



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

**USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER COMO
INDICADOR DE CALIDAD EDÁFICA EN SISTEMAS
AGRÍCOLAS DEL CENTRO DE APOYO MANGLARALTO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Narcisa Verónica Pita Piza

LA LIBERTAD, JULIO 2025



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

**USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER COMO
INDICADOR DE CALIDAD EDÁFICA EN SISTEMAS
AGRÍCOLAS DEL CENTRO DE APOYO MANGLARALTO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Narcisa Verónica Pita Piza

Tutor: Ing. Idalberto Macías Socarrás, Ph.D

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Narcisa Verónica Pita Piza** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 08/07/2025

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.
PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Idalberto Macías Socarrás, PhD.
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

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

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por cada día darme ánimo y fuerza por seguir cumpliendo mis metas y sueños propuesta.

Agradezco a mis padres, por su amor, apoyo y sacrificio diario, aunque con obstáculos en este proceso supieron alentarme y darme su apoyo a no rendirme; también a mis hermanos por brindarme sus muestras de apoyo con cada una de sus palabras y por último a mi familia que no la tengo cerca, pero siempre están pendiente de mi gracias por ser ese apoyo por medio de un mensaje de aliento para no rendirme y seguir luchando por mis sueños.

Agradezco a mi amiga Mayerlin por ser mi apoyo durante este proceso y la carrera, por cada una de sus palabras de aliento para no rendirme, también a mis amigos que me han acompañado en este proceso, con sus palabras de ánimo y aliento, y a mis ángeles desde el cielo, sé que se encuentran orgullosos que estoy cumpliendo una de mis metas.

Agradezco a mí tutor Ing. Idalberto Macías Socarrás, por ser mi apoyo y guía durante este proceso y también a la Ing. Nadia Quevedo por ayudarme, apoyarme y guiarme en este proceso, por brindarme sus conocimientos, enseñanza, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

DEDICATORIA

Este título se lo agradezco principalmente a Dios, a mis abuelos, papas, hermano y familia en general, por su amor y apoyo, por cada día sacrificarse trabajando duro para dar un mejor futuro para sus hijos y permitirnos que sigamos cumpliendo nuestras metas, también con cada una de sus palabras de aliento, por estar pendiente de mí, darme ánimos para seguir adelante, tenerme paciencia, sinceramente gracias por todo su apoyo que me han brindado durante este largo camino.

A mis amigos y compañeros que han pasado por esta etapa estudiantil, con los que hemos compartido buenos y malos momentos, gracias por cada una de sus palabras de aliento y por no rendirnos para cumplir nuestras metas.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de los suelos en los diferentes sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto, utilizando la cromatografía de Pfeiffer. Para la obtención de los cromatogramas, se recolectaron cuatro muestras en campo correspondientes a distintos sistemas agrícolas. En el análisis de los cromatogramas se describieron las cuatro zonas que los conforman: central, interna, intermedia y externa. Para la identificación del color de cada zona se empleó la tabla Munsell estandarizada. Además, se relacionó el porcentaje de materia orgánica, obtenido mediante un análisis de laboratorio realizado en el INIAP. También se evaluó el espesor de las zonas, su integración con las zonas adyacentes y la formación de la trama radial. Los resultados indican que los suelos analizados, pertenecientes a los diferentes sistemas agrícolas, presentan un bajo contenido de materia orgánica, poca integración entre las zonas minerales, escasa actividad biológica y, en uno de los sistemas, evidencias de encharcamiento. Se observaron diferencias cualitativas entre las zonas, concluyéndose que los valores de integración se relacionan con el porcentaje de materia orgánica determinado en el laboratorio. Finalmente, se propone un conjunto de medidas para mejorar la calidad de los suelos, entre las cuales se incluyen: elaboración de compost, rotación de cultivos, incremento de la cobertura vegetal y reducción de los encharcamientos.

Palabras claves: Calidad de suelo, cromatograma, materia orgánica.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate soil quality in different agricultural systems at the Manglaralto Support Center using Pfeiffer chromatography. To obtain the chromatograms, four field samples were collected from various agricultural systems. In the analysis of the chromatograms, the four zones that compose them were described: central, inner, intermediate, and outer. For the identification of the color in each zone, the standardized Munsell chart was used. Additionally, the percentage of organic matter obtained through a laboratory analysis conducted at INIAP was considered. The thickness of the zones, their integration with adjacent zones, and the formation of the radial pattern were also evaluated. The results indicate that the soils analyzed from the different agricultural systems have a low organic matter content, weak integration among mineral zones, and low biological activity. In one of the systems, signs of waterlogging were also observed. Qualitative differences between the zones were noted, and it was concluded that the degree of integration is related to the percentage of organic matter obtained in the laboratory analysis. Finally, a set of measures is proposed to improve soil quality, including: compost production, crop rotation, increased vegetative cover, and reduction of waterlogging.

Keywords: Soil quality, chromatogram, organic matter.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **“USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER COMO INDICADOR DE CALIDAD EDÁFICA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS DEL CENTRO DE APOYO MANGLARALTO”** y elaborado por **Narcisa Verónica Pita Piza**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

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

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:	2
Hipótesis	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Suelo	3
1.1.1 Clasificación	3
1.2 Tipo de suelo	4
1.2.1 Suelo arenoso.....	4
1.2.2 Suelos limosos	4
1.2.3 Suelos humíferos	4
1.2.4 Suelo arcilloso	4
1.2.5 Suelos pedregosos.....	5
1.3 Microbiota del suelo	5
1.3.1 Bacterias	5
1.3.2 Hongos.....	6
1.3.3 Nematodos	6
1.3.4 Amebas	7
1.4 Propiedades del suelo	7
1.5 Propiedades físicas del suelo	7
1.5.1 Textura.....	7
1.5.2 Estructura.....	8
1.5.3 Color	8
1.5.4 Densidad aparente y real.....	8
1.5.5 Porosidad	9
1.5.6 Capacidad de retención de agua	9
1.6 Propiedades químicas	10
1.6.1 Salinidad y alcalinidad.....	10
1.6.2 Presencia de nutrientes esenciales	10
1.7 Propiedades biológicas	11
1.7.1 Ciclo del nitrógeno	11
1.7.2 Ciclo del carbono.....	11
1.8 Propiedades hidrológicas	12
1.8.1 Infiltración	12
1.8.2 Permeabilidad	12
1.8.3 Escorrentía	12
1.8.4 Erosión.....	13
1.9 Sistemas de producción agrícola	13
1.9.1 Importancia de los sistemas de producción agrícola	13
1.10 Análisis cromatográfico	14
1.10.1 La cromatografía.....	14
1.10.2 Interpretación de los cromatogramas.....	14
1.10.3 Coloración de los cromatogramas	17

1.10.4	Tipos de cromatografía.....	18
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....		20
2.1	Caracterización del área de investigación.....	20
2.2	Materiales, equipos y reactivos.....	21
2.2.1	Material biológico.....	21
2.2.2	Material de campo para colecta de muestras.....	21
2.2.3	Material de laboratorio.....	21
2.2.4	Equipos de laboratorio.....	22
2.2.5	Reactivos para medios de cultivo.....	22
2.3	Toma de muestras.....	22
2.4	Procesamiento de muestras.....	22
2.5	Preparación de reactivos y papel filtro.....	23
2.5.1	Solución de hidróxido de sodio.....	23
2.5.2	Solución de nitrato de plata.....	23
2.5.3	Preparación del papel filtro.....	23
2.5.4	Impregnación y secado del papel filtro.....	23
2.6	Interpretación de los cromatogramas.....	24
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		27
3.1	Interpretación de los cromatogramas.....	27
3.1.1	Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SAE.....	27
3.1.2	Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SCM.....	30
3.1.3	Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SPs.....	33
3.1.4	Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SB.....	36
3.1.5	Resultado del análisis de laboratorio.....	39
3.2	Medidas para la conservación de los suelos.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		41
Conclusiones.....		41
Recomendaciones.....		42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		43
ANEXOS.....		48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación en las diferentes zonas de la cromatografía.....	17
Tabla 2. Tipos de especie de flora en los sitios de muestreo.....	21
Tabla 3. Puntuaciones y descripciones para interpretación de los cromatogramas y categoría pictóricas.....	25
Tabla 4. Características cualitativas del estado de salud del suelo.....	26
Tabla 5. Análisis del cromatograma de la muestra SAE	28
Tabla 6. Análisis del cromatograma de la muestra SCM	31
Tabla 7. Análisis del cromatograma de la muestra SPS	34
Tabla 8. Análisis del cromatograma de la muestra SB.....	37
Tabla 9. Resultados del análisis de laboratorio del INIAP	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona central de tres cromatogramas	15
Figura 2. Zona interna de tres cromatogramas	15
Figura 3. Zona intermedia de tres cromatogramas	16
Figura 4. Zona externa de la cromatografía	17
Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo.....	20
Figura 6. Cromatograma de la muestra de SAE	27
Figura 7. Cromatograma de la muestra SCM.....	30
Figura 8. Cromatograma de la muestra SPs	33
Figura 9. Cromatograma de la muestra SB	36

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figura 1A.** Sistema agrícola de agroecología
- Figura 2A.** Toma de muestras de suelo
- Figura 3A.** Hidróxido de sodio (naoh) al 1%
- Figura 4A.** Pesado de muestras de suelo
- Figura 5A.** Muestras de suelo con el hidróxido de sodio (naoh) al 1%, en reposo
- Figura 6A.** Impregnación del papel con la sustancia de hidróxido de sodio
- Figura 7A.** Impregnación de las muestras de suelo
- Figura 8A.** Cromatograma revelado
- Figura 9A.** Resultados de análisis de laboratorio de muestras de suelo
- Figura 10A.** Resultado de análisis de laboratorio de muestras de suelo

INTRODUCCIÓN

La cromatografía propuesta por Ehrenfried Pfeiffer se emplea para evaluar la calidad de los suelos en los diferentes sistemas de producción agrícola. Es un método físico que consiste en la separación y caracterización de mezclas complejas. El procedimiento implica disolver las sustancias nitrogenadas presentes en una muestra de suelo —producto del metabolismo de los microorganismos— en una solución de hidróxido de sodio al 1%. Posteriormente, estas reacciones se hacen visibles en un papel filtro impregnado con nitrato de plata, formando una serie de colores, formas y distancias específicas que permiten interpretar las condiciones del suelo (Restrepo y Pinheiro, 2011).

En la década de los años veinte, un joven y destacado bioquímico de origen alemán, llamado Ehrenfried Pfeiffer (1899–1961), se dedicó al estudio de la calidad de los suelos. Su trabajo se centró en profundizar las relaciones entre la química, la fertilidad y la vitalidad del suelo, dentro de lo que hoy se conoce como la salud del suelo, considerando además la interacción con la biotecnología. Pfeiffer buscaba perfeccionar un método que permitiera determinar la vida en el suelo y, de ese modo, responder a las inquietudes de ciertos campesinos. Sin embargo, su método no alcanzó difusión científica, y su conocimiento fue controlado y limitado (Restrepo y Pinheiro, 2011).

La cromatografía, como herramienta para la evaluación de la calidad del suelo, permite observar la interacción entre los factores biológicos, químicos y físicos, así como su relación con el entorno. Este método evidencia el nivel de calidad del suelo y cómo cada uno de estos factores se mantiene en equilibrio con los demás. En la actualidad, es una técnica útil que permite a los pequeños productores analizar la calidad del compost, biofertilizantes y otros insumos que se aplican al suelo (Vermiduro, 2024).

En Ecuador se han reportado estudios sobre el uso de la cromatografía de Pfeiffer para el análisis de suelos, en los cuales se evaluó la calidad de suelos y compost en empresas vinculadas a ECOFAS (*Ecuadorian Organic Flowers Growers Association*). Los resultados indicaron que este método es eficiente para estudios de calidad a largo plazo y para proponer alternativas de recuperación de suelos degradados. Sin embargo, se concluyó que no existe una correlación entre los resultados obtenidos mediante los cromatogramas y los análisis de laboratorio convencionales (Reyes, 2012).

Este estudio se enfoca en la aplicación de la cromatografía de Pfeiffer en los sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto, una zona que se caracteriza por su

diversidad agrícola y sus suelos ricos en contenido de materia orgánica. Basado en la metodología propuesta por (Restrepo y Pinheiro, 2011), en su obra sobre la calidad del suelo, la investigación busca evaluar cómo distintos manejos agrícolas inciden en la salud del suelo y en la productividad agrícola.

Problema Científico

¿Cómo varía la calidad del suelo en sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto bajo diferentes usos, y que intervenciones pueden mejorar su fertilidad y sostenibilidad según los resultados obtenidos mediante la cromatografía de Pfeiffer?

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar la calidad del suelo en diferentes sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto utilizando la cromatografía de Pfeiffer para identificar su estado y potencial de mejora.

Objetivos Específicos:

- Analizar la composición y estructura del suelo en sistemas agrícolas bajo distintos usos en el Centro de Apoyo Manglaralto mediante la cromatografía de Pfeiffer.
- Comparar los resultados de la cromatografía de Pfeiffer entre los diferentes tipos de uso agrícola para identificar variaciones en la calidad del suelo.
- Proponer recomendaciones basadas en los resultados del análisis cromatográfico para mejorar la gestión y sostenibilidad de los suelos agrícolas en el Centro Manglaralto.

Hipótesis

La aplicación de la cromatografía de Pfeiffer en los sistemas agrícolas del Centro de Manglaralto permite identificar diferencias significativas en la calidad del suelo entre los diferentes sistemas agrícolas manejado con prácticas agrícolas sostenibles y aquellas manejadas con métodos convencionales, reflejando una mayor actividad biológica y mejor dinámica de nutrientes en los suelos de las parcelas sostenibles.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Suelo

Como plantea Castro (2012), el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, conformada por diversos elementos que aportan a la planta nutrientes, agua, aire y microorganismos, todos ellos esenciales para un desarrollo normal. El suelo se origina a partir de la roca madre, también conocida como material generador del suelo. En su formación intervienen varios elementos que, con el tiempo, contribuyen a su desarrollo, influidos por factores climáticos como la lluvia, las heladas y el viento. Estos factores provocan un proceso de meteorización, el cual se manifiesta en la rotura progresiva de la roca madre. Para un adecuado aprovechamiento agrícola, el suelo debe presentar buenas propiedades químicas (contenido de nutrientes), físicas y biológicas, que aseguren su funcionamiento óptimo.

1.1.1 Clasificación

Según manifiesta Mariscal (2008), en la *Soil Taxonomy*, todos los suelos que se encuentran en el portal de la Raña de Cañamero se clasifican dentro del Orden Ultisoles. Existen zonas donde la vegetación natural permanece menos degradada, como en los alcornoques relictos o bajo los madroñales-brezales. En estas áreas, la materia orgánica presente en el metro más superficial del suelo es idónea para que los suelos se clasifiquen dentro del Suborden Humults. Las características mineralógicas y fisicoquímicas de estos suelos corresponden al Gran Grupo Palehumults y, por la presencia de segregaciones plínticas dentro de los horizontes Bt, al Subgrupo Plinthic Palehumults. En el resto del área, los suelos pertenecen al Suborden Xerults, Gran Grupo Palexerults y Subgrupo Plinthic Palexerults o Humic Plinthic Palexerults, según el estado de preservación de la vegetación natural. De acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos de la FAO, en general estos suelos se clasifican como Acrisoles hiperdísticos. Los Ultisoles se definen como suelos minerales ácidos, alterados y lixiviados, sin presencia de material calcáreo en todo el perfil. Contienen menos del 10% de minerales meteorizables en la parte superior del perfil y presentan una saturación de bases inferior al 35%, la cual tiende a disminuir con la profundidad. También presentan horizontes Bt de acumulación de arcilla iluviada, de baja actividad, predominando el tipo mineral caolinita.

1.2 Tipo de suelo

Los tipos de suelo se encuentran según su clase estructural en la agricultura son:

1.2.1 Suelo arenoso

Son suelos de textura arenosa, con alta permeabilidad, en los que el agua se infiltra a gran velocidad, por lo que rara vez se almacena y es retenida en el perfil para favorecer el crecimiento vegetal. Presentan una textura gruesa, con predominio de arena (75% arena, 5% arcilla y 20% limo), lo que permite una buena aireación del suelo y una rápida absorción del agua. Sin embargo, carecen de capacidad para retenerla, y en consecuencia, tampoco pueden almacenar adecuadamente los nutrientes, los cuales se pierden por lixiviación (Huaman, 2017).

1.2.2 Suelos limosos

Estos son suelos con buen contenido de humus, idóneos para retener el calor, el agua, el aire y los nutrientes. Su estructura es menos compacta que la de los suelos arcillosos y presenta una cobertura suelta y porosa. Se identifican por su textura grumosa, con restos blandos que no se comprimen fácilmente. Son suelos adecuados para el cultivo, y se recomienda incorporar compost, ya que ayuda a cubrir el suelo y favorece otras labores en la huerta (Cajigas, 2007).

1.2.3 Suelos humíferos

Son suelos que contienen material orgánico descompuesto; en estos tipos de suelo habitan organismos y microorganismos beneficiosos para los cultivos. Estos suelos son los más idóneos para realizar actividades agrícolas. También se les conoce como suelos de tierra negra, debido a la presencia de sustancias en descomposición que les confieren un color muy oscuro. Tienen buena capacidad de absorción de agua, lo que influye como indicador de que el suelo es muy oscuro por efecto de la humedad. Entre los trabajadores del campo o de la finca se piensa que, cuanto más negra es la tierra, mayor es su eficacia para el cultivo (Galarza, 2019).

1.2.4 Suelo arcilloso

Estos tipos de suelos se caracterizan por tener una composición predominante de partículas muy finas, con un diámetro inferior a 0,002 mm. Cuando el contenido de arcilla es muy elevado, se consideran suelos pesados debido a su alta densidad. Este tipo de suelo

tiene la capacidad de absorber y retener más agua, lo que puede causar problemas de drenaje y restringir la aireación. Al secarse, se forman grumos, lo que genera dificultades para su uso en la agricultura. Sin embargo, son fundamentales para la fertilidad del suelo, ya que almacenan sales minerales, forman agregados con humus y mantienen la humedad, elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos (Jiménez, 2024).

1.2.5 Suelos pedregosos

Son un tipo de suelo caracterizado por la presencia de piedras y rocas, lo que dificulta la penetración de las raíces y la absorción de nutrientes. Estos suelos tienen poca capacidad para retener agua y nutrientes, debido a que existen amplios espacios entre las partículas, lo que limita el desarrollo radicular y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Farbiarz, 2024).

1.3 Microbiota del suelo

Lo planteado por Limón (2022), señala que el suelo hospeda una gran biodiversidad de microorganismos y hongos beneficiosos para las plantas. Estos organismos se introducen mediante una asociación con las raíces, facilitando la absorción de nutrientes y agua a través de relaciones simbióticas. Los principales grupos destacados en el microbiota son las micorrizas, las rizobacterias y el hongo *Trichoderma*; todos ellos son fundamentales para este proceso.

1.3.1 Bacterias

De acuerdo a Cruz O'Byrne, Piraneque Gambasica & Aguirre Forero (2022), las bacterias son microorganismos procariontes, microscópicos, unicelulares o con células que forman asociaciones simples. La mayoría de las bacterias tienen un diámetro de aproximadamente $0,2 \mu\text{m}$ y una longitud entre 2 y $8 \mu\text{m}$. Presentan una variedad de formas: redondas o esféricas (cocos), barras (bacilos) y otras, como vibriones y espiroquetas, que pueden unirse entre sí formando diversos arreglos bacterianos. Estos microorganismos han habitado la Tierra durante billones de años, mucho antes de la aparición de plantas y animales. Poseen diversos tipos de metabolismo, lo que les permite adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Además, pueden establecerse en plantas, animales y humanos como patógenos, simbiosis o simplemente como parte de la comunidad microbiana presente. También forman parte vital de la microflora en la rizosfera, contribuyendo a los ciclos biogeoquímicos de nutrientes. Durante estos procesos liberan elementos esenciales

para el reciclaje, facilitando la descomposición de la materia orgánica muerta. Son los únicos microorganismos capaces de realizar la fijación biológica del nitrógeno, lo que contribuye a promover el crecimiento y mejorar la productividad de las plantas mediante la secreción de reguladores de crecimiento, además de favorecer la absorción de nutrientes en las mismas.

1.3.2 Hongos

De acuerdo con Paucay y Paola (2016), los estudios realizados señalan que los hongos son organismos eucariotas, considerados un grupo complejo con alrededor de 200,000 especies. Se encuentran en diversos ambientes, pero solo unas 400 especies son patógenas para los mamíferos, aunque también existen hongos que afectan a las plantas. Tienen una amplia variedad de funciones; pueden ser simbioses, patógenos de plantas y animales, oligótrofos e incluso carnívoros. Su papel más importante es la descomposición de la materia orgánica, ya que pueden degradar desde compuestos simples, como azúcares y aminoácidos, hasta sustancias complejas y resistentes, como la lignina y los ácidos húmicos. Dado que toleran mejor la acidez que las bacterias heterótrofas, la mayoría de los hongos se encargan de la descomposición en suelos ácidos. Además, forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, dando lugar a las micorrizas, que ayudan a la nutrición y desarrollo vegetal, así como a la resistencia contra enfermedades y condiciones desfavorables de humedad.

1.3.3 Nematodos

Según Azpilicueta y Aruani (2019), los nematodos son pequeños organismos que se encuentran en el suelo, con una longitud que varía entre 0,2 y 1 mm; en ocasiones pueden superar los 3 mm, e incluso algunos ejemplares alcanzan hasta 12 mm. Se presentan en cualquier tipo de suelo que contenga una fuente de carbono, y se desplazan en la capa de agua que rodea las partículas del suelo. Los nematodos bacteriófagos, al alimentarse de bacterias, disminuyen la velocidad de descomposición de la materia orgánica y ayudan a equilibrar dicho proceso; además, se desplazan a través del suelo y el agua. Se alimentan de bacterias saprófitas o fitopatógenas, contribuyendo así a la composición de la comunidad microbiana del suelo. Por otro lado, los nematodos depredadores se alimentan de otros organismos del suelo, como protozoos, rotíferos, tardígrados, enquitreidos y otros nematodos, lo que ayuda a la liberación de nutrientes en el suelo.

1.3.4 Amebas

Se manifiesta que Pérez (2010), las amebas de vida libre (AVL) se encuentran en un amplio rango de ambientes, ubicándose en interfases como suelo-agua, animal-agua, planta-agua, aire-agua, entre otras. Se alimentan de bacterias, hongos, algas y algunos protozoos, incluyendo otras amebas. Las AVL se desarrollan mediante dos técnicas: formando quistes y reproduciéndose activamente. Cuando las condiciones del entorno no son favorables, especialmente por escasez de alimento, forman quistes que les permiten sobrevivir durante largos periodos de hambre. En estos casos, permanecen inactivos hasta que la cantidad suficiente de alimento permite activar los procesos de exquistación. Las amebas desnudas de vida libre son los principales depredadores que regulan el crecimiento de comunidades bacterianas, hongos, algas, entre otros microorganismos. Cumplen un papel importante en el ciclo de nutrientes, ya que liberan los nutrientes fijados en la biomasa bacteriana y otros microorganismos mediante la depredación, haciendo disponibles estos nutrientes para los niveles tróficos superiores, lo que favorece la nutrición vegetal.

1.4 Propiedades del suelo

Según Ritter (2022), los suelos son sistemas inmensamente complejos, conformados por componentes orgánicos e inorgánicos. En ellos se encuentran diversas propiedades, tales como las físicas, químicas y biológicas.

1.5 Propiedades físicas del suelo

De acuerdo con Quimis (2024), el estado físico del suelo influye en la rigidez y capacidad de soporte, la aireación, la facilidad de penetración de raíces, la retención de agua, la plasticidad, el drenaje y la capacidad de retener nutrientes. Es importante conocer cómo estas propiedades afectan el crecimiento de las plantas y cómo la actividad humana puede alterarlas. Por ello, es fundamental mantener las condiciones físicas del suelo para asegurar un desarrollo adecuado de los cultivos y la sostenibilidad del sistema.

1.5.1 Textura

Según Camacho-Tamayo et al. (2017), una de las características de los suelos de mayor interés se relaciona con los procesos de degradación y la capacidad de producción. La correcta identificación de un suelo es primordial para determinar su manejo y planificar adecuadamente la agricultura. La textura indica el contenido de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo. Además, otras propiedades físicas, como la densidad aparente, la

porosidad y el movimiento y acumulación de fluidos (agua y aire), también influyen en las características del suelo.

1.5.2 Estructura

Como plantea Fragoso (2015), la estructura del suelo representa un funcionamiento edáfico importante. Influye en el movimiento y retención del agua, el ciclo de nutrientes, la penetración de las raíces y el rendimiento de los cultivos. Se define la estructura del suelo como la forma en que se agregan las partículas, tanto minerales como orgánicas, creando agregados de distintos tamaños. La materia orgánica cumple un rol significativo en este proceso, ya que mejora las propiedades físicas del suelo, entre otras funciones, ayudando a unir las partículas finas y a desintegrar las grandes masas, facilitando así una estructura grumosa.

1.5.3 Color

Según Domínguez et al. (2012), manifiestan que el color de los suelos es una de las características morfológicas más significativas, fácil de observar y relevante para conocer la taxonomía de los suelos. El color del suelo está relacionado con los mecanismos sólidos, como la materia orgánica, la textura, la composición mineralógica y la morfología; entre estos, los metales de transformación son los más importantes, ya que aportan a los suelos tonalidades específicas. El color del suelo es un factor determinante para el desarrollo de los cultivos. Los suelos presentan diferentes colores debido a la presencia de distintos minerales y nutrientes. Por ejemplo, el suelo rojo contiene altos niveles de hierro, mientras que el suelo amarillo suele tener una mayor presencia de arcilla. Además, el color del suelo también está influenciado por el tipo de roca madre y la presencia de materia orgánica.

1.5.4 Densidad aparente y real

En la literatura consultada autores como Marín (2017) indican que la densidad aparente, formulada como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3), se relaciona con la compactación del suelo, representando la relación entre los sólidos y el espacio poroso. Es un parámetro útil para evaluar la resistencia que el suelo ofrece al crecimiento de las raíces y para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, siendo fundamental en estudios especializados de fertilidad y fertilización de cultivos. La densidad aparente varía según la textura y el contenido de materia orgánica, y puede modificarse

mediante prácticas como la labranza y el manejo de la humedad del suelo. Estos cambios son más frecuentes en suelos con alto contenido de arcilla.

La densidad real del suelo se representa por la relación entre el peso del suelo y el volumen de las partículas sólidas, sin incluir el espacio poroso, y varía entre 2,6 y 2,7 g/cm³. Esta medida depende del contenido de partículas individuales, como arena, limo, arcilla y materia orgánica. Se determina a partir del peso seco de una muestra de suelo y del volumen ocupado únicamente por los sólidos. La densidad real se obtiene utilizando un picnómetro, un instrumento especializado en medir volúmenes. Además, la densidad de los diferentes minerales que conforman el suelo es similar.

1.5.5 Porosidad

Como señalan Araujo y Miras (2024), la porosidad del suelo se define como el volumen de suelo que no está ocupado por partículas sólidas (espacio poroso), espacio en el cual se almacenan el agua y el aire. Esta propiedad depende de la textura del suelo, aunque puede verse afectada por el manejo agrícola. La porosidad facilita el movimiento del aire y del agua dentro del suelo, favoreciendo el crecimiento de las raíces, así como el hábitat para la fauna del suelo y los microorganismos. Se considera uno de los mejores indicadores de la calidad física del suelo, ya que una porosidad óptima, entre 10% y 25%, favorece el crecimiento radicular y contribuye a retener elevadas cantidades de agua y materia orgánica. Cuando la porosidad es baja, es necesario cambiar el manejo agrícola, utilizando enmiendas orgánicas o cubiertas vegetales para mejorar la estructura y las condiciones del suelo.

1.5.6 Capacidad de retención de agua

De acuerdo con Salazar (2021), la capacidad máxima de agua que un suelo puede acumular en la fase aprovechable por las plantas resulta de la combinación de sus propiedades químicas y físicas, como la textura, la materia orgánica (MO), la densidad, la estructura y la retención de humedad, entre otras. Asimismo, las variables establecidas en la producción y sostenibilidad del cultivo influyen en las reacciones químicas, así como en los procesos físicos y biológicos que ocurren dentro y fuera del suelo. Un manejo adecuado es primordial para garantizar una nutrición, crecimiento saludable y desarrollo óptimo de la planta.

1.6 Propiedades químicas

Como señala Yáñez et al. (2018), las propiedades químicas del suelo, tales como el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, la alcalinidad y la presencia de nutrientes esenciales, desempeñan un papel importante en la relación suelo-planta y permiten identificar los efectos derivados del cambio de uso del suelo. La concentración de nitrógeno y fósforo utilizable tiende a disminuir conforme los sistemas naturales son intervenidos y transformados en actividades productivas.

1.6.1 Salinidad y alcalinidad

La salinidad se define como la acumulación excesiva de sales en el suelo, lo que resulta tóxico para las plantas y disminuye el potencial osmótico del suelo. El agente más frecuente de salinidad en los suelos es el cloruro de sodio (NaCl), aunque en suelos salinos pueden presentarse distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y sulfatos de sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺). La alcalinidad se presenta cuando la solución del suelo contiene una alta concentración de sales sódicas, como carbonatos y bicarbonatos de sodio, que son capaces de sufrir hidrólisis alcalina. La presencia de altas concentraciones de sodio en el suelo no solo afecta directamente a las plantas, sino que también degrada la estructura del suelo, reduciendo la porosidad y la capacidad de permeabilidad al agua (Lamz Piedra and González Cepero, 2013).

1.6.2 Presencia de nutrientes esenciales

La mayor parte de los nutrientes esenciales para las plantas se encuentran presentes en la corteza terrestre y en la atmósfera. El agua y el aire son las principales fuentes de carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H) e incluso nitrógeno (N), mientras que el resto de los nutrientes provienen principalmente de la capa superficial del suelo, como el fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), así como el cloro (Cl) y el níquel (Ni), que recientemente han sido considerados como elementos menores esenciales. Las plantas obtienen carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) directamente del aire y el agua. Los suelos ácidos tropicales de América Latina se caracterizan por tener bajas cantidades de muchos de estos nutrientes y una alta acidez intercambiable, que se origina principalmente por la presencia de aluminio (Al³⁺). Estas particularidades de los suelos tropicales exigen un

conocimiento profundo sobre la dinámica de cada uno de los diferentes nutrientes esenciales en el suelo, para poder establecer una adecuada estrategia de manejo nutricional en los cultivos (Rincón, Baquero and Florez, 2012).

1.7 Propiedades biológicas

Según Carhuancho (2016), los indicadores que conforman los diferentes factores que influyen en la calidad del suelo se relacionan con la abundancia y los subproductos de organismos como bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Se consideran como los indicadores biológicos más utilizados la población de lombrices de tierra y el rendimiento de los cultivos. Las propiedades biológicas y bioquímicas como la respiración edáfica, la biomasa microbiana, las actividades enzimáticas, los microorganismos y otros son sensibles y útiles para interpretar la dinámica de la materia orgánica y los procesos de transformación de los residuos orgánicos. Además, debido a su rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y resultan fáciles de medir.

1.7.1 Ciclo del nitrógeno

Según Rincón y Gutiérrez (2012), la dinámica del nitrógeno en la biósfera abarca principalmente procesos como la fijación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio, todos ellos mediados principalmente por microorganismos presentes en el suelo. El nitrógeno ingresa a la biósfera mediante la fijación química y biológica del nitrógeno no molecular, y se mueve a través de procesos como la desnitrificación. La determinación cuantitativa de los diferentes compartimientos orgánicos y minerales está relacionada con la disponibilidad de nutrientes y la variabilidad que sufre debido al manejo, los sistemas de producción y los procesos del suelo en los que dichos compartimientos están involucrados.

1.7.2 Ciclo del carbono

Como señalan Orellana-Rivadeneira et al. (2012), el ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante el proceso de fotosíntesis, realizado por las plantas y ciertos microorganismos. Durante este proceso, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos, liberando simultáneamente oxígeno hacia la atmósfera. Parte de estos carbohidratos es utilizada por la planta para generar energía, y el anhídrido carbónico formado se libera a través de las hojas o las raíces. Cuando las plantas

y los animales mueren, sus restos son descompuestos por microorganismos del suelo, lo que permite que el carbono contenido en sus tejidos se transforme nuevamente en dióxido de carbono, mediante el proceso de oxidación, y regrese a la atmósfera.

1.8 Propiedades hidrológicas

1.8.1 Infiltración

Se define como la cantidad de agua que se infiltra por unidad de tiempo bajo condiciones naturales de campo, dependiendo de la capacidad que presentan las capas y horizontes superficiales del suelo para absorber el agua. Por tanto, es un proceso mediante el cual el agua ingresa a través de la superficie del suelo de forma vertical y descendente, formando parte del ciclo hidrológico. Este proceso tiene gran importancia técnica para el manejo eficiente de los recursos hídricos y del suelo (Jiménez y Domínguez, 2008)

1.8.2 Permeabilidad

La permeabilidad se relaciona con la porosidad, ya que facilita el movimiento de los fluidos a través del suelo. Sin embargo, no basta con conocer únicamente los valores absolutos de porosidad para estimar la permeabilidad del suelo, ya que también influyen otros factores, como la geometría del sistema poroso. La permeabilidad depende de la cantidad total de poros, el contenido de humedad y la distribución del tamaño de los poros. Cuando todos los poros están ocupados por agua, actúan como conductores. La permeabilidad varía en función del contenido de humedad. Si los suelos presentan estructuras estables, su permeabilidad se mantiene; pero si la estructura es inestable, el suelo se degrada por dispersión al mojarse, y la permeabilidad cambia significativamente (Jiménez y Domínguez, 2008).

1.8.3 Escorrentía

Según Ruiz y Martínez (2015), el agua es transportada dentro de una cuenca hidrográfica a través de los cursos superficiales, como ríos y arroyos. Una parte de esta agua proviene de la escorrentía superficial, mientras que otra se origina por la infiltración del agua en el suelo, la cual luego es transportada como flujo subsuperficial hasta la desembocadura del río. El agua infiltrada puede llegar hasta el acuífero y, con el tiempo, emerger en forma de manantiales (escorrentía subterránea), aunque este proceso suele ser lento.

1.8.4 Erosión

Como señala Espinosa, Moreno and Bernal (2022), la erosión es el arrastre de partículas sólidas desde la superficie del suelo. Este proceso ocurre de forma natural por la acción de agentes como el aire, el agua, la nieve o el hielo. Es un fenómeno lento y en equilibrio, pero puede acelerarse por la intervención humana, especialmente mediante actividades agrícolas y la construcción de infraestructura. Estos factores intensifican la erosión del suelo debido a la inestabilidad del terreno. La intensidad y el tipo de erosión dependen del grado de inclinación y la longitud de la pendiente, la fuerza y frecuencia de la lluvia, la velocidad del viento, las características del suelo, la cobertura vegetal y el manejo del mismo.

1.9 Sistemas de producción agrícola

De acuerdo con De la Cruz (2015), se trata de un conjunto de actividades técnico-administrativas que realiza el agricultor durante la actividad agrícola, con el objetivo de transformar los recursos disponibles en productos de interés, utilizando materiales y equipos adecuados. También se consideran como un sistema en el que los elementos se relacionan entre sí, organizándose en función de ciertos objetivos y permaneciendo en constante cambio. Este sistema está influenciado por factores tanto abióticos como bióticos, los cuales determinan las características actuales de los sistemas agrarios y su localización sobre la superficie terrestre.

1.9.1 Importancia de los sistemas de producción agrícola

Como plantea Sango (2024), la importancia de los sistemas de producción radica en la relación entre el trabajo, el capital y el apoyo económico que estos elementos aportan a los hogares productivos. Estos sistemas permiten organizar y definir el uso de los recursos disponibles, garantizando la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. La producción agrícola es fundamental para alimentar a una población mundial en constante crecimiento, además de ser un pilar económico en muchas regiones. La mejora continua de los equipos tecnológicos en la agricultura es primordial para fortalecer la seguridad alimentaria.

1.10 Análisis cromatográfico

1.10.1 La cromatografía

Como afirma Doria (2016), el término *cromatografía* proviene del griego *chroma* (color) y *graphos* (escritura). Su origen se remonta a las experiencias del botánico ruso Mikhail Tswett, quien, entre los años 1903 y 1910, desarrolló este método y demostró sus ventajas. La cromatografía es un método físico-químico de separación que permite dividir los componentes de una mezcla basándose en equilibrios de concentración. Este proceso ocurre mediante adsorción o separación diferencial de las sustancias que componen la mezcla, las cuales se transportan a través de una fase estacionaria o inmóvil.

La cromatografía permite detectar, de forma general, la presencia de materia orgánica y compuestos minerales, aunque no identifica minerales inorgánicos. También puede revelar sustancias químicas y vitaminas, ofreciendo una guía complementaria a los análisis tradicionales de suelo. A diferencia de los análisis oficiales de suelo, que se enfocan únicamente en cuantificar nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), la cromatografía proporciona información sobre el valor biológico del suelo. Por ello, constituye un valioso apoyo en el análisis cualitativo de los componentes químicos, físicos y biológicos del suelo (Quiñonez, 2021).

1.10.2 Interpretación de los cromatogramas

1.10.2.1 Zona central

En esta zona se sitúa el centro del cromatograma, también conocido como la zona de oxigenación o zona de estructura del suelo. En ella se refleja la presencia y actividad de los microorganismos del suelo, los cuales se encargan de descomponer la materia orgánica en humus y de aportar fertilidad al terreno. En muchos casos, esta zona puede no presentarse debido al maltrato o degradación del suelo causado por maquinaria pesada, aplicación de agroquímicos o la exposición directa a los rayos solares, al eliminarse la cobertura vegetal que lo protege. Un suelo con estas características suele estar totalmente compactado, sin estructura, y carente de materia orgánica. Si en esta zona se presenta un color blanco, puede indicar una dosis excesiva de fertilizantes nitrogenados o abonos químicos altamente solubles, o el uso habitual de herbicidas y fertilizantes sintéticos. Asimismo, el color blanco también puede deberse a la aplicación de abonos orgánicos procesados con estiércol ricos en nitrógeno, pero mal fermentados, crudos o adulterados con urea. En cambio, si se observa un color crema o blanco cremoso que se esparce suavemente e integra con las siguientes

zonas (mineral, orgánica y enzimática), esto indica que se trata de un suelo de buena calidad: no compactado, con buena estructura, abundante materia orgánica activa y adecuado para la actividad microbiológica y enzimática (Restrepo y Pinheiro, 2014).



Figura 1. Zona central de tres cromatogramas (Martínez *et al.*, 2021)

1.10.2.2 Zona interna

También se conoce como zona mineral, ya que en ella se concentran la mayoría de las reacciones relacionadas con los minerales presentes en el suelo. Cuando esta zona presenta un color negro, indica que se trata de un suelo degradado, altamente mineralizado, compactado y posiblemente afectado por procesos de erosión ocasionados por la mecanización. Esta condición suele estar asociada a la falta de materia orgánica y a una escasa actividad microbiológica. No obstante, en esta zona también pueden reconocerse impactos positivos en suelos en proceso de recuperación, evidenciados por la implementación de prácticas de agricultura orgánica (Restrepo y Pinheiro, 2014).

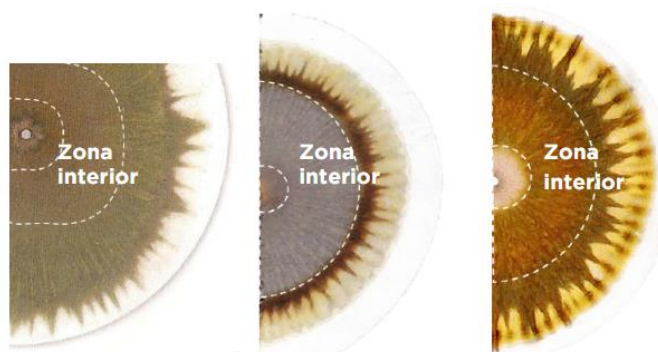


Figura 2. Zona interna de tres cromatogramas (Martínez *et al.*, 2021)

1.10.2.3 Zona intermedia

También se denomina zona proteica o zona de la materia orgánica (MO), donde destaca la presencia, cantidad y calidad de la materia orgánica. Es importante considerar que un suelo puede tener una buena cantidad de MO pero no estar activa, o bien presentar gran cantidad de MO sin que exista actividad microbiológica. Los suelos no armonizados se

encuentran en la zona mineral, ya que no se distingue una zona de materia orgánica, lo cual se refleja en la ausencia de MO. Estos suelos están completamente mineralizados, degradados por la mecanización, la falta de cobertura vegetal o la aplicación de agroquímicos. Por otro lado, cuando se observan colores indicadores de suelos vivos, con armonía e integración entre las zonas, se evidencia la presencia de una buena zona enzimática en forma de nubes diversas o dientes. Además, los caminitos con forma de plumas que se forman en la zona mineral terminan en bordes con forma de dientes cuadrados y tamaños variados; cuando estos elementos se encuentran integrados, indican que el suelo está sano (Restrepo y Pinheiro, 2014).

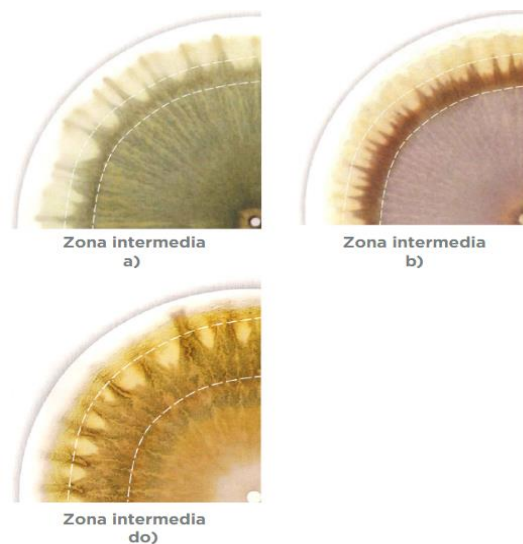


Figura 3. Zona intermedia de tres cromatogramas (Martínez *et al.*, 2021)

1.10.2.4 Zona externa

También se conoce como zona enzimática o nutricional, la cual se manifiesta de forma gradual y armónica, con nubecillas o manchas tenues que indican un suelo sano. Estas nubes reflejan la abundancia y diversidad nutricional disponible en el suelo. Los suelos de buena calidad presentan dientes de color café claro a muy oscuro, y las nubes aparecen al final de los dientes, evidenciando una actividad microbiológica diversa y constante. Esta actividad favorece un adecuado desarrollo en la formación enzimática y un buen diagnóstico de la materia orgánica (Restrepo y Pinheiro, 2014).

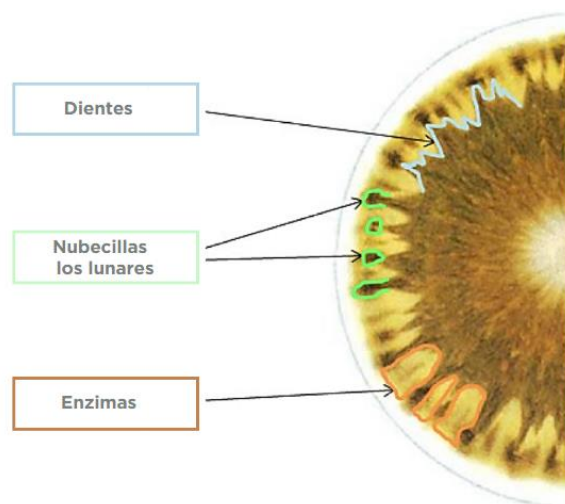


Figura 4. Zona externa de la cromatografía (Martínez *et al.*, 2021)

1.10.3 Coloración de los cromatogramas

Tabla 1. Interpretación en las diferentes zonas de la cromatografía

	Color	Forma	Integración
Zona central	Color blanca o negro Color marrón claro Color crema	Forma circular con borde liso definido Forma circular con borde liso mal definido Forma circular con borde irregular	Transición de zona marcado por línea Disipación suave a la siguiente zona disipación suave y hoyuelos a la siguiente zona
Zona interna	Color gris. Azulada o violeta Color marrón oscuro o casi grisácea Color marrón claro o amarillento	Forma circular con borde liso definido Forma circular con borde liso mal definido Forma circular con borde irregular	No contiene radiación Presencia de radiación suave Presencia de radiación en forma de plumas.
Zona intermedia	Color gris oscuro o marrón Color marrón oscuro Color marrón claro o amarillento	Forma circular con borde exterior puntiagudo Forma circular con borde exterior algo puntiagudo. Forma circular con borde exterior irregulares.	Ausencia de radiación y transición a la zona interna. Presencia de radiación suave Presencia de radiación con forma de plumas.
Zona externa	Color blanquecino Color marrón claro con manchas marrones que no	Formas de dientes o yemas regulares Formas de dientes o yemas que no son	Ausencia de burbujas Presencia de pocas burbujas

	están definidas o están mal definidas Color marrón muy claro o amarillento con manchas marrón claro bien definidas	regulares o formas grandes e irregulares Formas irregulares	Presencia de muchas burbujas.
--	---	--	-------------------------------

Fuente: (Barros *et al.*, 2022)

1.10.4 Tipos de cromatografía

1.10.4.1 Cromatografía de papel

Considera Corzo (2019), es una técnica simple que ofrece una buena resolución y se emplea para la separación e identificación de compuestos muy polares o polifuncionales, tales como ácidos orgánicos, antibióticos hidrosolubles, hidratos de carbono, aminoácidos y pigmentos vegetales, entre otros. La separación de los componentes de la muestra en la cromatografía líquido-líquido en papel se basa en las diferentes solubilidades relativas (partición) entre la fase móvil y la fase estacionaria. Los componentes menos solubles en la fase estacionaria se desplazan más rápidamente sobre el papel, mientras que los que son más solubles en dicha fase quedan inmovilizados, desplazándose más lentamente.

1.10.4.2 Cromatografía de capa fina

Según Quiroga (2023), la cromatografía en capa fina (TLC, por sus siglas en inglés) es un tipo de cromatografía de adsorción en la que la fase móvil se desplaza por capilaridad a través de la fase estacionaria, la cual consiste en una capa fina y uniforme aplicada sobre un soporte inerte (vidrio, plástico o lámina de aluminio). La TLC también se considera una cromatografía de lecho abierto, y su mecanismo de separación se basa en un proceso de adsorción. No obstante, puede ocurrir un proceso de partición o una combinación de ambos efectos, dependiendo de las características del adsorbente, así como de la preparación y el uso de diferentes fases móviles.

1.10.4.3 Cromatografía de columna

Como plantea Zamora (2017), la cromatografía en columna es una técnica de separación de mezclas o purificación de sustancias que permite determinar en qué fracción y cantidad se encuentra el compuesto deseado. La fase móvil es líquida y la fase estacionaria es sólida. Se utiliza un tubo de vidrio vertical equipado con una llave para controlar el flujo de la fase móvil. En la parte inferior se coloca algodón o lana de vidrio, seguido de una pasta formada por sílice y solvente. Se deja sedimentar la sílice y se retira el solvente sobrante

antes de colocar la muestra y los solventes escogidos. A medida que la fase móvil desciende por la columna, se desarrolla el cromatograma, en el que los componentes de la mezcla se separan en bandas horizontales bien definidas. El líquido que sale de la columna (eluido) se recoge en fracciones, las cuales son analizadas mediante cromatografía en capa fina (TLC) para identificar los compuestos presentes.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área de investigación

La investigación se realizó en los diferentes sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Este centro se encuentra ubicado en la parroquia Manglaralto, a 55 km al norte del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena.

En la figura 5 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo.



Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo (Google Maps, 2025)

Se seleccionaron cuatro sistemas agrícolas para realizar la toma de muestra de suelos, el criterio de selección fue por ubicación del sistema agrícola, seleccionándose diversas especies de flora, que se encuentran en el Centro de apoyo Manglaralto, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de especie de flora en los sitios de muestreo

No. Muestra	Lugar	Sistema	Especie flora
SAE	Manglaralto	Agroecológico	Acelga, apio, perejil, pepino, pimiento, rábano
SCM	Manglaralto	Convencional	Maíz (<i>Zae mays</i>)
SPs	Manglaralto	Pasto	Mombasa (<i>Panicum Máximum</i>) Pasto estrella africana (<i>Cynodon plectostachyus</i>)
SB	Manglaralto	Bosque	Arbusto ardiente occidental (<i>Euonymus occidentalis</i>) Hibrido cornus x arnoldiana Árbol del cielo (<i>Ailanthus altissima</i>)

Fuente: Elaboración propia

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 *Material biológico*

Se tomaron muestras de suelo de cuatro sistemas agrícolas del Centro de Apoyo de Manglaralto.

2.2.2 *Material de campo para colecta de muestras*

- Bolsa de plástico
- Palas
- Balde
- Tolda o lona color negro
- Guantes
- Marcador
- Cuaderno

2.2.3 *Material de laboratorio*

- Papel filtro
- Mortero con pistilo
- Tamiz
- Probeta
- Caja petri
- Gotero
- Vasos de plástico

- Taparroasca
- Jeringa
- Caja de cartón
- Papel aluminio
- Tijera
- Cuchara
- Pabilos

2.2.4 Equipos de laboratorio

- Báscula o gramera

2.2.5 Reactivos para medios de cultivo

- Hidróxido de sodio
- Nitrato de plata
- Agua destilada

2.3 Toma de muestras

Se tomaron muestras de suelo en los cuatro sistemas agrícolas, excavando a una profundidad de 20 cm. Para cada sistema, se seleccionaron 15 puntos de forma aleatoria siguiendo un recorrido en zigzag. De cada punto se extrajeron submuestras de 500 g, las cuales se colocaron sobre una lona negra y se mezclaron para obtener una muestra homogénea. A partir de esta mezcla, se prepararon tres réplicas de 500 g por cada sistema agrícola. Finalmente, las muestras se almacenaron en bolsas plásticas con información del sitio y la fecha de muestreo. Para cada sitio se prepararon tres bolsas: una se envió al laboratorio del INIAP para realizar análisis químicos y físicos, y las otras se utilizaron para la obtención de los cromatogramas.

2.4 Procesamiento de muestras

Las muestras de suelo recolectadas se sometieron a un proceso de secado. Se tomaron 100 gramos de cada muestra y se trituraron en un mortero con pistilo hasta obtener una textura más homogénea. Luego, el suelo molido se pasó por un tamiz para obtener un polvo más fino. Con la báscula, se pesaron 5 gramos de suelo por muestra, los cuales se colocaron en vasos plásticos, identificándolos previamente con cinta adhesiva.

2.5 Preparación de reactivos y papel filtro

2.5.1 Solución de hidróxido de sodio.

Se preparó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 1%, pesando 10 gramos de hidróxido de sodio y disolviéndolos en un litro de agua destilada. Luego, la solución fue diluida y almacenada en un envase de vidrio, cubierto con papel aluminio. Esta solución preparada se reservó para su uso en la revelación de los cromas. (Martínez *et al.*, 2021).

2.5.2 Solución de nitrato de plata

Se preparó una solución de nitrato de plata (AgNO_3) al 0,5% disolviendo 0,15 gramos de nitrato de plata en 30 mL de agua destilada dentro de un gotero color ámbar de 30 mL, agitándose suavemente hasta su completa disolución. Esta solución es suficiente para impregnar hasta 15 papeles filtro circulares. Debido a que es sensible a la luz, se recomienda conservarla en un frasco oscuro, envuelto con papel aluminio, y almacenarla en un lugar fresco, evitando la exposición a la luz solar (Martínez *et al.*, 2021).

2.5.3 Preparación del papel filtro.

Se utilizó papel filtro Whatman No. 4 circular, doblándolo por ambos lados para realizar una perforación con un sacabocados; este proceso es fundamental para lograr una adecuada impregnación del papel. Luego, se marcaron distancias de 4 cm y 6 cm desde el centro del papel filtro, realizando perforaciones con la ayuda de una jeringa. Estas marcas sirvieron como referencia para controlar la humedad durante el proceso de impregnación con las soluciones de nitrato de plata e hidróxido de sodio.

Para la elaboración de los pabilos se utilizó el mismo papel filtro, cortado en cuadrados de 2 x 2 cm. Estos cuadrados se enrollaban con la ayuda de un palillo de dientes, dándoles forma de pajilla o sorbete, quedando listos para la impregnación (Martínez *et al.*, 2021).

2.5.4 Impregnación y secado del papel filtro

Para impregnar el papel filtro, se utilizó un pabilo dentro de una caja Petri, colocando un taparrosca en el centro del anillo. Sobre esta base se colocó el papel filtro para que absorbiera la solución de nitrato de plata, permitiendo que la solución subiera por capilaridad a través del pabilo hasta alcanzar una distancia de 4 cm desde el centro. Una vez logrado esto, se retiró con cuidado el pabilo, dejando secar el papel sobre la caja Petri, dentro de una

caja de cartón forrada con funda negra para evitar la luz. El secado se realizó durante 4 a 5 horas.

Para las muestras de suelo, se pesaron 5 gramos de suelo pulverizado y se añadieron 50 mL de la solución de hidróxido de sodio en cada uno de los vasos previamente identificados. La mezcla se homogeneizó realizando seis agitaciones en el vaso, dando giros a la derecha y a la izquierda, seguida de un reposo de 15 minutos. Posteriormente, se repitieron los mismos movimientos, dejando reposar 45 minutos (segunda agitación). Transcurridos los 45 minutos de la segunda agitación, se volvió a realizar la misma acción y luego se dejó reposar por 6 horas sin mover los vasos.

Luego de culminar el proceso de impregnación del papel con la solución de nitrato de plata, se procedió a realizar el corrido con la solución de las muestras de suelo. Se colocó nuevamente la caja Petri con un taparrosca en el centro, añadiendo 5 mL del sobrenadante del suelo con la ayuda de un gotero, depositándolo en el taparrosca. Se colocó con cuidado el papel filtro, permitiendo que la muestra de suelo ascendiera por capilaridad a través del pabilo hasta alcanzar 6 cm desde el centro del disco. Luego de absorber la muestra, se retiró el pabilo con cuidado, dejando secar el papel sobre la caja Petri, almacenándolo dentro de una caja de cartón bajo sombra durante 10 días, con la finalidad de desarrollar un buen cromatograma y apreciar las características del suelo. Finalmente, una vez seco el cromatograma, se realizó la interpretación de las muestras marcando en el borde del papel filtro con un lápiz. Para conservar las muestras por más tiempo, los cromatogramas se cubrieron con esmerma, lo que consiste en añadir una capa delgada de parafina, almacenándolos en un lugar fresco, de poca humedad y evitando la luz (Restrepo y Pinheiro, 2011).

2.6 Interpretación de los cromatogramas

Para la interpretación de los cromatogramas se continuó con el procedimiento planteado por Pilon, Cardoso and Medeiros (2018) y Abad (2014), que consiste en tres pasos:

1. Identificación de zonas
2. Caracterización de cada zona, incluye la definición de colores y tonos, espesor, patrones radiales de las líneas, integración en los límites de las zonas.
3. Evaluación de la calidad de suelo en función de los procesos físicos, químicos y biológicos que suceden en él.

El análisis visual se realiza mediante una escala de puntuación de 1 a 5, donde 1 representa características no deseables y 5 corresponde a suelos considerados saludables en términos de fertilidad y funcionamiento. En la Tabla 3 se presentan las puntuaciones, junto con el análisis y la descripción visual de los cromatogramas, mientras que en la Tabla 4 se muestran las categorías pictóricas según los puntos evaluados anteriormente.

Tabla 3. Puntuaciones y descripciones para interpretación de los cromatogramas y categoría pictóricas.

Colores	Puntos	Integración	Puntos
Homogéneo; oscuro y negro; colores borrosos, poco intenso.	1	Anillos, marcados y concéntricos homogéneos (falta de integración)	1
Gris a pardo	2	Algunos anillos, integración abrupta	2
Beige	3	Integración clara de patrones	3
Claro, blanquecino	4	Integración gradual	4
Amarillo, crema; intenso y heterogéneo	5	Integración difusa y patrones que se entrelazan	5

Trama radial	Puntos	Terminación	Puntos
Ausencia de plumas o sus vestigios	1	Ausencia de picos conectados a plumas	1
Solo líneas radiales	2	Puntiagudos	2
Líneas radiales o plumas estrechas	3	Puntiagudos con derivaciones	3
Líneas radiales o plumas que cubren todo el cromatograma	4	Algunos picos que se abren al final en puntos	4
Plumas radiales prominentes/gruesas	5	Picos que se abren al final en forma de manchas	5

Tabla 4. Categorías-pictóricas según los puntos evaluados anteriormente.

Categorías	Pictograma
1-2	Deficiente
3	Suficiente
4-5	Excelente

Fuente: (Pilon, Cardoso and Medeiros, 2018) y (Abad, 2014)

Tabla 5. Características cualitativas del estado de salud del suelo.

Estado de salud del suelo		
	Buen estado	Mal estado
Zona central	De color crema o blanco cremoso que se desvanece al integrarse con las demás zonas, indica un suelo sano y no compactado, con una abundante materia orgánica	Si esta zona no existe significa deterioro del suelo por maquinarias pesadas representando por colores oscuros como negro, gris y azul. También puede encontrarse solo el color blanco lo que demuestra exceso de abonos nitrogenados.
Zona interna	De color cremoso, donde se desplaza y reacciona el nitrato de plata se puede observar cómo se integra con la zona interna.	Aparece con un color negro reflejando un suelo deterioro, mineralizado, erosionado, compactado y sin actividad biológica.
Zona intermedia	De color dorado y naranja, cuando esta zona se encuentra completamente integrada a la zona interna y externa demuestra una alta actividad biológica.	De color negro expresa la ausencia de materia orgánica.
Zona externa	Se observa la presencia gradual de nubecillas o lunares tenues indicando abundancia y variedad nutricional.	Ausencia de nubecillas o lunares tenues demuestran un suelo poco nutrido.

Fuente: (Restrepo y Pinheiro, 2011)

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Interpretación de los cromatogramas

En este apartado se mostrarán los resultados de la interpretación de los cromatogramas obtenido y se realizará una evaluación de la calidad de suelo de acuerdo con las características observadas.

3.1.1 Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SAE (Sistema Agroecológico).

En la tabla 6 se observan las características de la muestra identificada como SAE, el cronograma se presenta en la figura 6.



Figura 6. Cromatograma de la muestra de SAE

Tabla 6. Análisis del cromatograma de la muestra SAE

Zonas	Colores	Forma	Integración	Puntos	Pictograma
Zona 1. Central o de oxigenación	Marrón grisáceo 10YR 5/2	Borde liso mal definido	Falta de integración	1	Red
Zona 2. Interna o mineral	Marrón oscuro 10YR 3/3	Borde liso mal definido	Integración abrupta	2	
Zona 3. Intermedia o materia orgánica	Marrón amarillento 10YR 4/6	Borde exterior con borde irregular	Integración abrupta	2	
Zona 4. Externa o enzimática	Marrón grisáceo 10YR 5/2	Dientes regulares	Integración gradual	4	Green
Trama radial	Plumas estrechas			3	Yellow
Terminación	Algunos picos que se abren al final en puntos			4	Green

1. Zona central o de oxigenación: Se caracteriza por un color marrón grisáceo (10YR 5/2), con un borde liso y mal definido, evidenciando una escasa integración con las zonas adyacentes. Esta zona se calificó con un punto, lo cual indica una deficiencia en la actividad biológica en el centro del cromatograma.
2. Zona interna o mineral: Presenta un color marrón oscuro (10YR 3/3), con bordes lisos y mal definidos, así como una integración abrupta con respecto a las demás zonas. Se le asignó dos puntos, lo que refleja una deficiencia en minerales disponibles en el suelo.
3. Zona intermedia o de materia orgánica: Muestra un color marrón amarillento (10YR 4/6), con bordes exteriores irregulares y una integración también abrupta con las zonas circundantes. De acuerdo con los análisis del INIAP (2024), esta zona presenta 1,90% de materia orgánica, calificándose con dos puntos, lo que indica una deficiencia moderada. Además, se observa la formación de un halo en esta zona, lo cual se asocia a encharcamientos frecuentes, limitando así la actividad microbiana.
4. Zona externa o enzimática: Exhibe un color marrón grisáceo (10YR 5/2), con un borde dentado y bien definido, mostrando una integración gradual y armónica con el resto de las zonas. Esta zona recibió una calificación de cuatro puntos, lo que indica una excelente actividad enzimática y nutricional en la zona externa.
5. Trama radial: Se observan plumas estrechas con terminaciones en picos que se abren en puntos al final. Se calificó con tres a cuatro puntos, lo que refleja una buena

formación estructural de las plumas. Sin embargo, el predominio del color marrón grisáceo en la zona externa sugiere una deficiencia de materia orgánica en el sistema agrícola evaluado (Pilon, Cardoso and Medeiros, 2018).

El cromatograma del sistema agroecológico (SAE) revela una deficiencia general en el contenido de materia orgánica, la actividad microbiológica y la estabilidad biológica del suelo. Las zonas centrales, interna e intermedia presentan bajas puntuaciones, lo que se relaciona con la escasa cobertura vegetal y el frecuente encharcamiento, condiciones que limitan significativamente la actividad microbiana. De acuerdo con Quiñonez (2021), al comparar sus resultados con los obtenidos en esta evaluación, se observa una similitud en cuanto a la baja calidad de los suelos analizados. Esta se evidencia en la escasa integración, la reducida actividad biológica y los bajos niveles de materia orgánica, lo que coincide con los análisis de laboratorio realizados, los cuales reportan un contenido de materia orgánica de apenas 1,90%. Como señala Julca-Otiniano et al. (2006), estos factores se deben a que la cantidad de residuos orgánicos incorporados al suelo no satisface las necesidades requeridas para mantener su fertilidad. Además, podría existir un desequilibrio temporal entre la alta actividad biológica y las condiciones edafoclimáticas presentes. Los análisis de laboratorio corroboran las observaciones anteriores, mostrando compactación en el suelo y una débil transformación mineral. Según Gutiérrez Cedillo, Aguilera Gómez and González Esquivel, (2008), estas condiciones se asocian con los bajos niveles de materia orgánica detectados, así como con un proceso de degradación del suelo, reflejado en una estructura pobre y deteriorada.

3.1.2 Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SCM (Sistema convencional de maíz)

En la tabla 7 se observan las características de la muestra identificada con SCM, el cromatograma se presenta en la figura 7.



Figura 7. Cromatograma de la muestra SCM

Tabla 7. Análisis del cromatograma de la muestra SCM

Zonas	Colores	Forma	Integración	Puntos	Pictograma
Zona 1. Central o de oxigenación	Marrón amarillento 10YR 5/8	Borde liso mal definido	Falta de integración	1	
Zona 2. Interna o mineral	Marrón grisáceo 10YR 5/2	Borde liso mal definido	Integración abrupta	2	
Zona 3. Intermedia o materia orgánica	Marrón amarillento 10YR 4/6	Borde exterior con borde irregular	Integración abrupta	2	
Zona 4. Externa o enzimática	Marrón grisáceo 10 YR 5/2	Formas irregulares	Falta de integración	2	
Trama radial	Ausencia de plumas			1	
Terminación	Ausencia de picos conectados a plumas			1	

1. Zona central o de oxigenación: Se caracteriza por un color marrón amarillento (10YR 5/8), con un borde liso y mal definido, lo que evidencia una falta de integración con las zonas adyacentes. Esta zona se calificó con un punto, lo que indica una marcada deficiencia de actividad microbiana en el centro del cromatograma.
2. Zona interna o mineral: Presenta un color marrón grisáceo (10YR 5/2), con un borde igualmente liso y mal definido, y una integración abrupta con las demás zonas. Fue calificada con dos puntos, lo cual refleja una baja actividad biológica mineralizable y una escasa presencia de materia orgánica estabilizadora.
3. Zona intermedia o de materia orgánica: Muestra un color marrón amarillento (10YR 4/6), con un borde exterior irregular y una integración también abrupta con las otras zonas. De acuerdo con los resultados obtenidos por el INIAP (2024), esta zona contiene apenas 0,30% de materia orgánica, por lo que fue calificada con dos puntos. Esta baja proporción evidencia una deficiencia importante de materia orgánica. Además, se observa la formación de un halo en esta zona, el cual está asociado a encharcamientos, lo que sugiere una limitada actividad microbiológica humificadora.
4. Zona externa o enzimática: Se presenta con un color marrón grisáceo (10YR 5/2), un borde de forma irregular y una escasa integración con el resto de las zonas. Fue calificada con dos puntos, lo que indica una deficiencia en la actividad enzimática del sistema evaluado.

5. Trama radial: Se observa la ausencia de “plumas” y de picos conectados a las mismas, por lo que esta estructura se calificó con un punto. Esta condición refleja una actividad limitada para la descomposición de productos por acción de enzimas microbianas, y, a su vez, evidencia una pobre organización final del cromatograma y escasa actividad enzimática global (Pilon, Cardoso and Medeiros, 2018).

Teniendo en cuenta a Rodríguez Serrano et al. (2016), los resultados obtenidos en el cromatograma del sistema convencional de maíz coinciden con una clara deficiencia de materia orgánica y actividad microbiológica. La baja calidad del suelo se atribuye a la pérdida de fertilidad, el establecimiento prolongado de monocultivos, la escasa cobertura vegetal que facilita la erosión, la pobre actividad biológica y la compactación del terreno. La baja cantidad de materia orgánica, con un valor de 0,30% según los análisis de laboratorio, respalda esta observación. Martínez y Aguilar et al. (2020), indican que este tipo de degradación suele deberse al uso intensivo de agroquímicos y al cultivo continuo de maíz en la misma área, lo cual reduce progresivamente el contenido de materia orgánica del suelo. Además, este sistema carece de prácticas de conservación de suelos, lo que contribuye a una escasa actividad microbiana. El encharcamiento observado en el sistema está relacionado con la baja infiltración de agua, una característica típica de los suelos franco-arenosos, tipo textural que fue determinado en los análisis realizados por el INIAP. Esta condición limita aún más la actividad biológica y agrava la degradación del suelo.

3.1.3 Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SPs (Sistemas de pastos)

En la tabla 8 se observan las características de la muestra identificada con **SPs**, el cronograma se presenta en la figura 8.



Figura 8. Cromatograma de la muestra SPs

Tabla 8. Análisis del cromatograma de la muestra SPs

Zonas	Colores	Forma	Integración	Puntos	Pictograma
Zona 1. Central o de oxigenación	Marrón muy pálido 10YR 8/2	Borde liso mal definido	Integración abrupta	2	
Zona 2. Interna o mineral	Marrón grisáceo 10YR 5/2	Borde liso mal definido	Integración abrupta	2	
Zona 3. Intermedia o materia orgánica	Marrón amarillento 10YR 5/4	Borde exterior con borde irregular	Integración abrupta	2	
Zona 4. Externa o enzimática	Marrón 10YR 4/2	Dientes regulares	Integración Gradual	4	
Trama radial	Plumas estrechas			3	
Terminación	Algunos picos se abren al final en puntos			4	

1. Zona central o de oxigenación: Se caracteriza por un color marrón pálido (10YR 8/2), con borde liso y mal definido, y una integración abrupta con las demás zonas. Esta zona fue calificada con dos puntos, lo que indica una deficiencia en la actividad biológica en el centro del cromatograma, afectando negativamente los procesos de oxigenación del suelo.
2. Zona interna o mineral: Presenta un color marrón grisáceo (10YR 5/2), con borde liso y mal definido, e integración abrupta con las zonas adyacentes. Esta zona fue calificada con dos puntos, reflejando una interacción deficiente entre los componentes minerales y la materia orgánica, lo que limita los procesos de mineralización biológica.
3. Zona intermedia o de materia orgánica: Exhibe un color marrón amarillento (10YR 5/4), con borde exterior irregular e integración abrupta con las demás zonas. De acuerdo con los resultados del INIAP (2024), esta zona presenta 2,10% de materia orgánica, por lo que se calificó con dos puntos. Este valor indica una cantidad y calidad insuficiente de materia orgánica disponible, lo que evidencia la necesidad de mejorar los aportes orgánicos al suelo. Una mayor incorporación de materia orgánica permitiría mejorar la humificación y la dinámica biológica de esta zona.
4. Zona externa: Muestra un color marrón (10YR 4/2), con bordes en forma de dientes regulares e integración gradual con las demás zonas. Fue calificada con cuatro puntos, lo que señala una actividad enzimática y microbiológica moderada. No

obstante, la tonalidad del color sugiere una limitada presencia de materia orgánica y una baja actividad humificadora.

5. Trama radial: Presenta plumas estrechas y algunos picos que se abren en puntos. Esta estructura fue calificada con tres a cuatro puntos, lo cual indica una actividad enzimática que va de moderada a buena. Sin embargo, como advierten Pilon, Cardoso and Medeiros, (2018), esta actividad podría no sostenerse en el tiempo debido a la calidad limitada de materia orgánica presente en el sistema.

El cromatograma de la muestra de pasto (SPs) evidencia una deficiencia generalizada de materia orgánica y actividad microbiológica, lo cual se refleja en las tonalidades opacas, una zona central compactada y una escasa integración entre las diferentes zonas. Estos indicadores señalan una baja calidad biológica y física del suelo. Según Crespo (2011), estas condiciones son atribuibles a prácticas de labranza inadecuadas, presencia de compactación del suelo, baja disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, así como a una escasa incorporación de residuos orgánicos. Además, la deficiencia en la fertilización y las condiciones climáticas adversas contribuyen al deterioro de la calidad edáfica. En concordancia con Medina Saavedra et al. (2018), los resultados obtenidos en el cromatograma coinciden con los análisis de laboratorio, especialmente en la zona intermedia, que presenta un color marrón amarillento, indicativo de una estructura mineral aislada y una escasa actividad biológica. Esta zona mostró un contenido de 2,10% de materia orgánica, lo cual confirma la baja calidad orgánica del suelo evaluado. Asimismo, la actividad enzimática y microbiológica observada en la zona externa fue moderada, lo que indica cierto grado de funcionalidad, aunque insuficiente para sostener procesos eficientes de descomposición y humificación.





3.1.4 Interpretación de las características del cromatograma de la muestra SB (Sistema de bosques).

En la tabla 9 se observan las características de la muestra identificada con **SB**, el cromatograma se presenta en la figura 9.



Figura 9. Cromatograma de la muestra SB

Tabla 9. Análisis del cromatograma de la muestra SB

Zonas	Colores	Forma	Integración	Puntos	Pictograma
Zona 1. Central o de oxigenación	Marrón amarillento 10YR 5/4	Borde liso mal definido	Falta de integración	1	
Zona 2. Interna o mineral	Marrón grisáceo 10YR 5/2	Borde liso mal definido	Integración abrupta	2	
Zona 3. Intermedia o materia orgánica	Marrón amarillento 10YR 5/4	Borde exterior con borde irregular	Integración abrupta	2	
Zona 4. Externa o enzimática	Marrón amarillento 10YR 5/4	Dientes regulares	Integración gradual	4	
Trama radial	Plumas estrechas			3	
Terminación	Algunos picos que se abren al final en puntos			4	

1. Zona central o de oxigenación: Se caracteriza por un color marrón amarillento (10YR 5/4), con un borde liso y mal definido, y una falta de integración con las demás zonas. Esta zona fue calificada con un punto, indicando una deficiencia significativa en la actividad biológica del área central.
2. Zona interna o mineral: Presenta un color marrón grisáceo (10YR 5/2), con un borde liso y mal definido, y una integración abrupta con las otras zonas. Fue calificada con dos puntos, lo que refleja una deficiencia en la interacción entre los componentes minerales del suelo.
3. Zona intermedia o de materia orgánica: Exhibe un color marrón amarillento (10YR 5/4), con un borde exterior irregular y una integración abrupta con las zonas adyacentes. Según los resultados obtenidos por el INIAP (2024), esta zona presentó un contenido de 0,30% de materia orgánica, por lo que fue calificada con dos puntos. Se observó una deficiente actividad biológica y poca estabilización en el sistema muestreado.
4. Zona externa o enzimática: Muestra un color marrón amarillento (10YR 5/4), con bordes dentados regulares y una integración gradual con el resto de las zonas. Esta zona fue calificada con cuatro puntos, lo que indica la existencia de una actividad enzimática y microbiológica excelente.

5. Trama radial: Presenta plumas estrechas y algunos picos que terminan abriéndose en puntos. Fue calificada con tres y cuatro puntos, resaltando la presencia de una actividad enzimática discreta a moderada, según lo indicado por (Pilon, Cardoso and Medeiros, 2018).

Teniendo en cuenta lo señalado por Galicia et al. (2016), los resultados obtenidos del cromatograma de la muestra de bosque indican una deficiencia en la integración de las zonas, así como en el contenido de materia orgánica y la actividad biológica. Esta situación se atribuye al tipo de suelo predominante en este sistema, identificado en los análisis de laboratorio como suelo franco arenoso, el cual presenta una baja capacidad de retención de agua y nutrientes. Estos factores coinciden con los resultados de laboratorio que reportan un contenido de materia orgánica de solo 0,30%. Según Murray et al. (2014), esta condición se debe a la compactación del terreno en el sistema de bosque, que genera baja porosidad y mala aireación. Esta característica se refleja en el cromatograma, donde se observa una zona central pequeña, lo que también limita la capacidad del suelo para retener agua y, en consecuencia, reduce la actividad biológica. De acuerdo con Castillo y Pacheco et al. (2016), la falta de cobertura vegetal en este sistema contribuye a la disminución del aporte de residuos orgánicos al suelo. Esto provoca una mineralización más rápida de la materia orgánica, una pérdida de cobertura durante el ciclo del carbono y una dinámica biológica deficiente, debido a la baja formación de humus.

3.1.5 Resultado del análisis de laboratorio

En la tabla 10 se muestran los diferentes resultados obtenidos de las muestras de suelo.

Tabla 10. Resultados del análisis de laboratorio del INIAP

Muestras	pH		MO (%)	ug ml									
				NH ₄	P	K	Ca	Mg					
SCM	8.5	Alcalino	0.30	2	Baja	37	Alta	816	Alta	4147	Alta	375	Alta
SAE	7.5	Neutro	1.90	12	Baja	25	Alta	819	Alta	3840	Alta	547	Alta
SB	8.2	Alcalino	0.30	2	Baja	29	Alta	793	Alta	3805	Alta	228	Medio
SPs	7.9	Alcalino	2.10	12	Baja	38	Alta	1186	Alta	3612	Alta	451	Alta

Los sistemas analizados presentan un pH que oscila entre neutro y alcalino (7.5 – 8.5), valores superiores a los considerados óptimos para el desarrollo de la mayoría de los cultivos (5.5 – 7.0). No obstante, los cultivos se han adaptado a las condiciones específicas de cada sistema agrícola.

Los contenidos de materia orgánica son generalmente bajos en los sistemas analizados. Solo la muestra correspondiente al sistema de pastos (SPs) presenta un porcentaje superior al 2%, mientras que dos muestras, del sistema de maíz (SCM) y del bosque (SB), presentan porcentajes inferiores al 1%. De manera similar, los niveles de amonio (NH₄⁺) son bajos en todos los sistemas evaluados. Sin embargo, los nutrientes fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) presentan niveles altos en los diferentes sistemas agrícolas.

Según Abad (2014) y Quiñonez (2021), tanto los resultados obtenidos como otros datos analizados evidencian bajos niveles de materia orgánica y una limitada actividad microbiana en los diferentes sistemas agrícolas. La única excepción es la muestra del sistema de pastos (SPs), que presenta un mejor porcentaje de materia orgánica; sin embargo, aún requiere un aporte adicional para alcanzar niveles adecuados. Ninguno de los sistemas agrícolas evaluados alcanzó los estándares óptimos de calidad de suelo según la cromatografía de Pfeiffer. Esta situación se atribuye principalmente a la falta de cobertura vegetal, la ausencia de rotación adecuada de cultivos y la presencia de encharcamientos.

3.2 Medidas para la conservación de los suelos

Con base en los resultados obtenidos sobre la calidad de los suelos en los diferentes sistemas agrícolas, se plantean recomendaciones orientadas a su conservación. A continuación, se proponen algunas prácticas agrotécnicas de carácter orgánico y agroecológico, no convencionales, que deberían ser adoptadas por estudiantes y trabajadores del Centro de Apoyo Manglaralto para preservar la salud del suelo:

- Los cultivos de cobertura protegen la superficie del suelo y aumentan la materia orgánica, creando condiciones favorables para la actividad y el desarrollo de microorganismos.
- La elaboración de compost, resultado de la fermentación aeróbica de una mezcla de materias primas orgánicas bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en los diferentes sistemas agrícolas.
- Los residuos de cosechas, podas o rastrojos, una vez realizada la cosecha, deben ser triturados e incorporados al suelo, lo cual aumenta la actividad microbiológica, mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes.
- La rotación de cultivos consiste en crear un cronograma que establece la sucesión de diferentes cultivos en un mismo terreno, evitando el desgaste de nutrientes, mejorando la estructura del suelo y reduciendo la incidencia de plagas, malezas y enfermedades. Es importante considerar los diferentes sistemas radiculares de los cultivos seleccionados, incluyendo leguminosas que aportan nitrógeno al suelo.
- Los abonos verdes son cultivos productores de biomasa que se utilizan como abono en la superficie del suelo o entre hileras. Normalmente se emplean leguminosas o gramíneas, las cuales aportan nutrientes a los microorganismos del suelo, cantidades significativas de nitrógeno, mejoran la estructura del suelo, previenen la erosión y controlan la maleza (Torres, 2017).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La cromatografía es una técnica que permite evaluar la calidad del suelo mediante el análisis de su estado, interpretando las diferentes zonas del cromatograma a partir de sus colores, formas, integración, trama radial y terminación. En este estudio, se describen los resultados del estado de salud del suelo en cuatro muestras provenientes de distintos sistemas agrícolas del Centro de Apoyo Manglaralto.

Los cromatogramas analizados permiten identificar diferencias en la composición y estructura del suelo entre los sistemas evaluados. En el sistema de maíz, se observa una zona central pequeña, lo cual indica baja aireación y una integración deficiente de minerales. Además, en la zona intermedia se presenta un halo, y en la zona externa hay ausencia de picos, lo que sugiere una composición pobre en materia orgánica, compactación y escasa actividad biológica.

Los resultados indican que la calidad del suelo varía entre los diferentes sistemas agrícolas, destacando el sistema de pastos como uno de los que obtuvo mejor puntuación y mayor contenido de materia orgánica. Sin embargo, este aspecto aún requiere mejora, ya que, en términos generales, las cifras de materia orgánica son bajas, aunque superiores a las de las demás zonas muestreadas. En conclusión, la calidad del suelo es heterogénea, encontrándose suelos con buena calidad y otros que requieren intervención inmediata.

Se recomienda incrementar la cantidad de materia orgánica en todos los sistemas productivos muestreados mediante la incorporación de compost y abonos verdes. Asimismo, es necesario reducir el encharcamiento mediante un manejo eficiente del riego y drenaje, y fomentar la rotación de cultivos para mejorar la salud y productividad del suelo.

Recomendaciones

- Estar atentos para evitar que el nitrato de plata sobrepase los puntos marcados en el papel filtro durante la impregnación, con el fin de prevenir la contaminación de las muestras.
- Realizar evaluaciones periódicas mediante la cromatografía de Pfeiffer para obtener información constante sobre el estado de los suelos.
- Profundizar los estudios de calidad de suelos con cromatografía de Pfeiffer en los diferentes Centros de Apoyo, ya que esta técnica constituye una herramienta valiosa para el análisis de la calidad edáfica.
- Difundir, a través de charlas, la importancia de incorporar materia orgánica en los sistemas agrícolas, así como la necesidad de reducir los encharcamientos, fomentar la rotación de cultivos y evitar la compactación del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, F. (2014) 'Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales', p. 175.
- Araujo, E. and Miras, J. (2024) Porosidad del suelo. Available at: <https://citarea.cita-aragon.es/bitstream/10532/6722/4/Porosidad%20del%20suelo.pdf> (Accessed: 10 April 2025).
- Azpilicueta, C.V. and Aruani, M.C. (2019) 'Nematodos: ¿qué beneficios aportan al suelo?', (10). Available at: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18537/14-azpilicueta-claudia-viviana-y-aruani-mara-cristina.pdf
- Barros, C.E. *et al.* (2022) 'Contribuições da cromatografia circular de Pfeiffer para análise da saúde do solo', Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 31(2), pp. 395–413. Available at: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.90067>
- Cajigas, E. (2007) *Clase 2 Suelos*. Available at: <https://www.unida.org.ar/Virtuales/Huerta/Clase%202%20Suelos.pdf> (Accessed: 30 March 2025).
- Camacho-Tamayo, J.H. *et al.* (2017) 'Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia', Colombia Forestal, 20(1), pp. 5–18. Available at: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Carhuancho, C.E.Q. (2016) 'Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado', Universidad Nacional Agraria de la Selva [Preprint]. Available at: <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f87898aa-3e57-4b6c-8528-28c34c7ca77f/content>
- Castillo-Pacheco, L.A. *et al.* (2016) 'Contenidos De Carbono Orgánico En Suelos Bajo Diferentes Coberturas Vegetales Y De Cultivo', Cultivos Tropicales, 37(3), pp. 72–78.
- Castro, Y.S. (2012) 'Cromatografía y técnicas de análisis físicos, químicos y biológicos en la fertilidad del suelo en diferentes sistemas de uso, centro poblado Bella-Tingo María', 2012, p. 130.
- Corzo, A. (2019) Cromatografía. Available at: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-44-Cromatografia-CORZO.pdf> (Accessed: 26 May 2025).
- Crespo, G. (2011) 'Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales', 45(4). Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022260001.pdf>
- Cruz O'Byrne, R.K., Piraneque Gambasica, N.V. and Aguirre Forero, S.E. (2022) Introducción a la biología y microbiología de suelos. Primera edición. Universidad del Magdalena. Available at: <https://doi.org/10.21676/9789587465747>

- De la Cruz, K. (2015) “Caracterización de sistemas de producción agropecuaria, a través de la percepción de los productores en comunas de la Parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2743/1/UPSE-TAA-2015-016.pdf> (Accessed: 1 April 2025).
- Domínguez Soto, J.M. *et al.* (2012) ‘Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), pp. 141–155.
- Doria, G. (2016) *Cromatografía*. Available at: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/9904/401542_Cromatografia_modulo.pdf;jsessionid=1EC708460183BDA0F88DF92F06EAE85A?sequence=3 (Accessed: 2 April 2025).
- Espinosa, J., Moreno, J. and Bernal, G. (2022) ‘Erosión del Suelo en Ecuador’, in *ResearchGate*. Primera. Available at: https://www.researchgate.net/publication/360715177_Erosion_del_Suelo_en_Ecuador (Accessed: 11 April 2025).
- Farbiarz, A. (2024) ‘Tipos de suelo y su composición para cultivos - DeepDrop®’, 18 July. Available at: <https://deepdrop.es/tipos-de-suelo-y-su-composicion-para-cultivos/> (Accessed: 31 March 2025).
- Fragoso, Á. (2015) *Determinación de estructura del suelo*, SlideShare. Available at: <https://es.slideshare.net/slideshow/estructura-del-suelo-47386980/47386980> (Accessed: 26 May 2025).
- Galarza, S. (2019) ‘Análisis de la fertilidad del suelo del jardín universitario de la Universidad Estatal del Sur Manabí’. Available at: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1915/1/UNESUM-ECU-FORESTAL-2019-15.pdf>
- Galicia, L. *et al.* (2016) ‘Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México’, *Terra Latinoamericana*, 34(1), pp. 1–29.
- Google Maps (2025) *Manglaralto*. Available at: https://www.google.com/maps/place/Manglaralto/@-1.8435152,-80.742962,134m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x902dd33d321b2151:0xc1d3a6fbfd ea6385!8m2!3d-1.9426536!4d-80.7253813!16s%2Fg%2F11bzx3nzyr!5m1!1e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDUyOC4wIKXMDSoASAFQA%3D%3D (Accessed: 1 June 2025).
- Gutiérrez Cedillo, J.G., Aguilera Gómez, L.I. and González Esquivel, C.E. (2008) ‘Agroecología y sustentabilidad’, *Convergencia*, 15(46), pp. 51–87.
- Huaman, H. (2017) *Suelos Arenosos*. Available at: <https://es.scribd.com/document/352766526/suelos-arenosos> (Accessed: 26 May 2025).

- Jimenez, E. (2024) Efectos de la compactación de los suelos arcillosos en el desarrollo y producción del cultivo de palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq. Available at: <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16065/E-UTB-FACIAG-AGRON-000141.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Accessed: 31 March 2025).
- Jiménez, I. and Domínguez, L. (2008) ‘Diagnóstico de la infiltración y permeabilidad en los suelos de la zona de recarga del acuífero Morroa en el Área Sincelejo, Corozal y Morroa’, Universidad de Sucre [Preprint]. Available at: <https://repositorio.unisucre.edu.co/server/api/core/bitstreams/53cd72cd-d2f9-4df2-9baf-2a1e00aca3f7/content>
- Julca-Otiniano, A. *et al.* (2006) ‘La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura’, *Idesia (Arica)*, 24(1), pp. 49–61. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Lamz Piedra, A. and González Cepero, M.C. (2013) ‘La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata’, *Cultivos Tropicales*, 34(4), pp. 31–42.
- Limón, E. (2022) ‘Estado físico, químico y microbiológico del suelo en cultivo de Banano de las Variedades Gran Enano y Gran Williams, en la Provincia de Los Ríos, Quevedo’, Universidad Estatal Península de Santa Elena [Preprint]. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8734/1/UPSE-TIA-2022-0051.pdf>
- Marín, R. (2017) ‘Diagnóstico de la Densidad aparente en relación con otras propiedades físicas del suelo en tres sistemas productivos y bosque nativo, en terrazas altas del piedemonte llanero.’, Universidad Nacional Abierta y a Distancia “UNAD”. [Preprint]. Available at: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/14992/40384545.pdf>
- Mariscal, I.D.L. (2008) Recuperación de la calidad de Ultisoles mediterráneos degradados, mediante la aplicación de enmiendas y formas alternativas de uso. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Madrid. Available at: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1597>
- Martinez, M. *et al.* (2021) (PDF) Manual para la elaboración de cromatografía de suelos mediante el método Pfeiffer, ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/352006157_Manual_para_la_elaboracion_de_cromatografia_de_suelos_mediante_el_metodo_Pfeiffer (Accessed: 3 May 2025).
- Martínez-Aguilar, F.B. *et al.* (2020) ‘Caracterización fisico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas’, *Terra Latinoamericana*, 38(4), pp. 871–881.
- Medina Saavedra, T. *et al.* (2018) ‘Cromatografía de Pfaffner en el análisis de suelos de sistemas productivos’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), pp. 665–673. Available at: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1223>

- Murray, R.M. *et al.* (2014) ‘El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo’, *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), pp. 23–31.
- Orellana-Rivadeneira, G. *et al.* (2012) ‘Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios’, *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3.
- Paucay, O. and Paola, L. (2016) ‘Biodiversidad fúngica en el suelo del Bosque Protector Aguarongo, provincia del Azuay - Ecuador’. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12814/1/UPS-CT006692.pdf>
- Perez, H. (2010) ‘“Comparación de la comunidad de amebas desnudas de vida libre de la zona de raíces de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox* en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla”.’ Available at: https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000666841/3/0666841_A1.pdf
- Pilon, L.C., Cardoso, J.H. and Medeiros, F.S. (2018) ‘Guia Prático de Cromatografía de Pfeiffer’. Available at: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1097113/1/DOCUMENTO455.pdf>
- Quimis, I. (2024) Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del suelo para cimentación de obras civiles en el sector la Dolorosa del cantón Jipijapa. Available at: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7122/1/Quimis%20Mac%c3%ad as%20Irina%20Nicole.pdf> (Accessed: 31 May 2025).
- Quiñonez, E. (2021) ‘Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de Pfeiffer’, Universidad Estatal Península de Santa Elena [Preprint]. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6362/1/UPSE-TIA-2021-0072.pdf>
- Quiroga, P. (2023) Cromatografía en capa fina (tlc). Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/150635/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accessed: 2 April 2025).
- Restrepo, J. and Pinheiro, S. (2011) ‘Cromatografía’. Available at: <https://morralcampesino.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/cromatografia-restrepo-pinheiro.pdf> (Accessed: 2 May 2025).
- Restrepo, J. and Pinheiro, S. (2014) ‘Interpretar la cromatografía de suelos’, *Agrologia*, 15 April. Available at: <https://agrologia.wordpress.com/2014/04/15/la-cromatografia/> (Accessed: 2 April 2025).
- Reyes Heredia, C.A. (2012) Análisis de un sistema de cromatografía de campo para evaluación de calidad de suelos y compost en empresas asociadas a Ecofas. Available at: <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8043/T-ESPE-IASA%20I-004749.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Accessed: 13 May 2025).

- Rincón, A., Baquero, J. and Florez, H. (2012) Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia. Edited by C. Jaramillo. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria - Corpoica. Available at: <https://doi.org/10.21930/978-958-740-115-8>.
- Rincón, L.E.C. and Gutiérrez, F.A.A. (2012) ‘Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils’, (1). Available at: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
- Ritter, M. (2022) Propiedades del Suelo, LibreTexts Español. Available at: [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geograf%C3%ADa_\(F%C3%ADsica\)/El_ambiente_f%C3%ADsico_\(Ritter\)/11%3A_Sistemas_de_Suelo/11.03%3A_Propiedades_del_Suelo](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geograf%C3%ADa_(F%C3%ADsica)/El_ambiente_f%C3%ADsico_(Ritter)/11%3A_Sistemas_de_Suelo/11.03%3A_Propiedades_del_Suelo) (Accessed: 10 May 2025).
- Rodríguez Serrano, A.C. *et al.* (2016) ‘Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestal y monocultivo’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE16), pp. 3263–3275.
- Ruiz, E. and Martínez, M. (2015) Escorrentía. Available at: https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47725/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_5.pdf (Accessed: 11 April 2025).
- Salazar, L.A.L. (2021) ‘Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas’. Available at: <https://www.cenicafe.org/es/publications/e72101.pdf>
- Sango, M. (2024) ‘Los sistemas de producción agrícola en el desarrollo productivo de la Parroquia Sicalpa del Cantón Colta.’, p. 71.
- Torres, I.N.N. (2017) ‘Análisis del uso de la cromatografía como herramienta cualitativa de diagnóstico de la fertilidad del suelo en sistemas de producción agrícola.’ Available at: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13593/1030537336.pdf;jsessionid=4BBEFF54E7471A40A715F3F8B13B265B?sequence=1>
- Vermiduro (2024) ‘Cromatografía de suelos y su uso para analizar la calidad del terreno’, 19 February. Available at: <https://vermiduro.es/cromatografia-de-suelos/> (Accessed: 13 May 2025).
- Yáñez Díaz, M.I. *et al.* (2018) ‘Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol’, *Terra Latinoamericana*, 36(4), pp. 369–379. Available at: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Zamora, F. (2017) Estandarización de la metodología de cromatografía de columna para el aislamiento de metabolitos activos a partir de extractos vegetales.”. Available at: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/783dbd8d-6efd-4df8-b048-787a4d73cd76/content> (Accessed: 3 April 2025).

ANEXOS



Figura 1A. Sistema agrícola de agroecología



Figura 2A. Toma de muestras de suelo

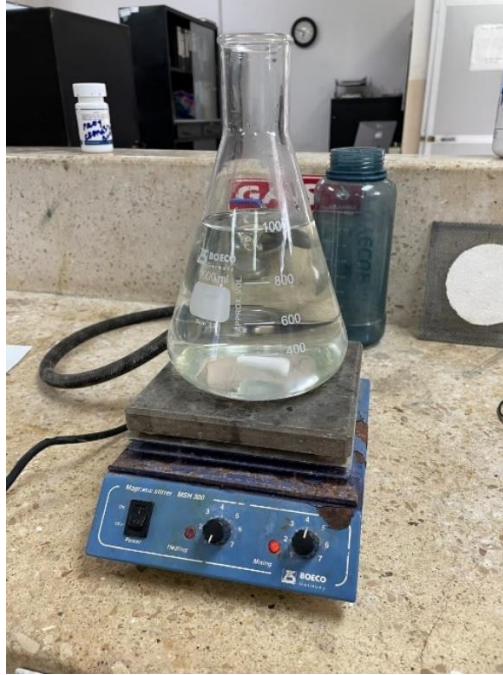


Figura 3A. Hidróxido de sodio (NaOH) al 1%

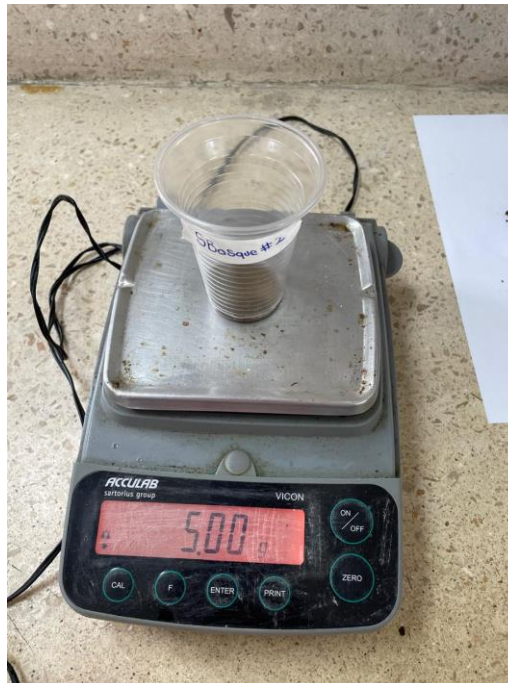


Figura 4A. Pesado de muestras de suelo



Figura 5A. Muestras de suelo con el Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1%, en reposo

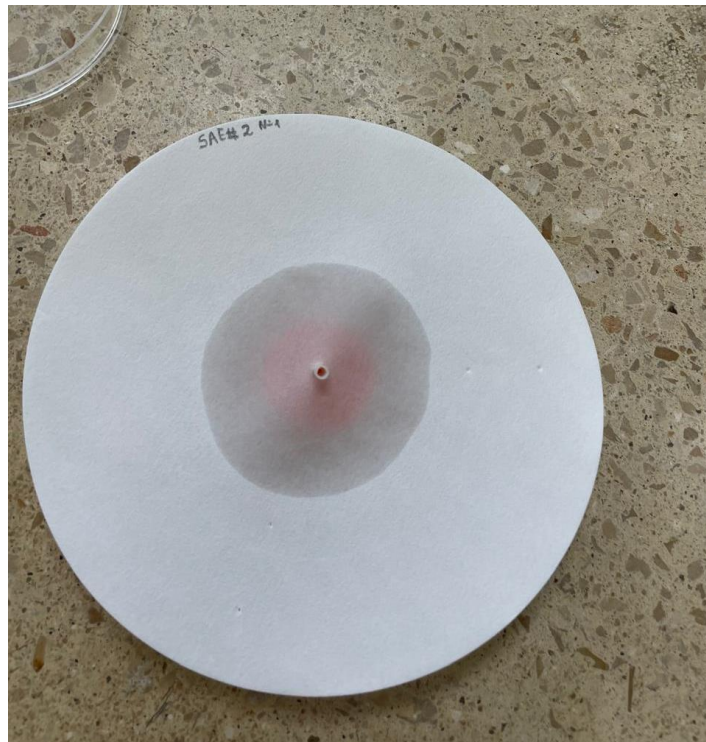


Figura 6A. Impregnación del papel con la sustancia de Hidróxido de Sodio.



Figura 7A. Impregnación de las muestras de suelo



Figura 8A. Cromatograma revelado



ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
 Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@inap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE
N°OAE LE C 11-007

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA	Nombre :	UPSE	Informe No. :	00889 - 24	Factura No. :	10565
Dirección :	SANTA ELENA	Provincia :	SANTA ELENA	Responsable Muestreo :	Cliente	Fecha Análisis :	23/12/2024
Ciudad :	LA LIBERTAD	Cantón :	SANTA ELENA	Fecha Muestreo :	NE	Fecha Emisión :	27/12/2024
Teléfono :	042781732	Parroquia :	SANTA ELENA	Fecha Ingreso :	12/12/2024	Fecha Impresión :	06/01/2025
Fax :	042781971	Ubicación :	NE	Condiciones Ambientales :	T°C: 26.0 %H: 49.0	Cultivo Actual :	Suelo Costa

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ug/ml											
			* NH ₄	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	*Fe	*Mn	*B	* Cl
80560	CÓDIGO TSCM PROF. 0.20	8.3 MeAl	2 B	37 A	816 A	4147 A	375 A	22 A	1.5 B	4.9 A	9 B	6.0 M	1.40 A	
80561	CÓDIGO ZSAE PROF. 0.20	7.5 PN	12 B	25 A	819 A	3840 A	547 A	46 A	1.7 B	5.3 A	16 B	7.0 M	2.00 A	
80562	CÓDIGO ZSB PROF. 0.20	8.2 MeAl	2 B	29 A	793 A	3805 A	228 M	12 M	1.3 B	3.0 M	13 B	6.0 M	1.90 A	
80563	CÓDIGO ASPs PROF. 0.20	7.9 LAJ	12 B	38 A	1186 A	3612 A	451 A	37 A	1.2 B	7.1 A	21 M	5.0 B	1.70 A	
80564	CÓDIGO SP2 PROF. 0.20	7.7 LAJ	17 B	40 A	1244 A	3669 A	469 A	33 A	1.6 B	5.5 A	14 B	12.0 M	1.70 A	

Interpretación		pH	
NH ₄ , P, K, Ca, Mg, S	MAc = Muy Acido	M	= Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	Ac = Acido	LAl	= Lig. Alcalino
	B = Bajo	MAc	= Med. Acido
	M = Medio	LAc	= Lig. Acido
	A = Alto	Al	= Alcalino
		PN	= Prec. Neutro
		RC	= Requiere Cal

Determinación	Metodología	Extractante
NH ₄ & P	Colorimetría	Calm
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atróica	pH 8.5
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Molibdato
Cl	Volumétrica	Fosfo Saturado
pH	Potenciométrica	Suelo: agua (1:2.5)

Niveles de Referencia Óptimos	
Medio (ug/ml)	
NH ₄	20 - 40
Mg	121.5 - 243
Fe	20 - 40
P	10 - 20
B	10 - 20
Mn	5 - 15
K	78 - 156
Zn	2.0 - 7.0
B	0.5 - 1.0
Ca	800 - 1600
Cu	1.0 - 4.0
Cl	17 - 34

NE = No entregado

<LC = Menor al Límite de Cuantificación

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

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

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

** Ensayo subcontratado

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

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

[Firma]
 Responsable Técnico del Laboratorio

Método de Análisis: SAE 1000-01-01

Figura 9A. Resultados de análisis de laboratorio de muestras de suelo.



INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA	Nombre :	UPSE	Informe No. :	00889 - 24
Dirección :	SANTA ELENA	Provincia :	SANTA ELENA	Factura No. :	10565
Ciudad :	LA LIBERTAD	Cantón :	SANTA ELENA	Responsable Muestreo :	Cliente
Teléfono :	042781732	Parroquia :	SANTA ELENA	Fecha Muestreo :	N/E
Fax :	042781971	Ubicación :	N/E	Fecha Ingreso :	12/12/2024
				Condiciones Ambientales :	T°C:26.0 %H:49.0
				Fecha Emisión :	27/12/2024
				Fecha Impresión :	06/01/2025
				Cultivo Actual :	Suelo Costa

N° Laborat.	Identificación	* Textura (%)			* Clase Textural	* meq/100ml			mScm	* (%)			* meq/100ml			Ca	Mg	Ca+Mg						
		Arena	Limo	Arcilla		* Al+H	* Al	* Na		* M.O.	K	* Ca	* Mg	Σ Bases	Mg	K	K							
80560	CÓDIGO 1SCM PROF. 0.20	54	28	18	Franco-Arenoso					0.30	B	2.09	A	20.74	A	3.09	A	25.91	6.72	M	1.48	B	11.39	B
80561	CÓDIGO 2SAE PROF. 0.20	36	40	24	Franco					1.90	B	2.10	A	19.20	A	4.50	A	25.80	4.26	M	2.14	B	11.28	B
80562	CÓDIGO 3SB PROF. 0.20	82	12	6	Arena-Franco					0.30	B	2.03	A	19.03	A	1.88	M	22.93	10.14	A	0.92	B	10.28	B
80563	CÓDIGO 4SPs PROF. 0.20	26	42	32	Franco-Arcilloso					2.10	B	3.04	A	18.06	A	3.71	A	24.81	4.87	M	1.22	B	7.16	B
80564	CÓDIGO 5P2 PROF. 0.20	26	44	30	Franco-Arcilloso					2.80	B	3.19	A	18.35	A	3.66	A	25.39	4.75	M	1.21	B	6.96	B

Interpretación	
Al+H	Al, Na
Ad	= Adecuado
NS	= No Salino
LT	= Ligero: Tóxico
LS	= Lig. Salino
T	= Tóxico
S	= Salino
M	= Muy Salino

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

Determinación		Metodología		Extracción	
M.O.		Walkley Black		Distilado de K	
CIC				Acetato de Amonio	
Na				Cloruro de Bario	
C.E.				Extrato de pasta saturada	
				Agua	

Lig. Suelo [meq/100ml]	Lig. Saturo [Cmol/c]	Límites de Referencia		Medio	Medio [meq/100ml]
		C.E.	Ca/Mg		
Al+H	0.31 - 1.5	2.0 - 4.0	Ca/Mg	2.0 - 8.0	K 0.2 - 0.4
Al	0.31 - 1.0		Mg/K	2.5 - 10.0	Ca 4 - 8
Na	0.5 - 1.0	M.O.	(Ca+Mg)/K	12.5 - 50.0	Mg 1 - 2

N/E = No entregado

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

[Firma]
 Responsable Técnico del Laboratorio

Figura 10A. Resultado de análisis de laboratorio de muestras de suelo.