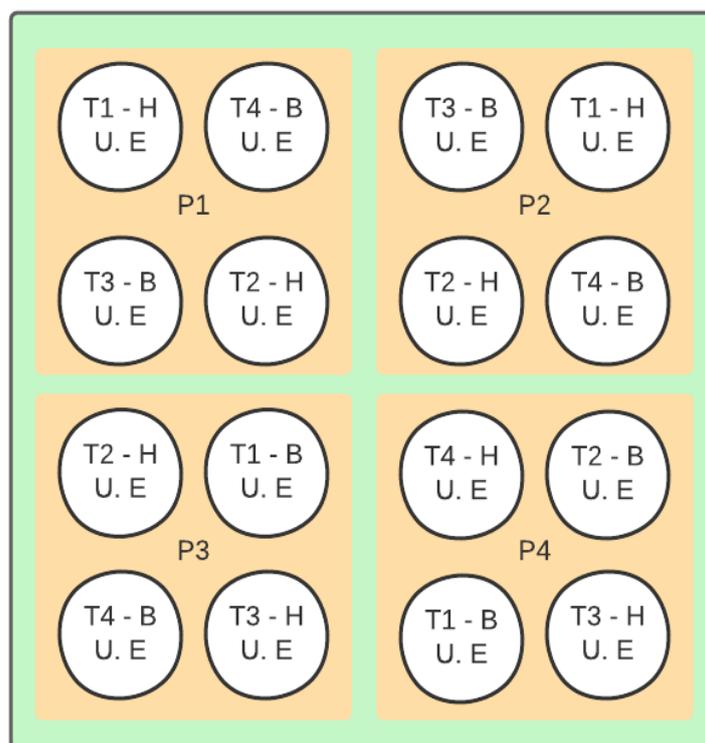
Tratamientos	Código	Dosis	U. E.	Repetición	Macetas por tratamientos
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	T ₁	2 g / 198 ml de agua	1	4	4
<i>Trichoderma reesei</i>	T ₂	2 g / 198 ml de agua	1	4	4
<i>Bacillus subtilis</i>	T ₃	2 g / 198 ml de agua	1	4	4
<i>Bacillus licheniformis</i>	T ₄	2 g / 198 ml de agua	1	4	4
TOTAL					16

Fuente: Elaboración propia.

• DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Las unidades experimentales fueron macetas con la capacidad de 2 kg, en las cuales se rellenaron con suelo proveniente de plantaciones de café.

Los tratamientos se aplicaron en cada maceta como se describe en la figura 3.2.



T = Tratamiento; H = Hongo; B = Bacteria; U. E = Unidades Experimentales

Figura 3.2. Croquis de la distribución de tratamientos en los bloques o macetas

Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD 5. MEDICIÓN DEL CARBONO POR EL MÉTODO DE TITULACIÓN DE SUELO DE CULTIVO DE CAFÉ, PRE Y POST DE LA UNIDADES EXPERIMENTALES

● PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS

- ✓ Para la preparación del hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N, se procederá a pesar 5 g exactos de NaOH, y se disolverá en un vaso de precipitación con agua destilada, posteriormente esta solución ligeramente se calentará, por lo que una vez que se enfrió se procederá a completar el balón aforado con agua estéril hasta obtener 1000 ml de la solución (Villanueva y Rodríguez, 2011).

- ✓ Para la solución del ácido clorhídrico (HCl) al 0,1 N, se colocará en un balón aforado 500 ml de agua destilada, en la cual se diluirá 4,2 ml de ácido clorhídrico concentrado, el cual se envasará y homogeneizará (Ostinelli et. al., 2011).

● PROCEDIMIENTO DEL PROCESO DE TITULACIÓN

Para realizar el proceso en las muestras de suelos antes de la aplicación de los microorganismos, se empleó el método de titulación simple propuesto por Loeppert y Suarez (1996), citado por (Elfaki et al., 2016). Se colocó 5 g de las muestras de suelo fino o previamente triturado en diversos frascos de acuerdo a la cantidad de muestras, y posteriormente se añadió 5ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1 N en pequeños recipientes que serán puestas dentro de los frascos con las muestras.

Una vez tapado los frascos para evitar la pérdida del dióxido de carbono, se movió a un lugar de forma suave, dejándolos en reposo durante 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo, se extrajo el recipiente que contiene el hidróxido de sodio, donde se recogió el CO₂. Esta solución se traspasará a un matraz erlenmeyer de 100 ml, adicionándole 5 ml de agua destilada para obtener 10 ml de volumen final, a esto se le adiciono 1 gotas de fenolftaleína concentrada. Una vez obtenida una solución color rosa, se tituló con ácido clorhídrico hasta el punto de obtener una solución transparente. Además, se registrará el consumo o último

volumen del ácido clorhídrico después de cada titulación y se calculará el % del carbono (Kloster et al., 2016).

3.9.3. FASE III. ESTABLECER EL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA DE FORMA ESTADÍSTICA

ACTIVIDAD 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

En la presente investigación se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el software estadístico InfoStat al 5% de significancia, para determinar la aceptación o el rechazo de las hipótesis planteadas. Además, de aplicar la prueba de Tukey ($p < 0,05$) con 95% de confianza, para establecer las comparaciones significativas entre los tratamientos.

Tabla 3.5. Esquema de análisis de varianza

Fuentes de variación	Fórmula	Grados de libertad
Total	$n - 1$	15
Tratamientos	$T - 1$	3
Bloque	$b - 1$	3
Error experimental	Diferencia	9

Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD 7. DETERMINAR LA EFICIENCIA DE CAPTACIÓN DE CO₂ DE LOS TRATAMIENTOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE FÓRMULA

Para la realización de esta actividad, se tomó en cuenta los calculado del cambio de carbono capturado mediante la diferencia entre este antes de las aplicaciones de las cepas y posterior a esta, definiendo el porcentaje de eficiencia mediante la siguiente fórmula (Ruíz, 2017):

$$\%Eficiencia = \frac{Entrada - Salida}{Entrada} * 100$$

Ecuación 3.2. Fórmula para calcular la eficiencia

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS QUE PROMUEVAN LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ EN LA ESPAM MFL

Durante el desarrollo de esta fase, se demostró el uso de diferentes cepas de microorganismos en el suelo de café, los cuales promuevan la captación de carbono; se utilizaron cepas fúngicas y bacterianas obtenidas del Laboratorio de Biología Molecular, las cepas fueron multiplicadas y posteriormente aplicadas al suelo de café; se realizaron análisis fisicoquímicos antes y después de la aplicación de los microorganismos.

Tabla 4.1. Resultados de la inoculación de los microorganismos

	<p>La captura de carbono es un servicio ecosistémico crucial para combatir el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero Smith y Johnson, (2022), los ecosistemas actúan como sumideros naturales, absorbiendo y almacenando carbono; la capacidad de captación varía según factores como la biomasa forestal, la productividad primaria neta y la diversidad de especies, los bosques tropicales se destacan por su eficiencia en la captura de carbono debido a su densidad de biomasa y rápido crecimiento.</p>
------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



El almacenamiento de carbono en los ecosistemas es crucial desde una perspectiva ambiental, ya que es un servicio ecosistémico que regula el clima y el ciclo biogeoquímico del carbono. La absorción de carbono en los depósitos naturales es fundamental para reducir el dióxido de carbono atmosférico y mitigar el cambio climático (Benavides, Microorganismos como herramienta para minimizar el impacto ambiental por derrame de hidrocarburos, 2012). Resultados de investigaciones recientes muestran que los bosques tropicales maduros pueden acumular un alto nivel de carbono con una tasa de 1-2 Mg/ha/año la cual puede desviar las emisiones que producen la deforestación y degradación.

4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CAPTACIÓN DE CARBONO EN SUELOS DE CAFÉ DE LA ESPAM MFL

En esta fase se procedió a realizar los análisis fisicoquímicos pertinentes de las muestras de suelo, así como los resultados correspondientes a la captación de carbono, esto se realizó antes y después de la aplicación de los microorganismos.

En la tabla 4.2., se evidencian los resultados correspondientes a los parámetros fisicoquímicos del suelo de café antes y después de la aplicación de los microorganismos.

Tabla 4.2. Parámetros evaluados en las muestras de suelo.

Parámetros	Pre-aplicación	Post-aplicación				Medidas
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	
pH	6,7	7,2	7,3	7,4	7,3	pH
Amonio (NH ₄)	5	22	9	19	16	ppm
Fósforo (P)	91	132	249	159	109	
Potasio (K)	1,08	1,94	2,20	2,31	1,51	Meq/100ml
Calcio (Ca)	12	14	13	13	13	
Magnesio (Mg)	1,3	5,0	4,9	5,1	1,2	
Azúfre (S)	20	13	17	30	35	
Zinc (Zn)	1,1	2,6	3,2	3,2	1,6	ppm
Cobre (Cu)	2,5	3,2	2,3	3,2	3,3	
Hierro (Fe)	10	57	59	27	48	
Manganeso (Mn)	3,3	37,1	38,0	27,8	15,9	
Boro (B)	0,50	0,23	0,28	0,44	0,41	

En los resultados obtenidos se evidenció un aumento en el pH de las muestras, pasando de 6,7 antes de la aplicación, y después de ésta el tratamiento 3 tuvo el pH más elevado con 7,4, lo cual se relaciona con lo propuesto por Ramos y Zúñiga (2008) quienes mencionan en su investigación que la acción de las poblaciones microbianas tienden a aumentar el pH de los suelos, dicho dato fue analizado ya que es considerada una de las propiedades químicas más importantes pues esta se encarga de actividades como el intercambio iónico, la disponibilidad de los nutrientes y la disolución de los minerales (Sainz et al., 2011).

Los valores de amonio y fósforo presentaron un leve aumento mientras que el hierro y el Manganeso tuvieron un aumento significativo en sus respectivas concentraciones, esta variación en las concentraciones de los diferentes nutrientes se relaciona al trabajo de investigación de Ordóñez y Giraldez (2017) donde mencionan que el pH de un sustrato es un perfecto indicador de la disponibilidad de algunos nutrientes o de los escasos de estos.

Por otro lado, Vargas et al. (2022) indican que los suelos cuyo rango de pH es de 6,0-6,5 conocidos también como suelos ligeramente ácidos tienen las características adecuadas para una equilibrada disponibilidad de nutrientes, por otro lado, entre 6,5-7,3 es decir un pH neutro tiende a presentar grandes

concentraciones de calcio y magnesio y a su vez la disponibilidad de algunos micronutrientes como el boro se empieza a ver limitada.

En la tabla 4.3, se evidencian los resultados correspondientes a los datos de materia orgánica del suelo de café antes y después de la aplicación de los microorganismos.

Tabla 4.3. Datos de la materia orgánica en las diferentes muestras de suelo.

Unidades experimentales		% Materia orgánica
		1,8 (Pre-aplicación)
Tratamiento 1	Repetición 1	7,9
	Repetición 2	4,2
	Repetición 3	13,6
	Repetición 4	13,6
Tratamiento 2	Repetición 1	8,7
	Repetición 2	7,5
	Repetición 3	5,3
	Repetición 4	8,7
Tratamiento 3	Repetición 1	16,3
	Repetición 2	14,9
	Repetición 3	12,4
	Repetición 4	8,7
Tratamiento 4	Repetición 1	13,6
	Repetición 2	12,4
	Repetición 3	9,9
	Repetición 4	11,1

El promedio de MO fue de 10,5% pese a que en T₃R₁ y T₃R₂ se obtuvieron valores superiores al promedio siendo estos 16,3 y 14,9% de MO porcentajes que sería algo elevados si consideramos lo señalado por Carvajal, 1984 el que dice que por lo menos en Brasil el suelo ideal debe contener un 5% de MO, aunque esto varía en relación a lo que se busque, ya que por ejemplo Benzing, (2015), dice que en suelos cafeteros con un porcentaje a 7 necesita una fertilización mientras que suelos con MO superior a 10% no necesita.

El uso de hongos y bacterias según Salamanca la materia orgánica del suelo después el tratamiento con estas comunidades microbianas varía según sea,

solo con hongos o bacterias; en ese caso en particular se demostró a lo largo de cada tratamiento y repetición que cuando se usaba solo hongos la materia orgánica tendía a caer mientras que cuando se usaba bacterias ésta incrementaba como fue el caso de T₃R₁ que presentó 16,3% de MO y en menor cantidad al usar hongos fue T₂R₃ que dio 5,3% de MO siendo la menor de todas las repeticiones dato que se corrobora con un informe hecho en la (Universidad Complutense de Madrid [UCM], 2018).

Los resultados además muestran que la cantidad de Materia orgánica tiene relación directa con la cantidad de CO₂, esto según señala Cervantes, Beyral y Castro, (2017) la tasa respiratoria del suelo se ve afectada por los compuestos orgánicos del café, mismos que pasan a formar parte de la materia orgánica del suelo lo que impide que las cantidades de CO₂ en el suelo se pierdan.

Sánchez et al. (2005) dicen que la relación del suelo la materia orgánica y el CO₂ varían los porcentajes de MO y porcentajes de dióxido de carbono, y en este caso se trabajó en suelos Arcilloso limoso mismo suelo que al pasar de un 40% de arcilla pueden llegar agrupar una alta cantidad de agua y nutrientes, como la materia orgánica que llega hacer que la cantidad de CO₂ se retiene en el suelo, dato que se comprobó en T₃R₁ de la segunda repetición donde se presentó un 16,3% de MO y 7,197 Mg de CO₂, de la misma manera se relaciona que el tratamiento con un suelo con tendencia arenosa presentó menor cantidad de CO₂ en la primera aplicación y así mismo menor porcentaje de materia orgánica.

En la tabla 4.4, se presentan los resultados de la captura de carbono obtenido por medio del método de titulación, aquí se muestra el dato antes de la aplicación de las cepas, y de las cuatro aplicaciones realizadas para cada tratamiento y su respectiva repetición.

Tabla 4.4. Datos de la captura de carbono en las diferentes aplicaciones.

Unidades experimentales		Captura de carbono			
		Primera aplicación	Segunda aplicación	Tercera aplicación	Cuarta aplicación
Pre-aplicación	8,80				
Tratamiento 1	Repetición 1	12,73	7,54	6,95	7,01
	Repetición 2	13,21	7,06	6,48	6,54
	Repetición 3	14,20	9,43	8,66	8,78
	Repetición 4	14,67	6,14	6,02	6,27
Tratamiento 2	Repetición 1	11,88	7,49	7,12	7,05
	Repetición 2	14,96	6,35	5,92	6,02
	Repetición 3	11,52	9,26	8,23	8,32
	Repetición 4	12,99	7,06	7,27	7,38
Tratamiento 3	Repetición 1	11,29	7,20	6,98	6,87
	Repetición 2	12,62	5,12	5,78	5,92
	Repetición 3	11,63	5,04	5,61	5,74
	Repetición 4	13,31	6,96	6,71	6,82
Tratamiento 4	Repetición 1	11,67	8,96	8,26	8,31
	Repetición 2	14,37	8,17	7,52	7,67
	Repetición 3	12,00	8,16	7,55	7,63
	Repetición 4	13,42	8,33	7,99	8,03

El promedio de CO₂ fue de 8,76 mg, pese a que en la primera aplicación se obtuvieron valores superiores al promedio siendo este 13,6 mg de CO₂ se puede hablar de que un suelo de café tiene el potencial de generar una cantidad significativa de CO₂, alcanzando en este caso hasta 13,6 mg; este proceso ocurre principalmente debido a la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo y la liberación de dióxido de carbono como resultado de la respiración microbiana.

Esta emisión de CO₂ es comparable a los estudios realizados por otros autores en diferentes contextos; por ejemplo, en un estudio sobre la emisión de CO₂ en suelos agrícolas en el sur de Brasil Santos et al. (2018) encontraron que los suelos de café emitían en promedio 14,2 mg de CO₂ por kilogramo de suelo. En otro estudio en suelos de cultivo de maíz en Estados Unidos, Smith y Johnson

(2019) observaron emisiones de CO₂ de aproximadamente 13,0 mg por kilogramo de suelo.

Un suelo de café podría generar hasta 7,4 mg de CO₂, lo cual muestra una disminución significativa en comparación con un tratamiento anterior que produjo 13,6 mg de CO₂, varios estudios realizados por investigadores especializados en suelos de cacao respaldan esta variación, por ejemplo, en su investigación sobre la emisión de CO₂ en suelos de cacao en Ghana et al. (2017) encontraron que las emisiones de CO₂ variaban entre 5,0 y 10,0 mg por kilogramo de suelo.

Asimismo, en otro estudio realizado en suelos de café en Costa de Marfil, Koné, et al. (2019) observaron emisiones de CO₂ que oscilaban entre 6,0 y 12,0 mg por kilogramo de suelo, estos hallazgos indican la importancia de gestionar adecuadamente los suelos de café para mitigar las emisiones de CO₂ y promover prácticas sostenibles en la producción de café.

La emisión de CO₂ en un suelo de café puede presentar variaciones significativas, un estudio realizado por Appiah et al. (2017) en suelos de café en Ghana encontró que las emisiones de CO₂ oscilaban entre 5,0 y 10,0 mg por kilogramo de suelo. En otro estudio llevado a cabo en Costa de Marfil, Koné et al. (2019) observaron emisiones que variaban entre 6,0 y 12,0 mg de CO₂ por kilogramo de suelo. En este caso se evidencia que en la primera aplicación en promedio se produjo 13,6 mg de CO₂, mientras que en una segunda aplicación 7,4 mg de CO₂, luego en una tercera aplicación la emisión disminuyó a 6,963 mg de CO₂, sin embargo, en un tratamiento adicional, las emisiones se incrementaron nuevamente a 7,1 mg de CO₂ (Koné et al., 2019).

Por otro lado, en un estudio adicional realizado por Vargas et al. (2018) se observó que las emisiones de CO₂ volvieron a aumentar, como es nuestro caso al pasar de 6,96 mg a 7,1 mg de CO₂ mg por kilogramo de suelo debido a una variedad de factores, como la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica; estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el papel de las bacterias y los hongos en la regulación de las emisiones de CO₂ en los suelos de café.

4.3. ESTABLECIMIENTO DEL TRATAMIENTO CON MAYOR EFICIENCIA DE FORMA ESTADÍSTICA

La tabla 4.5., muestra el análisis de varianza ANOVA aplicado a las concentraciones de carbono en los diferentes tratamientos empleados para obtener la captura de este, donde se evidenció que no existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos por poseer un valor mayor a $P < 0,05$.

Tabla 4.5. Análisis de varianza en función de la captura de carbono.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Fc	Sig.
Tratamientos	3	5,04	1,68	3,47	0,0641
Bloque	3	0,55	0,18	0,38	0,7731
Error experimental	9	4,36	0,48		
Total	15	9,94			

En la tabla 4.6, se encuentran los resultados correspondientes a la prueba de Tukey para la variable captura de carbono, en donde se encontró un solo grupo homogéneo, lo cual indican que los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ son estadísticamente iguales, es decir que entre estos no existe una diferencia significativa, la investigación realizada por García et al. (2019) respaldan la idea de que un suelo de café puede generar altas cantidades de CO₂, sin embargo, es importante destacar que las emisiones no son constantes y pueden experimentar cambios significativos en diferentes condiciones y tratamientos.

Tabla 4.6. Prueba de Tukey para la captura de carbono.

Tratamientos	N	Medias	E.E.	
T ₃	4	7,73	0,35	A
T ₂	4	8,68	0,35	A
T ₁	4	8,86	0,35	A
T ₄	4	9,25	0,35	A

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener un mejor análisis de los resultados se realizó la valoración de la eficiencia para cada tratamiento, como se muestra en la tabla 4.6., para así poder identificar cuál de ellos presenta una mayor eficiencia en la captura de carbono.

Tabla 4.7. Eficiencia de captura de carbono en los diferentes tratamientos.

Unidades experimentales		Eficiencia (%)			
		Primera aplicación	Segunda aplicación	Tercera aplicación	Cuarta aplicación
Tratamiento 1	Repetición 1	44,66	14,32	21,02	20,34
	Repetición 2	50,11	19,77	26,36	25,68
	Repetición 3	61,36	7,16	1,59	0,23
	Repetición 4	66,70	30,23	3,59	28,75
Tratamiento 2	Repetición 1	35	14,89	1,09	19,89
	Repetición 2	0,70	27,84	32,73	31,59
	Repetición 3	30,91	5,23	6,48	5,45
	Repetición 4	47,61	19,77	17,39	16,14
Tratamiento 3	Repetición 1	28,30	18,18	20,68	21,93
	Repetición 2	43,41	41,82	34,32	32,73
	Repetición 3	32,16	42,73	36,25	34,77
	Repetición 4	5,25	20,91	23,75	22,5
Tratamiento 4	Repetición 1	32,61	1,82	6,14	5,57
	Repetición 2	63,30	7,16	14,55	12,84
	Repetición 3	36,36	7,27	14,20	13,30
	Repetición 4	52,5	5,34	9,20	8,75

El uso de hongos en T₁ en la primera aplicación para captación de CO₂ en suelos de café (*Coffea arabica*), mostró una eficiencia promedio del 55,71%; el resultado es considerado bueno en comparación con otros trabajos relacionados, por ejemplo, en un estudio realizado por Hernández et al. (2019) en suelos de café en México utilizando diferentes enmiendas orgánicas, se obtuvieron eficiencias de captación de CO₂ que oscilaban entre el 30% y el 50%.

Otro estudio llevado a cabo por Manchabajoy (2022) en suelos de café en Colombia logró una eficiencia de captación de CO₂ del 40% utilizando microorganismos promotores del crecimiento vegetal, por lo tanto, el resultado del 55,71% de eficiencia en el tratamiento con hongos es considerado favorable en comparación con estos trabajos anteriores, indicando un potencial prometedor para la captación de CO₂ en suelos de café así mismo manteniendo la tendencia T₂, T₃ y T₄ en la primera aplicación.

El hecho de que un tratamiento con hongos y bacterias en suelos de café haya mostrado una eficiencia promedio del 17,78% en la captación de CO₂, mientras que en un tratamiento anterior se obtuvo una eficiencia del 46,64%, indica una disminución significativa en la efectividad del proceso, en comparación con otros trabajos relacionados, este resultado puede considerarse como relativamente bajo.

Por ejemplo, en un estudio realizado por González et al. (2018) en suelos de café utilizando microorganismos promotores del crecimiento vegetal, se logró una eficiencia de captación de CO₂ del 40%. Además, en una investigación llevada a cabo por López y Contreras, (2019) en suelos de café utilizando diferentes enmiendas orgánicas, se obtuvieron eficiencias que oscilaban entre el 30% y el 50%.

La utilización de los hongos (*Trichoderma Lonchibrochiatum*, *Trichoderma reesei*) y bacterias (*Bacillus lickeniformis*, *Bacillus subtilis*,) demostró una eficiencia promedio del 24,88% en la captación de CO₂, en comparación con el 17,78% obtenido en un tratamiento anterior; aunque hubo un aumento en la eficiencia en esta ocasión, sigue siendo más bajo que el primer tratamiento, que logró una eficiencia del 46,64%; García et al. (2019) señalan que estos resultados indican que, aunque la presencia de hongos y bacterias puede tener un impacto positivo en la captación de CO₂, otros factores pueden influir en la eficiencia general del proceso.

La relación entre la presencia de hongos y bacterias y la captación de CO₂ en suelos de café ha sido objeto de investigación en varios estudios. Un trabajo realizado por Silva y Souza, (2017) también encontraron una disminución en la eficiencia de captación de CO₂ en suelos tratados con microorganismos, donde se alcanzó una eficiencia promedio del 24,2%. Por otro lado, en un estudio de Mendes et al. (2020) indicaban que se obtuvo una eficiencia promedio del 32,5% utilizando una combinación de hongos y bacterias en suelos de café.

La materia orgánica presente en los suelos también desempeña un papel importante en la captación de CO₂, en este estudio, se registró un máximo de 16% de contenido de materia orgánica entre todas las unidades estudiadas López et al. (2018) dice que la relación entre la materia orgánica y la eficiencia

de captación de CO₂ ha sido documentada en investigaciones previas. Por ejemplo, en un estudio de Rodrigues et al. (2019) encontraron que un aumento del 1% en el contenido de materia orgánica en suelos de café resultó en un aumento de aproximadamente 6% en la eficiencia de captación de CO₂.

En comparación con otros trabajos, los resultados obtenidos en este estudio pueden considerarse relativamente buenos, en estudios similares, se han reportado eficiencias de captación de CO₂ en suelos de café que varían ampliamente, por ejemplo, un estudio realizado por Vargas y Díaz, (2021) encontraron una eficiencia promedio del 20,4% utilizando una combinación de hongos y bacterias en suelos de café. Otro estudio llevado a cabo por Gómez y Echeverri, (2018) reportaron una eficiencia promedio del 22,7% utilizando un enfoque similar.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los análisis mostraron un aumento en el pH del suelo después de la aplicación de los microorganismos, lo cual está relacionado con la acción de las poblaciones microbianas, sin embargo, los valores de amonio y fósforo aumentaron levemente, mientras que el hierro y el manganeso tuvieron un aumento significativo en sus concentraciones.
- Se encontró que la cantidad de materia orgánica (MO) en el suelo estaba relacionada directamente con la captura de carbono, la aplicación de los hongos y bacterias mostró variaciones en los niveles de MO y emisiones de CO₂.
- La eficiencia en la captación de CO₂ varió según el tratamiento, siendo más alta en los tratamientos con hongos (*Trichoderma Lonchibrochiatum* y *Trichoderma reseei*) con una eficiencia del 55,71% en comparación con los tratamientos con bacterias, sin embargo, en general, se observó una disminución en la eficiencia en tratamientos posteriores.
- Mediante la aplicación de microorganismos en las macetas, se observó que al menos uno de los tratamientos incide de manera significativa en la captación de carbono en los suelos de plantaciones de café.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar monitoreo regular de los parámetros del suelo, como el pH y las concentraciones de nutrientes, antes y después de la inoculación de los microorganismos. Asimismo, llevar a cabo un análisis más detallado de la microbiana del suelo y brindar información al productor que permita diagnosticar, predecir y planificar manejos sustentables.
- Además de la aplicación de las cepas fúngicas y bacterianas, recomendar el uso de residuos orgánicos en proceso de compostaje o aplicación de residuos agrícolas, puede extender la cantidad de materia orgánica en el suelo.
- Optimizar el mejor tratamiento que den los mejores resultados posibles y experimentar con nuevas especies microbianas, para así poder obtener un buen resultado con las muestras y tratamientos a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, I. y Paniagua, F. (2016). *Comparación de dos técnicas para la determinación de carbono orgánico en del suelo, en el LAFQA Departamento de Química, Unanmanagua, Septiembre-Diciembre, 2015*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/2722/1/71958.pdf>
- Álvarez, C. (2022). *Preparación de medios de cultivo*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~cjl/medios%20de%20cultivo.pdf>
- Andrade, D. y Avellán, A. (2020). *Inoculación de un consorcio microbiano autóctono encapsulado con capacidad celulolítica para la producción de compost de calidad en Manabí-Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1326/1/TTA04D.pdf>
- Agular, M. (2018). *Técnicas generales de laboratorio*. Obtenido de <https://www.sintesis.com/data/indices/9788491711902.pdf>
- Appiah, M., Ofori, P. y Appiah, C. (2017). Soil organic carbon stocks and carbon dioxide emissions in cocoa ecosystems in Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 324-330.
- Arroyo, M. y Ramírez, A. (2020). *Dióxido de carbono, sus dos caras*. Obtenido de *Anales de Química*: <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1316>
- Bagatolli, C. (2017). *Validación de un método alternativo para la conservación de bacterias*. Obtenido de Biblioteca Digital de la Universidad Nacional del Cuyo: <https://bdigital.uncu.edu.ar/8571>
- Barrales, E., Etchevers, D., Hidalgo, C., Paz, F. y Saynes, V. (2014). Determinación in vitro de la emisión de CO₂ en muestras de mantillo. *Agrociencia*(48), 679-690.
- Barrazueta, U., Alava, C., Espinoza, U., Barrera, L. y Condon, G. (2020). *Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ECUADOR*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/fave/v19n2/1666-7719-fave-19-02-25.pdf>

- Bartra, A., Cobo, R. y Paz-Paredes, L. (2011). *La Hora del Café dos siglos a muchas voces*. Obtenido de Consejo Civil Mexicano: https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/La_hora_del_cafe._Dos_siglos_a_muchas_voces.pdf
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Obtenido de Repositorio Institucional INIA: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf
- Bazurto, L. y Murillo, W. (2017). *Microorganismos nativos en la eficiencia de remoción de materia orgánica del efluente de la estación depuradora de Calceta, Manabí*. Obtenido de Repositorio ESPAM: <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/677>
- Benavides. (2012). Microorganismos como herramientas para minimizar el impacto ambiental por derrame de hidrocarburos. Corporación Tecnológica de Bogotá, 65-72.
- Benavides, J., Quintero, G. y Ostos, O. (2006). *Aislamiento e identificación de diez cepas bacterianas desnitrificantes a partir de un suelo agrícola contaminado con abonos nitrogenados proveniente de una finca productora de cebolla en la Laguna de Tota*. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/360>
- Benzing, A. (2015). Agricultura con Materia orgánica. Fundamentos para la región andina. *Neckar Verlag*, Villingen-Schwenningen.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revistas de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82-96.
- Campos, A. (2016). *Estudio del Carbono Negro (Black Carbon) contenido en partículas suspendidas en ambientes urbanos*. Obtenido de Repositorio CIMAV: https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2244/1/CARLOS%20DIAZ_TESIS%20MCTA.pdf
- Carbajal, J., Rodríguez-Rosales, A. A., Ávila-Caballero, L. P., Rodríguez-Herrera, A. L. y Hernández-Cocoletzi, H. (2017). *Captura de carbono por*

una fachada vegetada. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v27n5/2007-9621-au-27-05-55.pdf>

Carlín, D. y Macías, D. (2018). *Valoración de la captación de carbono para la conservación ambiental en el sector La Pita de la Parroquia Quiroga.* Obtenido de Repositorio ESPAM: <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/739/TMA163.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carvajal, B. y Andrade, H. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia*, 24(1), 13-22.

Corona, R. (2007). *Los métodos estadísticos.* Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-LosMetodosEstadisticosComoFuenteDeMejoraDeLaCalida-8043232.pdf>

Casados, Y. (2022). *Reducción fotocatalítica de CO2 usando nanoalambres de nanoalambres de silicio con nanopartículas de cobre bajo irradiación visible.* Obtenido de Repositorio CIDETEQ: <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/477/1/Tesis%20YOLANDA%20CASADOS%20MEXICANO%20MAE%202022.pdf>

Casas, S. y Pérez, C. (2019). Evaluación de las características probióticas de bacterias ácido lácticas aisladas de ensilados de pulpa de café. *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología De Alimentos. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 133-141. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/2/18.pdf>

Castro, L., Murillo, M., Uribe, L., y Mata, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y Microorganismos de Montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 21-36.

Chango, M. (2019). *Caracterización morfológica y molecular de hongos asociados a la rizósfera de plantas de café en la isla Santa Cruz–*

Galápagos. Obtenido de Repositorio Digital:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18721>

- Cisneros, C., Franco, J. M., Fernández, M. R. y Fuenmayor, J. C. (2017). Influencia de Microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plantulas de café (*Coffea arabica*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 15(1), 19-26. Obtenido de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/531/634>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Defensa Nacional: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Contreras, A., Sánchez, P., Romero, O., Rivera, J. A., Ocampo, I. y Conrado, J. (2019). Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla. *Acta Universitaria*, 29(1894). Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/2007-9621-au-29-e1864.pdf>
- Cortijo, J. D. (2017). *El mundo del café ok*. Obtenido de Infocafes: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/cafe.pdf>
- Cosigna, R. (2021). *Efecto de Bacillus subtilis, Lecanicillium lecanii y Trichoderma spp., en control de Hemileia vastatrix en Coffea arabica en Pangoa*. Obtenido de Repositorio UNCP: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7648/T010_48078839_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cruz, C., Zelaya, L., Sandoval, G., Villalobos, S., Rojas, E., Chávez, I. y Ruíz, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899-913. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n5/2007-0934-remexca-12-05-899.pdf>

- Dabadie, M., Pérez, C., Arturi, M., Goya, J. y Sandoval, M. (2018). Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117(1), 157-162. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70942>
- Díaz, L. (2020). Obtenido de Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín - Perú:
<https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/746/D%C3%ADaz%20Arteaga%20Lady%20-%20Carbono%20-%20agroforestales.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Díaz, Y. y Blanco, Y. (2022). Las arvenses como indicador microbiológico del suelo. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)*, 43(1). Obtenido de <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1648/pdf>
- Díaz, L. (2011). *La observación*. Obtenido de https://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem.pdf
- Elfaki, J., Gafei, M., Suleiman, M. y Ali, M. (2016). Assessment of Calcimetric and Titrimetric Methods for Calcium Carbonate Estimation of Five Soil Types in Central Sudan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(1), 120-127. doi:10.4236/gep.2016.41014
- Fernández, Y., Sotto, K. y Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Revista Producción + Limpia*, 15(1), 93-110.
- Garay, K. E. (2021). *Determinación de la huella de carbono en el cultivo y procesamiento del café y estrategias para su reducción*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4075/1/Katherine%20Estephania%20Garay%20C%C3%A1rdenas.pdf>

- García, A., Pérez, J. y Torres, C. (2019). Evaluación de microorganismos con capacidad de captura de CO₂ en suelos de café. *Revista Internacional de Ciencias*, 3(3), 132-138.
- Gómez, G. (2010). Cultivos y beneficios del café. *Revista de Geografía Agrícola*(45), 103-193. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75726134008>
- Gómez, R. P. y Echeverri, C. D. (2018). Carbon capture in coffee systems associated with microorganisms. *Acta Agronómica*, 67(3), 410-415.
- González, T. (2014). Monitoreo de carbono. *Awsassets*, 23-37.
- Guzmán, T. S. (2017). Los microbios y la ecología. *Ciencia* 68(1), 01-02.
- Hanco, E. P. (2018). *Determinación de la captura de carbono en suelos con eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) en el distrito de Huancané-Puno, 2018*. Obtenido de Universidad Peruana Unió: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1785/Esther_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández, D. J., Ferrera, R. y Alarcón, A. (2019). Trichoderma: Importancia Agrícola, Biotecnológica, y Sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(1), 98-112. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v35n1/0719-3890-chjaasc-00205.pdf>
- Hernández, D., Contreras, S. M., Roa, F., Bañón, A., Pérez, J. y Velázquez, A. (2019). Soil CO₂ capture efficiency in coffee cultivation under organic amendments. *Agrociencia*, 53(2), 195-206.
- Hernández, O. y González, A. (2017). *Producción del café a pequeña escala (Coffea arabica L.) en Chiconquiaco, Veracruz, México*. Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/967/825>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2019). *Manual de producción sostenible de café*. Obtenido de Repositorio IICA:

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007). *El carbono*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap2.html>

International Coffee Organization (ICO). (2019). *Aspectos botánicos del café*. Obtenido de https://www.ico.org/es/botanical_c.asp

Iroz, N., Juambelz, L., Cruz, J., Muñoz, D. y Sosa, J. (2018). *El ciclo biológico del Carbono*. Obtenido de UTN FRLP: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/com64cbiol.pdf>

Kloster, N., Pérez, M. y Bono, A. (2016). Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida Pampeana Argentina. *Asociación Argentina Ciencias del Suelo*, 34(2), 365-372. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v34n2/v34n2a17.pdf>

Koné, A. W., Mambani, B. y Paturel, J. E. (2019). Effect of land use changes on carbon dioxide (CO₂) emissions in cocoa agroforestry systems in Côte d'Ivoire. *International Journal of Advanced Research*, 7(2), 474-483.

Laruta, A. (2021). *Evaluación de la eficiencia de microorganismos eficientes (em•1) y microorganismos de montaña (MM) a diferentes concentraciones en plantines de café (Coffea arabica L.) en Caranavi - La Paz*. Obtenido de Repositorio UMSA: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/26147>

Lino, M. P. (2021). *Evaluación de tres híbridos de café arábigo (Coffea arabica) en dos tipos de germinadores en la Parroquia El Anegado*. Obtenido de UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3678/1/TESIS%20MONICA%20LINO%20VILLAMAR%20docx.pdf>

Loor, R. y Zambrano, P. (2017). *El cultivo de plátano (Mussa balbisiana) y la calidad ambiental del suelo, caso hacienda San Rafael*. Obtenido de Repositorio ESPAM: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/282>

- López, D. y Contreras, S. M. (2019). Soil CO₂ capture efficiency in coffee cultivation under organic amendments. *Agrociencia*, 53(2), 195-206.
- López, M., López, J., Amézquita, E. y Contrera. (2018). Influencia de la materia orgánica sobre la captura de carbono en suelos cultivados con café (*Coffea arabica* L.) en México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(3), 43-58.
- López, R., Murillo, B., López, E., Benso, M. y Valle, G. (2002). *Manual de análisis químicos del suelo*. Obtenido de <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2065/1/MANUAL%20DE%20AN%C3%81LISIS%20QU%C3%8DMICOS%20DE%20SUELOS.PDF>
- López, S. I. (2018). *Validación del método respirométrico para determinar el DBO₅ en aguas residuales y naturales en el Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19481/1/CD-8878.pdf>
- López, P. y Facheli, S. (2015). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2020/232105/metinvsocua_cap1-1a2020.pdf
- López, W., Castro, I., Salinas, E., Reynoso, R. y López, J. (2016). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 607-618. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263145554011.pdf>
- Macías, R. M. (2021). *Multiplicación in vitro de híbridos f1 de café arábigo de alto valor genético en el cantón Bolívar, Manabí*. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/1541/TTA25D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manchabajoy, J. P., Andrade, D. y Álvarado, J. (2022). Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café en el departamento de Nariño. *Revista Ciencia y Agricultura*, 19(1), 28-44. Obtenido de <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13358>

- Martínez, C. G. (2015). *Análisis y diseño de experimentos*. Obtenido de CORE: <https://core.ac.uk/download/pdf/55527325.pdf>
- Maza, R. (2016). *Control de calidad del café*. Obtenido de https://www.academia.edu/37439390/Control_de_calidad_del_caf%C3%A9
- Medina, M. L. y Luna, R. R. (2013). *Análisis de la cadena del café y estrategia de mejoras para el sector caficultor en la Provincia de Manabí Cantón Jipijapa Parroquia Pedro Pablo Gómez*. Obtenido de Infocafes: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/UPS-GT000365.pdf>
- Mendes, L. B., Martins, I., Souza, R. M. y Silva. (2020). Carbon dioxide capture by soil amended with microbial products and coffee husk. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44, e0190385.
- Montzka, S., Dlugokencky, E. y Butler, J. H. (2011). Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature Climate Change*, 476, 43–50.
- Moreno, R., Gisbert, H. y Ibañez, S. (2010). *El Color del suelo*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/8008>
- Morocho, M. T. y Leiva, M. (2019). Microorganismos ecientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93 - 103. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>
- Nicomedes, E. N. (2021). *Tipos de Investigación*. Obtenido de CORE: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- Nordberg, G. (2023). *Metales: Propiedades químicas y toxicidad. Productos Químicos*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>
- Ordóñez, R. y Giraldez, J. (2017). *Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7962043>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2021). *Biodiversidad*. Obtenido de Fao.org: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/>
- Ostinelli, M., Azcarate, M. y Kloster, N. (2011). Guía para la verificación de espectrofotómetros UV-Visibles utilizados en el análisis del suelo y agua. VI *IBEROLAB*, 1-4. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-guia_espectrofotmetros_uv.pdf
- Pedraza, R., Teixeira, K., Fernández, A., García, I., Baca, B., Azcón, R. y Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164. Obtenido de <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/206>
- Pineda, M., Ortiz, G. y Sánchez, L. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Boques*, 11(2), 3 - 14.
- Ponce, L. A., Orellana, K. y Acuña, I. (2016). Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2).
- Ponce-Vaca, L. A., Orellana-Suarez, K. y Acuña-Velázquez, I. (2016). Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2).
- Pujadas, J. (2023). *El método bibliográfico: El uso de las historias de vida en ciencias sociales*. Obtenido de <https://www.uv.mx/mie/files/2012/10/MetodoBiografico.pdf>
- Ramírez, K., Florida, N. y Escobar, F. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2).
- Ramos, E. y Zúñiga, D. (2008). *Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio*. Obtenido de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162008000100015&script=sci_arttext&lng=en

- Ripple, W., Smith, P., Haberl, H., Montzka, S., McAlpine, C. y Boucher, D. (2014). Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change*, 4, 2–5. Obtenido de <https://atlantic2.sierraclub.org/sites/newyork.sierraclub.org/files/documents/2014/01/Ripple%20et%20al%202014%20Ruminants%20climate%20change.pdf>
- Rivas, S. y Giraldo, C. (2021). *Manual Práctico de Microbiología básica*. Editorial Universidad del Cauca. Obtenido de <https://www.perlego.com/book/3277535/manual-prctico-de-microbiologia-bsica-pdf>
- Rodrigues, M. B., Nunes, L. A. y Sousa, D. (2019). arbon capture in coffee-crop systems in southern Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43.
- Rodríguez, A. (2020). *Consortio microbiano autóctono in vitro en remediación de efluentes en cultivo de camarón (Litopenaeus Vannamei) de agua dulce*. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/Bitstream/42000/1331/1/Ttma12d.Pdf>
- Rodríguez, C. (2021). *Caracterización físico química de los suelos cafetaleros del cantón Paján de la provincia de Manabí - Ecuador*. Obtenido de Repositorio Digital UNESUM: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3675/1/TESIS%20FINAL.pdf>
- Rodríguez, C. y Zhurbenko, R. (2018). *Manual de medio de cultivos*. Obtenido de Biocen: <https://www.biocen.cu/wp-content/uploads/2021/05/Manual-MC-2018.pdf>
- Rodríguez, C. y Zhurbenko, R. (2021). *Manual de medios de cultivo*. Obtenido de <https://www.biocen.cu/wp-content/uploads/2021/05/Manual-MC-2018.pdf>

- Rojo, E. (2014). Café I (G. Coffea). *Reduca (Biología)*, 7(2), 113-132. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27835/1/1757-2066-1-PB.pdf>
- Ruíz, S. (2017). *Efecto de diferentes usos del suelo sobre la materia orgánica en la microcuenca La Danta, Somotillo*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3520/1/tnp33r934.pdf>
- Sainz, H., Echeverría, H. y Angelini, H. (2011). *Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/cds/v29n1/html/v29n1a04.htm>
- Sánchez, B., Ruiz, M. y Ríos, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 55:507-534.
- Sánchez, E. (2017). *Estimación del intercambio de CO₂ entre la atmósfera y tres especies nativas de la reserva ecológica del pedregal de San Ángel (REPSA), Ciudad de México*. Obtenido de Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: http://www.repsa.unam.mx/documentos/Sanchez-Leon_2016.pdf
- Sánchez, E. (2017). *Estimación del intercambio de CO₂ entre la atmósfera y tres especies nativas de la reserva ecológica del pedregal de San Ángel (REPSA), Ciudad de México*. Obtenido de Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: http://www.repsa.unam.mx/documentos/Sanchez-Leon_2016.pdf
- Sánchez, M. (2011). La medida de la respiración de suelo como herramienta docente en edafología. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 2(3), 26-37. Obtenido de <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/31/126>
- Santos, L. H., Dos Santos, F. A. y Pereira, M. G. (2018). Soil respiration and its temperature sensitivity in agricultural soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, e0170072.
- Scaliter, J. (2019). *¿Cómo afectan las bacterias al café?* Obtenido de <https://quo.eldiario.es/Ciencia/A26124847/Bacterias-AI-Cafe/>

- Schweizer, S. (2011). *Muestreo y Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Fichas metodológicas de los indicadores del Plan Nacional de Desarrollo 2021 - 2025*. Obtenido de Secretaría Nacional de Planificación: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/pnd2021/pndfichas.html>
- Silva, F. y Souza, J. G. (2017). Uso de bioinsumos para captura de CO₂ en cultivo de café. *Informe Agropecuario*, 38(305), 29-37.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (SIPA). (2022). *Boletín Nacional Agroquímicos y Fertilizantes 2022*. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/boletin-nacional-agroquimicos-fertilizantes/2022-agroquimicos-fertilizantes>
- Smith y Johnson. (2022). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *Revista Científica Mundo de la investigación y el conocimiento*, 16-72.
- Smith, P. y Johnson, D. (2019). Agriculture's contribution to greenhouse gas emissions and mitigation potential. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems Elsevier.*, 326-332.
- Tencio, R. (2015). *Reproducción y aplicación de los microorganismos de montaña en la actividad agrícola y pecuaria*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1847.pdf>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). (2015). *Norma de calidad ambiental de recursos suelo criterio de re mediación para suelo contaminados*. Obtenido de Dirección Provincial del Ambiente de Orellana: <https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-2-suelo.pdf>
- Toalombo, R. M. (2012). *Evaluación de Microorganismos Eficientes Autóctonos aplicados en cultivos de cebolla blanca (Allium fistulosum)*. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2217/1/Tesis-22agr.pdf>

Valdivieso, C., Cedeño-García, G. y Guanoluisa-Arteaga, A. (2021). Análisis Estadístico de los datos climáticos históricos de la SPAM MFL. Obtenido de <https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2021/11/Analisis-Estadistico-de-los-datos-climaticos-historicos-de-la-SPAM-MFL.pdf>

Vargas et al. (2018). Basal respiration and microbial biomass in soils from cocoa farms under different management systems. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2), 293-310.

Vargas, A., Ramírez, I. y Arroyave, A. (2022). *Relación entre el PH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia*. Obtenido de <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/4706>

Vargas, L. y Díaz, M. (2021). Carbon dioxide capture in Colombian coffee farms using microbial consortia and agroindustrial waste. *Agronomía Colombiana*, 39(1), 42-50.

Vega, J. P. (2017). *Evaluación de microorganismos nativos en el proceso de degradación de materia orgánica en compostaje de relleno sanitario en el GAD del Cantón de La Joya de Los Sachas*. Obtenido de <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/4949/1/236T0199.pdf>

Verhulst, N., François, I. y Govaerts, B. (2022). *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. Obtenido de <https://www.biopasos.com/biblioteca/Agricultura%20de%20conservacion%20y%20captura%20de%20carbono.pdf> BioPasos:

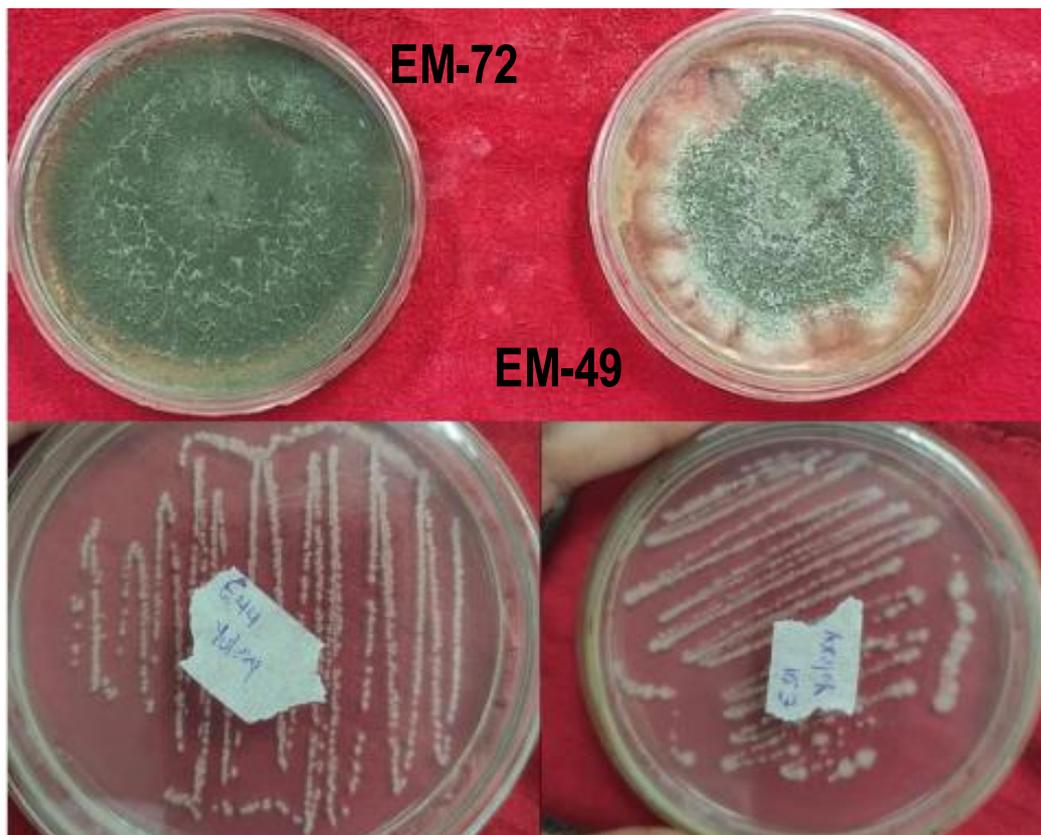
Vidal, G. y Vera, J. (2017). *Relación de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo en la contaminación de CO₂ eq. en el Cantón Junín*. Obtenido de Repositorio ESPAM: <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/615/1/TMA133.pdf>

Villanueva, L. y Rodríguez, C. (2011). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Química Analítica*. Obtenido de

http://fing.uach.mx/licenciaturas/IG/MPracticas/2011/10/24/MPracticas_de_Quimica_analitica.pdf

Zabala, M. y Gómez, Y. (2010). Biomasa fúngica y bacteriana como indicadores del secuestro de C en suelos de sabanas sustituidos por pinares en Uverito, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(3), 977-989. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/5258/5058>

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico del proceso de laboratorio**Anexo 1-A. Preparación de los medios de cultivo (Agar Nutriente y PDA)****Anexo 1-B. Cultivación de los ME (hongos y bacterias)**



Anexo 1-C. Inoculación y obtención del pellet de las cepas bacterianas



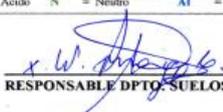
Anexo 1-D. Activación de las cepas fúngicas

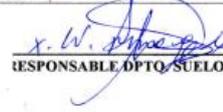
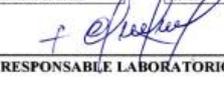


Anexo 1-E. Microorganismos Eficientes preparados

Anexo 2. Muestreo de suelo cafetalero en la ESPAM MFL**Anexo 2-A. Toma de muestras****Anexo 2-B. Muestras de suelo****Anexo 2-C. Muestras con su respectivo tratamiento**

Anexo 3. Análisis físico-químico en la caracterización del suelo

		ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec																	
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																			
DATOS DEL PROPIETARIO					DATOS DE LA PROPIEDAD					PARA USO DEL LABORATORIO									
Nombre : ALCIVAR INTRIAGO FABRICIO Dirección : MANABÍ / BOLIVAR Ciudad : BOLIVAR / CALCETA Teléfono : 0986449669 Fax : falcivar@espam.edu.ec					Nombre : ESPAM-MFL Provincia : Manabí Cantón : Bolívar Parroquia : Ubicación :					Cultivo Actual : Cacao N° Reporte : 10112 Fecha de Muestreo : 16/9/2022 Fecha de Ingreso : 30/9/2022 Fecha de Salida : 17/10/2022									
N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm									
	Identificación	Area		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B					
108083	Lote Café		6,7 PN	5 B	91 A	1,08 A	1,2 A	1,3 M	20 M	1,1 B	2,5 M	10 B	3,3 B	0,50 M					
INTERPRETACION																			
pH M_{Ac} = Muy Acido L_{Ac} = Liger. Acido L_{Al} = Lige. Alcalino RC = Requiere Cal A_c = Acido PN = Prac. Neutro M_{Al} = Media. Alcalino B = Bajo M_{Ac} = Media. Acido N = Neutro Al = Alcalino M = Medio A = Alto					Elementos: de N a B B = Bajo M = Medio A = Alto					METODOLOGIA USADA pH = Suelo: agua (1:2,5) N,P,B = Colorimetría S = Turbidimetría K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica					EXTRACTANTES pH = Olsen Modificado N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Fostato de Calcio Monobásico B,S				
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS							 RESPONSABLE LABORATORIO												

		ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf. 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec													
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS															
DATOS DEL PROPIETARIO					DATOS DE LA PROPIEDAD					PARA USO DEL LABORATORIO					
Nombre : ALCIVAR INTRIAGO FABRICIO Dirección : MANABÍ / BOLIVAR Ciudad : BOLIVAR / CALCETA Teléfono : 0986449669 Fax : falcivar@espam.edu.ec					Nombre : ESPAM-MFL Provincia : Manabí Cantón : Bolívar Parroquia : Ubicación :					Cultivo Actual : Cacao N° de Reporte : 10112 Fecha de Muestreo : 16/9/2022 Fecha de Ingreso : 30/9/2022 Fecha de Salida : 17/10/2022					
N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	(meq/l)½	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.	Mg	K	K	Σ Bases	RAS	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
108081					2,2 B	11,0	1,02	12,24	12,98			28	40	32	Franco-Arcilloso
108082					2,3 B	10,0	1,28	14,07	12,96			12	46	42	Arcillo-Limoso
108083					1,8 B	9,2	1,20	12,31	14,38			36	34	30	Franco-Arcilloso
INTERPRETACION															
AH-H, Al y Na B = Bajo NS = No Salino S = Salino B = Bajo M = Medio LS = Lig. Salino MS = Muy Salino M = Medio T = Tóxico					C.E. S = Salino B = Bajo M = Medio A = Alto					M.O. y Cl B = Bajo M = Medio A = Alto					
ABREVIATURAS															
C.E. = Conductividad Eléctrica M.O. = Materia Orgánica RAS = Relación de Adsorción de Sodio					METODOLOGIA USADA C.E. = Conductímetro M.O. = Titulación de Walkley Black Al+H = Titulación con NaOH										
 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA							 RESPONSABLE LABORATORIO								

Anexo 3-A. Análisis químicos pre-aplicación de microorganismos

	ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : ALCIVAR INTRIAGO FABRICIO Dirección : MANABI / BOLÍVAR Ciudad : BOLÍVAR Teléfono : 0986449669 Fax : falcivar@espam.edu.ec	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : S/N Provincia : Manabí Cantón : Bolívar Parroquia : El Limón Ubicación : El Limón	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : Café N° Reporte : 10838 Fecha de Muestreo : 3/5/2023 Fecha de Ingreso : 8/5/2023 Fecha de Salida : 17/5/2023
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm			meq/100ml			ppm					
	Identificación	Area		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
109647	Tratamiento 1		7,2	22	132	1,94	14	5,0	13	2,6	3,2	57	37,1	0,23	
109648	Tratamiento 2		7,3	9	249	2,20	13	4,9	17	3,2	2,3	59	38,0	0,28	
109649	Tratamiento 3		7,4	19	159	2,31	13	5,1	30	3,2	3,2	27	27,8	0,44	
109650	Tratamiento 4		7,3	109	109	1,51	13	1,2	35	1,6	3,3	48	15,9	0,41	



La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

INTERPRETACION				METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES	
pH				Elementos: de Na a B		pH	
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LA = Liger. Alcalino	RC = Requiere Cal	B = Bajo	pH = Suelo: agua (1:2,5)	Ósena Modificado	
Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MeAl = Media Alcalino	M = Medio	A = Alto	N,P,B = Colorimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn	
MeAc = Media Acido	N = Neutro	Al = Alcalino			S = Turbidimetría	Fosfato de Calcio Monobásico	
					K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	RS	

x. W. [Signature]
RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

+ [Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

	ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : ALCIVAR INTRIAGO FABRICIO Dirección : MANABI / BOLÍVAR Ciudad : BOLÍVAR Teléfono : 0986449669 Fax : falcivar@espam.edu.ec	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : S/N Provincia : Manabí Cantón : Bolívar Parroquia : El Limón Ubicación : El Limón	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : Café N° de Reporte : 10838 Fecha de Muestreo : 3/5/2023 Fecha de Ingreso : 8/5/2023 Fecha de Salida : 17/5/2023
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

N° Muest. Laborat.	meq/100ml			dS/m	C.E.	M.O.	Ca		Mg		Ca+Mg		meq/100ml		(meq/l)%	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na				Mg	K	K	Σ Bases	RAS	Cl	Arena	Limo			Arcilla			
109647						1,4	2,8	2,58	9,79	20,94						44	33	23	Franco	
109648						2,7	2,6	2,23	8,14	20,10						52	33	15	Franco	
109649						1,5	2,5	2,21	7,84	20,41						34	37	29	Franco-Arcilloso	
109650						1,5	10,8	0,79	9,40	15,71						46	29	25	Franco	



La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O. y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Líg. Salino	MS = Muy Salino	M = Medio
T = Tóxico			A = Alto

x. W. [Signature]
RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS

ABREVIATURAS		METODOLOGIA USADA	
C.E. = Conductividad Eléctrica	M.O. = Materia Orgánica	C.E. = Conductímetro	M.O. = Titulación de Walkley Black
RAS = Relación de Adsorción de Sodio		Al+H = Titulación con NaOH	

+ [Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

Anexo 3-B. Análisis físicos-químicos post-aplicación de microorganismos

Anexo 4. Análisis de la Materia Orgánica (MO) por método de ignición



Anexo 4-A. Peso de las muestras y su envase



Anexo 4-B. Proceso de calcinación en la Mufla



Anexo 4-C. Enfriamiento y Pesado final

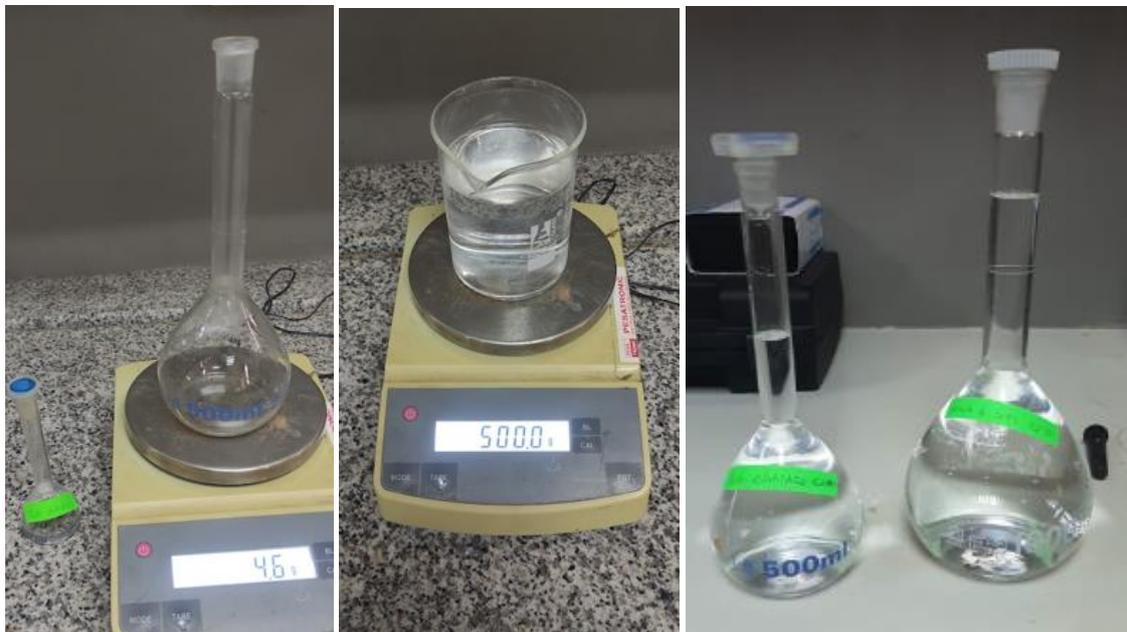
Anexo 5. Aplicación de los EM en los tratamientos establecidos



Anexo 6. Análisis del carbono mediante el método de titulación



Anexo 6-A. Peso y recolección de las muestras



Anexo 6-B. Reactivos para el proceso de titulación



Anexo 6-C. Proceso de titulación