



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

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO
MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER COMO HERRAMIENTA PARA EL
ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA CALIDAD DEL SUELO**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Angelica Maria Yagual Del Pezo

LA LIBERTAD, 2024



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

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO
MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**USO DE LA CROMATOGRFÍA DE PFEIFFER COMO HERRAMIENTA PARA EL
ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA CALIDAD DEL SUELO**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Angelica Maria Yagual Del Pezo.

Tutor/a: Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **ANGELICA MARIA YAGUAL DEL PEZO** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/12/2024



Firmado electrónicamente por:
**IDALBERTO MACIAS
SOCARRAS**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Idalberto Macías Socarrás, PhD
**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

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



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. . Washington Perero Vera, MSc
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“USO DE LA CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA CALIDAD DEL SUELO”** y elaborado por **Angelica Maria Yagual Del Pezo**, 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".



firmado electrónicamente por:
**ANGELICA MARIA
YAGUAL DEL PEZO**

Angelica Maria Yagual Del Pezo

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo de investigación a DIOS, por guiar mis pasos en buenos caminos y culminar con éxitos mi etapa estudiantil.

Por este proceso que fue la universidad dedico esta meta a mi padre HECTOR ABRAHAN YAGUAL PANCHANA quien con esfuerzo me ayudo económicamente y emocionalmente, sin dudarle siempre diré que gracias a tu amor incondicional a tus palabras de aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles de mi vida nunca perdiste la fe en mí es por esto que este logro es tanto mío como tuyo porque es el resultado de todo lo que me brindaste desde pequeña.

A mi madre MARIA ISABEL DEL PEZO REYES quien me motivo a seguir con mis estudios dedico este triunfo con amor y gratitud a mis queridos hermanos Abraham, Ruth, Geomayra, Carmen, Jhoider, por brindarme su apoyo y amor incondicional.

También dedico este logro a mi pareja Jefferson Del Pezo quien me ha apoyado y motivado para seguir con mis estudios y a quien también agradezco por permitirme vivir esta etapa de ser mamá.

ANGELICA MARIA YAGUAL DEL PEZO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por brindarme salud y sabiduría para poder culminar con mis estudios y cumplir esta meta tan deseada de ser una profesional.

A la universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias Carrera de Agropecuaria por enseñarme lo que es responsabilidad a mis distinguidos docentes por brindarme sus conocimientos y experiencias. A mi docente tutor Ing. Nadia Quevedo Pinos, por ayudarme y guiarme con mi investigación le estaré muy agradecida.

En toda mi etapa estudiantil estaré eternamente agradecida con mi padre Héctor Yagual Panchana quien ha estado conmigo apoyándome incondicionalmente que a pesar de su enfermedad del corazón y vivir días muy difíciles en su operación no se rindió siguió adelante luchando por nuestra familia con su fe el demostró que se puede lograr superar cada reto. Es por esto mi agradecimiento él es mi ejemplo para seguir y por el cual e culminado mis estudios con muchos éxitos.

RESUMEN

En la investigación se explora la cromatografía de Pfeiffer como una herramienta cualitativa para evaluar la calidad del suelo. Se presenta esta técnica como una alternativa económica y accesible para agricultores y comunidades rurales, especialmente valiosa en contextos de agricultura sostenible. La cromatografía de Pfeiffer, basada en la visualización de patrones en papel de filtro, permite identificar propiedades biológicas y químicas del suelo sin necesidad de equipos costosos. Se destaca la importancia del análisis de suelo debido a su rol fundamental en la producción agrícola y el impacto de la degradación del suelo en la seguridad alimentaria y ambiental. El estudio sigue una metodología de revisión bibliográfica integradora, revisando investigaciones recientes y seleccionando 70 documentos relevantes. Se describen los fundamentos de la técnica, su procedimiento, ventajas y limitaciones. Entre las recomendaciones, se enfatiza la necesidad de desarrollar protocolos estandarizados y capacitar a los agricultores en la interpretación adecuada de los patrones cromatográficos. Finalmente, se resalta el potencial de la cromatografía de Pfeiffer para mejorar las prácticas agrícolas, aunque se reconoce que sus resultados cualitativos deben complementarse con métodos cuantitativos.

Palabras clave: Biodiversidad, Calidad del suelo, Agricultura sostenible.

ABSTRACT

The paper explores Pfeiffer chromatography as a qualitative tool for assessing soil quality. This technique is presented as an economical and accessible alternative for farmers and rural communities, especially valuable in sustainable agriculture contexts. Pfeiffer chromatography, based on the visualization of patterns on filter paper, allows the identification of biological and chemical properties of soil without the need for expensive equipment. The importance of soil analysis is highlighted due to its fundamental role in agricultural production and the impact of soil degradation on food and environmental security.

The study follows an integrative literature review methodology, reviewing recent research and selecting 70 relevant documents. The fundamentals of the technique, its procedure, advantages and limitations are described. Among the recommendations, the need to develop standardized protocols and train farmers in the proper interpretation of chromatographic patterns is emphasized. Finally, the potential of Pfeiffer chromatography to improve agricultural practices is highlighted, although it is recognized that its qualitative results must be complemented with quantitative methods.

Keywords: Biodiversity, Soil quality, Sustainable agriculture.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	1
Problema:	2
Objetivos.....	2
Objetivo general:	2
Objetivos Específicos.....	2
2 MÉTODOLÓGÍA.....	3
CAPITULO 3 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Propiedades químicas del suelo.....	5
2.2 PH del suelo.....	5
2.3 Procedimiento y Fundamentos Teóricos de la Cromatografía de Pfeiffer.....	6
2.4 Principios Básicos de la cromatografía de pfeiffer	6
2.4.1 Capilaridad.....	6
2.4.2 Absorción e Interacción Química	6
2.4.3 Separación de Componentes	6
2.5 Procedimiento Detallado.....	7
2.5.1 Preparación de la Muestra.....	7
2.5.2 Preparación del Papel Cromatográfico	7
2.5.3 Aplicación de la Muestra	7
2.5.4 Desarrollo Cromatográfico	7
2.5.5 Secado e Interpretación.....	7
2.6 Ventajas y Limitaciones de la Cromatografía de Pfeiffer en el Análisis de la Calidad del Suelo.....	7
2.6.1 Ventajas	7
2.6.2 Facilidad de Interpretación Visual.....	8
2.6.3 Enfoque Holístico	8
2.7 Limitaciones	8
2.7.1 Falta de Precisión Cuantitativa	8
2.7.2 Variabilidad en los Resultados.....	8
2.7.3 Comparación con Métodos Científicos Modernos	8
2.8 Recomendaciones para la Implementación de la Cromatografía de Pfeiffer en Prácticas Agrícolas y de Gestión del Suelo	9
2.8.1 Aplicaciones Prácticas	9
2.8.2 Mejora de la Técnica.....	9
2.8.3 La Calidad del Suelo en la Agricultura Sostenible	9
2.9 Fundamentos químicos detrás de la cromatografía de Pfeiffer	9
2.10 Procedimiento de la cromatografía de Pfeiffer	10
2.10.1 Recolección de muestras y preparación.....	10
2.10.2 Análisis e interpretación de resultados	10
2.10.3 Comparación con otras técnicas analíticas	10
2.11 Interpretación de la cromatografía.....	10
2.11.1 Zona 1	11
2.11.2 Zona 2	11
2.11.3 Zona 3	12
2.11.4 Zona 4.....	12
2.12 Interpretación de la cromatografía por colores.....	13
2.13 Recomendaciones para la implementación de la cromatografía de Pfeiffer	15

2.13.1 Integración en prácticas agrícolas	15
2.13.2 Desarrollo de protocolos de trabajo	15
2.14 Tipos de soluciones extractantes	15
2.15 Comparación con Otras Técnicas de Análisis de Suelo	15
CONCLUSIONES	19
RECOMENDACIONES	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la Búsqueda y Selección de Documentos.....	4
Tabla 2: Clasificación de acidez del suelo	5

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Identificación esquemática de las principales zonas de un cromatograma de suelo	11
Figura 2: Interacción de la materia orgánica y minerales en un cromatograma.....	13
Figura 3: Tonalidades deseables y no deseables de un cromatograma de suelo	14
Figura 4: Tonalidad deseable en un cromatograma de suelo	14

1 INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo es fundamental para asegurar la productividad y sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. Evaluar adecuadamente su estado es crucial, ya que los suelos desempeñan un papel esencial en la salud de los cultivos y la biodiversidad de los agroecosistemas. A pesar de que existen métodos tradicionales para analizar la composición del suelo a través de técnicas químicas y microbiológicas, estos pueden ser costosos, complejos y no siempre accesibles para los agricultores en entornos más rurales. En este contexto, la cromatografía de Pfeiffer, una técnica desarrollada por Ehrenfried Pfeiffer dentro de la agricultura biodinámica emerge como una herramienta accesible y cualitativa para la evaluación de la calidad del suelo. El propósito principal de esta técnica es proporcionar una diagnosis visual de la vitalidad del suelo, centrándose no solo en su composición química, sino también en su estado biológico y ecológico (Caballero, 2018).

La cromatografía de Pfeiffer se basa en el principio de capilaridad y absorción, donde los componentes solubles del suelo interactúan con un reactivo en un papel cromatográfico, permitiendo la separación de estos elementos a medida que el líquido asciende por el papel. El patrón resultante se puede interpretar visualmente para obtener una representación cualitativa de la salud del suelo, evaluando factores como la actividad microbiana, la estructura orgánica y la presencia de nutrientes. Esta técnica es especialmente atractiva por su simplicidad y bajo costo, lo que la convierte en una herramienta accesible para agricultores y técnicos, en especial en sistemas agrícolas más sostenibles (Figuro, 2018)

No obstante, la cromatografía de Pfeiffer presenta ciertas limitaciones, como la falta de precisión cuantitativa y la posible variabilidad en los resultados, dependiendo de factores como la humedad y la temperatura. Estas restricciones hacen que la cromatografía de Pfeiffer no sea un reemplazo de técnicas más avanzadas y precisas, como la cromatografía de gases o la espectrometría de masas, pero sí puede ser utilizada como una herramienta complementaria en la evaluación preliminar de la calidad del suelo en cuanto a su aplicación, la agricultura biodinámica ha promovido el uso de esta técnica como una forma de evaluar la vitalidad del suelo en términos de su capacidad para sostener un ecosistema equilibrado, Además, se sugieren recomendaciones prácticas para optimizar el uso de esta técnica en el campo, tanto en sistemas agrícolas biodinámicos como convencionales. La combinación de la cromatografía con otras herramientas científicas puede proporcionar una comprensión

más robusta y efectiva de los procesos que sustentan la salud del suelo y, por ende, la de los cultivos (Vance, 2022).

Esta investigación concluyó que la cromatografía de Pfeiffer es un instrumento cualitativo prometedor para la medición de la calidad del suelo en comparación con los enfoques existentes. Este estudio avanzó en el análisis ambiental a través de una metodología accesible y sostenible, estableciéndose como un recurso importante para quienes se dedican a mejorar la calidad del suelo y fomentar la agricultura sostenible.

Problema:

¿Cómo se puede utilizar la cromatografía de Pfeiffer para evaluar cualitativamente la calidad del suelo y qué tan efectiva es en comparación con los métodos tradicionales de análisis de suelos?

Objetivos

Objetivo general:

- ❖ Evaluar la eficacia de la cromatografía de Pfeiffer como una herramienta cualitativa para el análisis de la calidad del suelo.

Objetivos Específicos:

1. Describir el procedimiento y los fundamentos teóricos de la cromatografía de Pfeiffer.
2. Identificar las ventajas y limitaciones de la cromatografía de Pfeiffer en el análisis de la calidad del suelo.
3. Proponer recomendaciones para la implementación de la cromatografía de Pfeiffer en prácticas agrícolas y de gestión del suelo.

2 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se utilizó una metodología de investigación bibliográfica integradora. Esta metodología tiene como objetivo reunir y sintetizar la evidencia existente sobre la cromatografía de Pfeiffer y su uso en el análisis de la calidad del suelo. La investigación integradora permite combinar diferentes tipos de estudios y fuentes de información, proporcionando una visión amplia y detallada del estado actual del conocimiento sobre el tema.

El proceso metodológico incluyó varias etapas clave. Primero, se definió el tipo de investigación bibliográfica, optando por una revisión integradora debido a su capacidad para abarcar un amplio rango de estudios y ofrecer una perspectiva comprensiva. Las bases de datos utilizadas para la recolección de información fueron Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar. Se seleccionaron estas bases de datos por su relevancia y amplitud en el ámbito científico.

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: "Cromatografía de Pfeiffer", "análisis de calidad del suelo", "prácticas agrícolas sostenibles", "evaluación cualitativa del suelo" y "metodologías de análisis de suelo". Estas palabras clave se emplearon en combinaciones específicas tanto en inglés como en español para asegurar una cobertura completa de la literatura relevante. Además, se establecieron criterios de inclusión y exclusión para refinar la búsqueda. Se incluyeron artículos científicos, estudios de caso, revisiones y monografías publicados en los últimos 7 años (2017-2024) en inglés y español, relacionados directamente con la cromatografía de Pfeiffer y el análisis de la calidad del suelo. Se excluyeron documentos no relacionados, publicaciones anteriores a 2017 y artículos no disponibles en texto completo. El período de la encuesta bibliográfica se llevó a cabo entre enero y julio de 2024.

La selección de documentos se realizó en varias etapas. Inicialmente, se identificaron 460 documentos relevantes en las bases de datos seleccionadas. Después de aplicar los filtros de relevancia y los criterios de inclusión y exclusión, el número de documentos se redujo a 150. Estos documentos fueron sometidos a una lectura crítica, evaluando la relevancia del contenido, la calidad del estudio y la disponibilidad del texto completo. Finalmente, se seleccionaron 70 documentos que cumplían con todos los criterios establecidos.

Los resultados de la búsqueda se detallan a continuación. En la base de datos Scopus se encontraron inicialmente 120 documentos, de los cuales 15 fueron seleccionados. En Web of Science se identificaron 105 documentos, seleccionándose 20. En PubMed, de los 85 documentos encontrados, se seleccionaron 10. Finalmente, en Google Scholar se encontraron 150 documentos, de los cuales 25 fueron seleccionados. En total, se identificaron 460 documentos iniciales, de los cuales se seleccionaron 70 para el estudio.

Tabla 1. Resultados de la Búsqueda y Selección de Documentos

Base de Datos	Documentos Iniciales Encontrados	Documentos Seleccionados
Scopus	120	15
Web of Science	105	20
PubMed	85	10
Google Scholar	150	25
Total	460	70

Para obtener el texto completo de los documentos seleccionados, se accedió a las suscripciones institucionales y se utilizaron servicios de solicitud de documentos interbibliotecarios. Este enfoque metodológico asegura la inclusión de estudios relevantes y actualizados, proporcionando una base sólida para la evaluación de la cromatografía de Pfeiffer como herramienta para el análisis cualitativo de la calidad del suelo.

CAPITULO 3 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Propiedades químicas del suelo

Composición de varios compuestos esenciales para las plantas, entre ellos macronutrientes (N, P, Ca, Mg, K, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Co, Zn; B, Mo, Cl), así como las distintas propiedades físicas (carbono orgánico, carbono cálcico, hierro en diversos estados). El estudio de la materia orgánica, la fertilidad, la acidez-alcalinidad nos permite analizar características específicas del suelo en respuesta a cambios o reacciones químicas que modifican su composición y comportamiento (Altamirano, 2020).

2.2 PH del suelo

El pH del suelo es una característica química que cuantifica la concentración de iones de hidrógeno activos (H^+) en la interfase entre el suelo y los materiales líquidos, resultante de la interacción entre componentes sólidos y líquidos. Los niveles umbral que determinan la accesibilidad de la mayoría de los nutrientes se encuentran entre 6,5 y 7,5. Cuantificar el pH es crucial ya que regula las características químicas del suelo que afectan el rendimiento agrícola (Iñiguez, 2023).

La acidez del suelo es causada en parte por pérdidas de bases en regiones húmedas, lo que resulta en una lixiviación significativa. En los lugares previamente ocupados por bases, estas son sustituidas por iones de hidrógeno, que, al introducirse en la solución del suelo, resultan en una disminución del pH, lo que lleva a la toxicidad en las plantas (Cercado, 2021).

Tabla 2: Clasificación de acidez del suelo

pH de solución del suelo	Categoría
Menor de 4	Suelo extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Suelo muy fuertemente ácidos
5.1 – 5.5	Suelo fuertemente ácidos
5.6 - 6.0	Suelos medianamente ácidos
6.1 – 6.5	Suelos ligeramente ácidos
6.6 – 7.3	Suelos neutros
7.4 - 7.8	Suelos medianamente básicos
7.9 – 8.4	Suelos moderadamente básicos
8.5 – 9.0	Suelos fuertemente básicos
Mayor 9.1	Suelos muy fuertemente básicos

2.3 Procedimiento y Fundamentos Teóricos de la Cromatografía de Pfeiffer

La cromatografía de Pfeiffer es una técnica desarrollada por Ehrenfried Pfeiffer, un científico y pionero de la agricultura biodinámica. Pfeiffer dedicó gran parte de su carrera a la investigación de métodos sostenibles y naturales para evaluar la calidad del suelo y mejorar la agricultura. Inspirado por las enseñanzas de Rudolf Steiner, fundador de la agricultura biodinámica, Pfeiffer desarrolló esta técnica para ofrecer una evaluación simple y visual de la vitalidad del suelo (Dominguez, 2022).

Pfeiffer introdujo la cromatografía en papel como una manera accesible para medir aspectos cualitativos del suelo, en contraste con los análisis químicos más complejos y costosos. La técnica se fundamenta en la interacción de los componentes del suelo con reactivos específicos, permitiendo observar patrones que reflejan la composición y actividad biológica del suelo. La importancia de sus contribuciones radica en su enfoque holístico, que se alinea con la filosofía biodinámica, buscando no solo la productividad agrícola sino también la sostenibilidad y la salud del ecosistema (Hernández, 2021).

2.4 Principios Básicos de la cromatografía de Pfeiffer

La cromatografía de Pfeiffer se basa en principios físicos y químicos que permiten la separación de los componentes de una mezcla mediante el uso de un material absorbente (papel cromatográfico) y un solvente (fase móvil) (Ledesma, 2019).

2.4.1 Capilaridad

La capilaridad es el fenómeno físico por el cual un líquido se mueve a través de un material poroso, como el papel, sin necesidad de una fuerza externa. En la cromatografía de Pfeiffer, la capilaridad permite que el solvente ascienda por el papel, llevando consigo los componentes disueltos del suelo (Francisco, 2023).

2.4.2 Absorción e Interacción Química

Los compuestos presentes en la muestra de suelo interactúan con el reactivo impregnado en el papel cromatográfico. Estas interacciones químicas producen bandas o patrones de color que se pueden observar y analizar. Las diferencias en las velocidades de migración de las sustancias dependen de sus propiedades químicas, como la solubilidad y la afinidad con el reactivo (Augusto, 2021).

2.4.3 Separación de Componentes

A medida que el solvente se mueve a través del papel, los compuestos se separan en función de sus diferentes afinidades con la fase móvil y la fase estacionaria (el papel). Esto crea patrones únicos que reflejan la diversidad y composición de los compuestos del suelo,

tales como sales minerales, compuestos orgánicos y productos de actividad microbiana. (Solano, 2022).

2.5 Procedimiento Detallado

La cromatografía de Pfeiffer es un proceso relativamente sencillo, que puede ser realizado con recursos básicos. A continuación, se describe el procedimiento paso a paso (López, 2023).

2.5.1 Preparación de la Muestra

Se recolecta una muestra de suelo representativa, que se seca y se tamiza para eliminar piedras y residuos grandes. Una porción de la muestra se mezcla con agua destilada para crear una solución homogénea (Medina, 2022).

2.5.2 Preparación del Papel Cromatográfico

Se utiliza un papel especial, generalmente de alta calidad y porosidad, que se impregna con un reactivo específico. El reactivo cromatográfico, generalmente una solución de nitrato de plata o ácido clorhídrico diluido, es crucial para la reacción con los componentes del suelo (Vera, 2023).

2.5.3 Aplicación de la Muestra

Una gota de la solución de suelo preparada se coloca en el centro del papel cromatográfico. Se permite que el papel se seque antes de proceder a la siguiente etapa (Reinoso, 2018).

2.5.4 Desarrollo Cromatográfico

El papel con la muestra se coloca en una cámara cromatográfica con el solvente adecuado (por ejemplo, una mezcla de agua y alcohol). El solvente asciende por capilaridad, arrastrando los componentes de la muestra a diferentes alturas en el papel (Barahona, 2023).

2.5.5 Secado e Interpretación

Una vez que el solvente ha migrado completamente, el papel se retira y se deja secar. Los patrones de color que aparecen en el papel se interpretan visualmente para evaluar la calidad del suelo. Los colores y las formas de los anillos y bandas reflejan aspectos como la presencia de minerales, la materia orgánica y la actividad microbiana (Sarandón, 2021).

2.6 Ventajas y Limitaciones de la Cromatografía de Pfeiffer en el Análisis de la Calidad del Suelo

2.6.1 Ventajas

Uno de los aspectos más atractivos de la cromatografía de Pfeiffer es su simplicidad y bajo costo. A diferencia de los métodos químicos convencionales, que requieren equipos

avanzados y reactivos costosos, esta técnica utiliza materiales básicos como papel cromatográfico, reactivos comunes y cámaras simples de desarrollo. Esto hace que sea accesible para agricultores y comunidades rurales que no tienen acceso a laboratorios avanzados (Cataldi, 2020).

2.6.2 Facilidad de Interpretación Visual

La cromatografía de Pfeiffer permite una interpretación visual directa. Los patrones de color resultantes son fácilmente observables y pueden proporcionar información cualitativa sobre la salud del suelo. Por ejemplo, un patrón con anillos bien definidos y colores intensos puede indicar un suelo saludable y activo biológicamente, mientras que un patrón difuso y sin estructura puede sugerir problemas como la falta de materia orgánica o un desequilibrio en la microflora del suelo (Barrios, 2021).

2.6.3 Enfoque Holístico

Este método se alinea con la filosofía biodinámica, que considera la calidad del suelo desde un enfoque holístico, integrando aspectos físicos, químicos y biológicos. La cromatografía de Pfeiffer no solo evalúa los nutrientes del suelo, sino también su "vitalidad", lo que es crucial para una gestión sostenible. Los agricultores biodinámicos utilizan esta técnica para mantener el equilibrio ecológico y la salud general de sus suelos. (Ortiz, 2023).

2.7 Limitaciones

2.7.1 Falta de Precisión Cuantitativa

Una de las principales limitaciones de la cromatografía de Pfeiffer es su incapacidad para proporcionar datos cuantitativos precisos. No se pueden obtener valores específicos de la concentración de nutrientes, metales o compuestos orgánicos. Esto limita su uso en estudios que requieran un análisis químico detallado y preciso, como la determinación de contaminantes o el balance exacto de nutrientes (Cardoso, 2018).

2.7.2 Variabilidad en los Resultados

Los patrones cromatográficos pueden ser afectados por una serie de factores ambientales, como la humedad, la temperatura, y la calidad de los reactivos utilizados. Esta variabilidad hace que los resultados puedan ser inconsistentes si no se siguen condiciones de trabajo estrictas y estandarizadas. La técnica también depende de la experiencia del operador, ya que la interpretación de los patrones puede ser subjetiva (Restrepo, 2013).

2.7.3 Comparación con Métodos Científicos Modernos

Aunque la cromatografía de Pfeiffer es útil para un análisis cualitativo rápido, no se compara en precisión y detalle con técnicas modernas como la espectrometría de masas o la

cromatografía de gases. Estas técnicas avanzadas pueden identificar y cuantificar compuestos específicos con gran exactitud, lo que es esencial en investigaciones científicas y en el análisis de contaminantes (Zikeli, 2017).

2.8 Recomendaciones para la Implementación de la Cromatografía de Pfeiffer en Prácticas Agrícolas y de Gestión del Suelo

2.8.1 Aplicaciones Prácticas

La cromatografía de Pfeiffer puede ser implementada por agricultores para monitorear la calidad del suelo de manera continua y realizar ajustes en las prácticas agrícolas. Por ejemplo, los resultados cromatográficos pueden guiar decisiones sobre la rotación de cultivos, la aplicación de compost o la mejora de la estructura del suelo. Esta herramienta es particularmente valiosa en la agricultura orgánica y biodinámica, donde la salud del suelo es un factor determinante en la productividad (Rodríguez, 2021).

2.8.2 Mejora de la Técnica

Para mejorar la reproducibilidad y fiabilidad de la cromatografía de Pfeiffer, se recomienda desarrollar protocolos estandarizados. Esto incluye el uso de reactivos de calidad controlada, la calibración de las cámaras cromatográficas y la formación adecuada de los operadores. La creación de guías visuales detalladas podría ayudar a reducir la subjetividad en la interpretación de los patrones cromatográficos (Pavón, 2023).

2.8.3 La Calidad del Suelo en la Agricultura Sostenible

En la agricultura sostenible, la calidad del suelo es fundamental para mantener una alta productividad a largo plazo sin dañar los recursos naturales. El manejo adecuado de la calidad del suelo se relaciona con prácticas como la rotación de cultivos, el uso de compost, la reducción del uso de fertilizantes químicos y pesticidas, y la conservación de la biodiversidad del suelo (Uma, 2023)

2.9 Fundamentos químicos detrás de la cromatografía de Pfeiffer

La cromatografía de Pfeiffer se basa en las interacciones químicas entre los componentes del suelo y el reactivo cromatográfico, lo que da como resultado patrones distintivos de color y forma. Estos patrones pueden analizarse para evaluar la distribución de materia orgánica, nutrientes y otros elementos críticos que afectan la salud del suelo (Mganga 2024).

2.10 Procedimiento de la cromatografía de Pfeiffer

2.10.1 Recolección de muestras y preparación

La técnica comienza con la recolección de muestras de suelo, que se procesan disolviendo una cierta cantidad de suelo en agua destilada. Luego, la solución se combina con un reactivo cromatográfico designado y se coloca en papel de filtro (Jiménez, 2021).

2.10.2 Análisis e interpretación de resultados

Los patrones cromatográficos revelan las cualidades intrínsecas del suelo, incluida la distribución de materia orgánica, nutrientes y otras características. Los colores y formas producidos proporcionan una evaluación cualitativa de la salud del suelo (Luneia, 2023).

2.10.3 Comparación con otras técnicas analíticas

La cromatografía de Pfeiffer, a diferencia de otros métodos analíticos como la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) o la espectrometría, que son cuantitativos y necesitan aparatos especializados, es más accesible y ofrece datos cualitativos que son beneficiosos para el monitoreo de la calidad del suelo en tiempo real (Rodríguez, 2020).

2.11 Interpretación de la cromatografía

La cromatografía en papel permite percibir visualmente las interacciones específicas entre el suelo y las actividades dinámicas que tienen lugar en su interior. El cromatograma producido exhibe características específicas asociadas a cada suelo, resultantes de la composición de microorganismos, materia orgánica y nutrientes. La Figura 3 ilustra las zonas presentes en un cromatograma. La interpretación del cromatograma está determinada por los elementos que componen estas zonas, incluyendo su tamaño, colores revelados y formas. Cada cromatograma consta de cuatro zonas: una zona central, una zona interna, una zona intermedia, una zona exterior y una zona periférica, dispuestas en una secuencia de adentro hacia afuera (Villon, 2024).

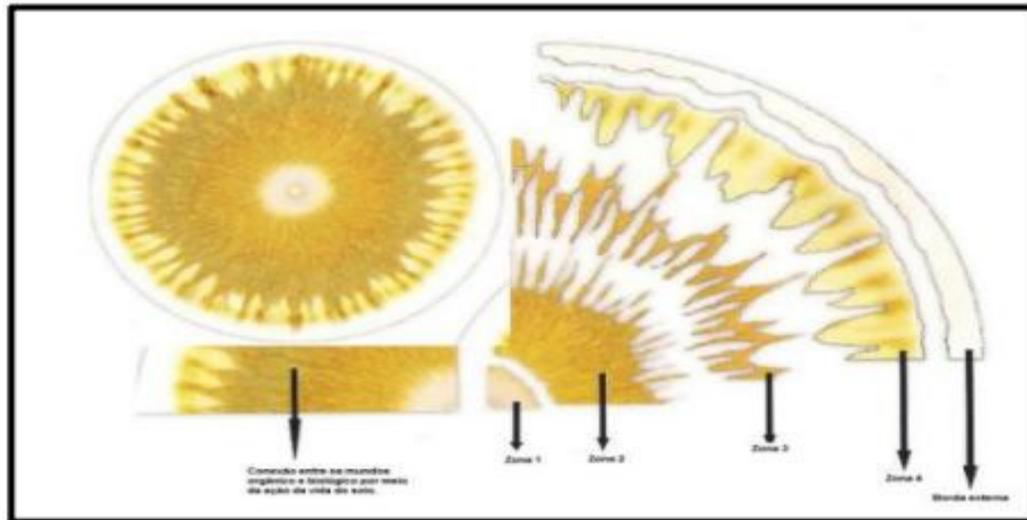


Figura 1: Identificación esquemática de las principales zonas de un cromatograma de suelo (Sari et al. 2023).

2.11.1 Zona 1

Denominada Zona Central, su categorización como zona de oxigenación y aireación corresponde a los microorganismos del suelo que descomponen la materia orgánica en humus. La ausencia de una zona núcleo en un suelo compactado se debe a la limitación de la circulación de oxígeno y la consiguiente reducción de la actividad microbiana. El tono óptimo es el blanco cremoso, que sirve como indicador de una salud favorable del suelo caracterizada por una porosidad y estructura suficientes. Los suelos densos tienen cromatogramas negros y no indican síntomas favorables; a menudo tienen un alto contenido mineral y carecen de cobertura vegetal (Vokuev, 2022).

2.11.2 Zona 2

La presencia de la zona interna o mineral se hace evidente en suelos con propiedades óptimas. El segundo anillo se denomina Zona 2 y es el responsable predominante de la ocurrencia de la mayoría de las reacciones minerales. Cuando un suelo está extensamente mineralizado y agotado, posee un tono marrón oscuro, atribuido a la falta de material orgánico y a una actividad biológica mínima. Si el color del material es crema claro (amarillo), indica integración con las otras zonas. Esta integración ocurre cuando la microbiología de la Zona 1 interactúa con los minerales de la Zona 2, dando como resultado un tono armonioso y una integración cromática (Li et al, 2023).

2.11.3 Zona 3

La presencia de la zona interna o mineral se hace evidente en suelos con propiedades óptimas. El segundo anillo se denomina Zona 2 y es el responsable predominante de la ocurrencia de la mayoría de las reacciones minerales. Cuando un suelo está extensamente mineralizado y agotado, posee un tono marrón oscuro, atribuido a la falta de material orgánico y a una actividad biológica mínima. Si el color del material es crema claro (amarillo), indica integración con las otras zonas. Esta integración ocurre cuando la microbiología de la Zona 1 interactúa con los minerales de la Zona 2, dando como resultado un tono armonioso y una integración cromática (Zhou et al, 2024).

2.11.4 Zona 4

La figura 2 muestra un cromatograma que ilustra la interacción entre sustancias orgánicas y minerales, específicamente identificada como la zona externa, enzimática o nutricional. Al observar áreas suaves o nubes onduladas, dientes y pequeñas nubes, se puede discernir que el suelo posee una calidad óptima, lo que sugiere una profusión y diversidad de nutrientes. La presencia de tonos marrones y pequeñas nubes en el extremo de los dientes indica la manifestación de variedad microbiana, lo que facilita la producción enzimática y la descomposición de MO. La presencia de armonía en las cuatro zonas distintas puede atribuirse a la posesión de suelo que exhibe circunstancias óptimas, caracterizadas por una combinación armoniosa de microorganismos y minerales, lo que facilita una alta productividad. Cuando las nubes se desprenden de los dientes, significan la presencia de nutrientes abundantes en el suelo que permanecen estables durante un período prolongado, lo cual es un atributo bastante deseable (Chen, 2024).

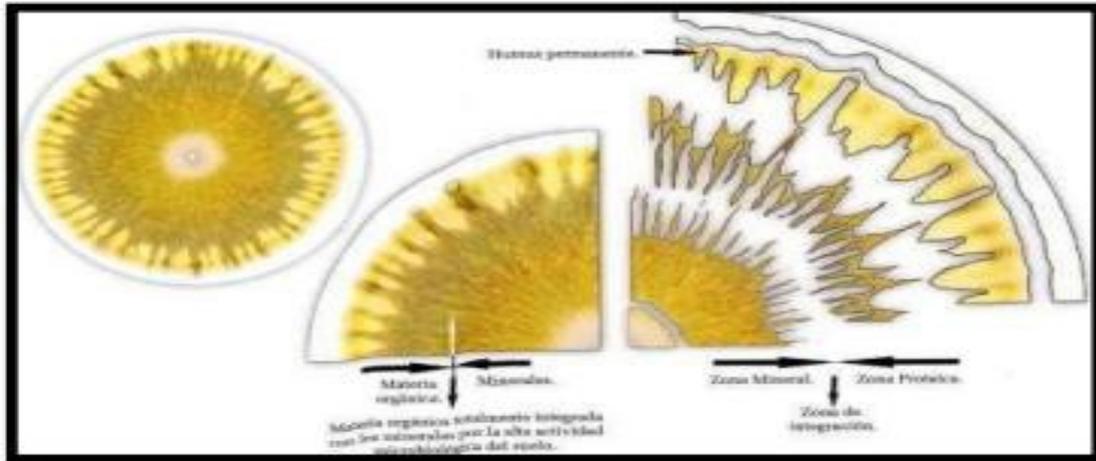


Figura 2: Interacción de la materia orgánica y minerales en un cromatograma (Sari et al. 2023).

Es necesario realizar un análisis exhaustivo de los radios y las líneas de ramificación del cromatograma para identificar cualquier indicio de suelo empobrecido o uso excesivo de agroquímicos. El análisis y la interpretación precisos de los numerosos matices que muestra cada cromatograma son cruciales para formar juicios fundamentados sobre el suelo. La salud del suelo se puede verificar con este instrumento (Sillo, 2024).

2.12 Interpretación de la cromatografía por colores

La diversidad de tonos observados en los cromas se puede atribuir a varias razones. Los suelos que presentan tonos amarillos, dorados, anaranjados, marrón claro o rojizos sugieren la presencia de un suelo fértil. Los tonos cenicientos, negros, lilas, grises o azulados sirven como indicadores de un suelo no saludable, lo que da como resultado una calidad deficiente de la materia del suelo. La figura 3 muestra las características preferidas y desfavorables de un cromatograma de suelo (Jo et al, 2022).

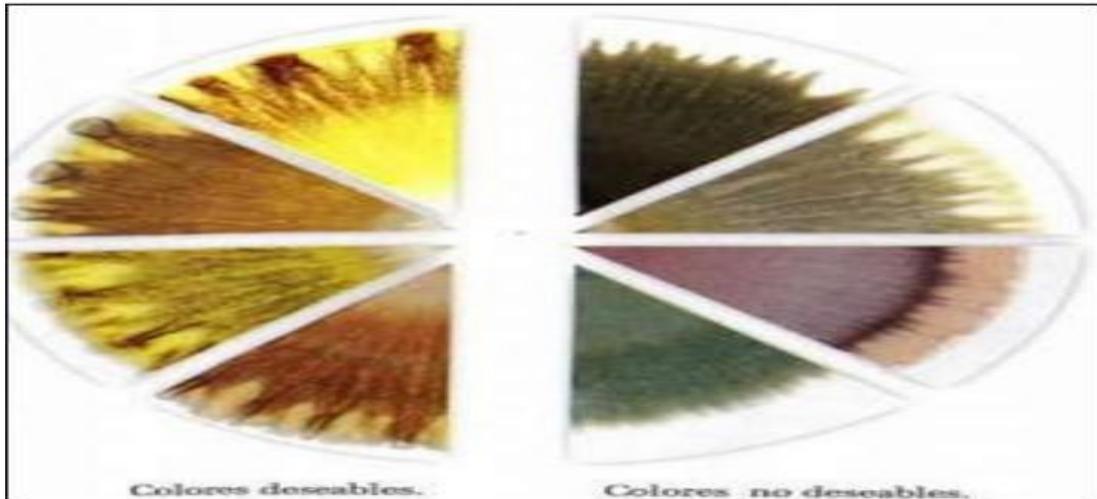


Figura 3: Tonalidades deseables y no deseables de un cromatograma de suelo (Sari et al. 2023).

Al estudiar la tonalidad de los cromas, se puede discernir la radiación que emiten. Esta radiación se caracteriza por líneas rectas que se originan en la región núcleo, así como por numerosas ramificaciones de diferentes diámetros. La existencia de muchas ramificaciones indica suelos que poseen un carácter estructural favorable o que presentan una actividad microbiana desencadenada por la integración de sustancias orgánicas. La falta de varias ramificaciones indica que el suelo se está degradando, careciendo de estructura, densificándose y sometándose al uso excesivo de agroquímicos (Kanjana, 2024).



Figura 4: Tonalidad deseable en un cromatograma de suelo (Sari et al. 2023).

2.13 Recomendaciones para la implementación de la cromatografía de Pfeiffer

2.13.1 Integración en prácticas agrícolas

La cromatografía de Pfeiffer puede incorporarse a las actividades agrícolas como instrumento de monitoreo continuo. Puede utilizarse para evaluar la calidad del suelo en cultivos rotativos, sistemas de gestión de residuos orgánicos y agricultura regenerativa (Chávez, 2020).

2.13.2 Desarrollo de protocolos de trabajo

Se necesitan técnicas estandarizadas para la recolección y análisis de muestras de suelo con cromatografía de Pfeiffer. Estos protocolos deben incluir procedimientos integrales para la preparación de muestras, la administración de reactivos y el análisis de los patrones resultantes (Rosales, 2020).

2.14 Tipos de soluciones extractantes

Existe una variedad de extractantes según la naturaleza de las soluciones. La clasificación de soluciones ácidas incluye Mehlich I, Mehlich II, Mehlich III, Bray 1 y Bray 2. Las posibles soluciones para aplicaciones básicas incluyen ISFEIO, Olsen, Olsen modificado y soluciones neutras (agua). La solución extractante ácida, Mehlich III, es realmente valiosa debido a su amplia aplicabilidad en diversos tipos de suelo. Dada su capacidad para cuantificar todos los macronutrientes y la mayoría de los micronutrientes, este extractante a menudo se considera el extractante universal (Zuo, 2023).

- **Solución Extractante Olsen Modificado:** Indicado para muestras con pH neutro-alcalino, ya que el bicarbonato facilita la disolución de los nutrientes. Sin embargo, el nivel de extracción en suelos ácidos dificulta su capacidad de éxito (Akbar 2024).
- **Suelos Extractante Mehlich III:** La extracción de cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K) en suelos con pH ácido se facilita por la acción de los nitratos de amonio y el ácido nítrico. El hierro, el cobre, el manganeso y el zinc se extraen como micronutrientes utilizando los agentes quelantes EDTA y NH₄ (Akbar, 2024).

2.15 Comparación con Otras Técnicas de Análisis de Suelo

La cromatografía de Pfeiffer se diferencia notablemente de métodos analíticos avanzados como la espectrometría de masas y la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) en varios aspectos clave. Mientras que las técnicas de espectrometría y HPLC

proporcionan datos cuantitativos precisos sobre la composición química del suelo, incluyendo concentraciones específicas de nutrientes, contaminantes y compuestos orgánicos, la cromatografía de Pfeiffer se basa en una representación visual de las propiedades del suelo (TORRES, 2017).

Este enfoque visual tiene la ventaja de facilitar una evaluación cualitativa rápida y accesible para agricultores y comunidades rurales, sin necesidad de equipos complejos ni formación técnica avanzada, Por ejemplo, los patrones de color formados en el papel cromatográfico pueden ser interpretados para inferir la salud general del suelo, la actividad biológica, y la presencia de ciertos compuestos minerales y orgánicos (Dominguez, 2022).

Sin embargo, la simplicidad de la cromatografía de Pfeiffer también viene con limitaciones. La interpretación de los resultados puede ser subjetiva, ya que depende de la experiencia del operador y de la consistencia en las condiciones ambientales durante el análisis. En contraste, métodos como la espectrometría ofrecen una precisión y reproducibilidad mucho mayores, lo que es crucial para investigaciones científicas y estudios ambientales que requieran datos exactos y cuantificables (Sérgio, 2022).

Además, las técnicas modernas como la HPLC permiten la detección y cuantificación de una amplia gama de compuestos con alta sensibilidad, algo que la cromatografía de Pfeiffer no puede proporcionar. Esto limita su uso en situaciones donde es esencial identificar y medir contaminantes específicos o analizar el equilibrio de nutrientes en detalle a pesar de estas diferencias, la cromatografía de Pfeiffer sigue siendo una herramienta valiosa en contextos agrícolas donde se prioriza la sostenibilidad y la simplicidad (Torres, 2017).

A partir de ello, se presentan las teorías que sustentan la viabilidad del proyecto, teniendo a (Cercado, 2021) menciona que la cromatografía de Pfeiffer, una técnica analítica económica y accesible, se utilizó para evaluar la salud de los suelos en la parroquia Colonche, Santa Elena, Ecuador. Se recolectaron nueve muestras de suelo (0-20 cm) y se analizaron mediante cromatogramas, que se dividieron en cuatro zonas (aireación, mineral, materia orgánica y enzimática). Se evaluó el color, espesor y relación entre zonas, así como la trama radial. Los resultados revelaron bajos niveles de materia orgánica, poca integración entre zonas (indicando posible compactación) y débil actividad biológica. Estos hallazgos se confirmaron con análisis de laboratorio. Para mejorar la calidad del suelo, se sugieren medidas como cultivos de cobertura, incorporación de residuos, rotación de cultivos y aplicación de compost.

Por otro lado, (Domingues, Boff, & Carissimi, 2022) mencionaron que la calidad de un suelo puede estimarse mediante indicadores físicos, químicos y biológicos. La cromatografía circular de Pfeiffer (CCP), basada en la biodinámica, es una técnica que analiza la calidad del suelo. La digitalización de los cromatogramas mejora la confiabilidad de la técnica y permite correlacionar las propiedades del suelo con su nivel de organización y calidad. En Brasil, las altas diluciones dinamizadas y la homeopatía están reguladas en la producción orgánica y han mostrado resultados exitosos. Este estudio evaluó los cambios en suelos tratados con altas diluciones dinamizadas utilizando estadísticas de CCP. Se analizaron muestras de suelo de Fraiburgo, SC, Brasil, y se aplicaron cuatro tratamientos: agua destilada, alcohol etílico, Calcarea carbónica 30CH y Silicea terra 30CH. Los resultados mostraron que la entropía es una variable clave en el análisis digitalizado de CCP. Los tratamientos con Calcarea carbónica 30CH y Silicea terra 30CH presentaron los valores más altos de zona media, siendo Silicea terra 30CH significativamente superior.

(Hernandez, et al., 2021) indicaron que la cromatografía de Pfeiffer es una herramienta económica y efectiva para evaluar la fertilidad de los suelos. Sin embargo, su interpretación puede ser complicada. Este estudio buscó desarrollar modelos de predicción para interpretar los cromatogramas generados por esta técnica. Se analizaron muestras de suelo de un huerto de manzano con diferentes prácticas agronómicas mediante cromatografía de Pfeiffer y análisis de laboratorio convencionales. Los resultados se correlacionaron estadísticamente para identificar los componentes del cromatograma más relevantes para estimar la fertilidad del suelo. Se establecieron patrones numéricos para predecir contenidos de nutrientes como P, K, Cu, materia orgánica y otros. Los resultados demostraron que la cromatografía de Pfeiffer puede estimar la fertilidad del suelo y que los patrones generados facilitan su interpretación.

(Mayolo, Martinez, & Rito, 2012) indican que el creciente interés en las aplicaciones de proteínas en medicina, medio ambiente y alimentación ha impulsado el desarrollo de técnicas para analizar y purificar proteínas. La cromatografía de líquidos es una herramienta versátil y ampliamente utilizada para este fin. Esta técnica se basa en la interacción entre los solutos disueltos en una fase móvil y una fase estacionaria bajo condiciones específicas. Según la naturaleza química de la fase y el tipo de interacciones, existen diferentes técnicas cromatográficas. Este artículo revisa los principios básicos y características de los métodos cromatográficos más comunes para analizar proteínas, como: Exclusión, Intercambio iónico, Interacción hidrofóbica y Fase reversa. También se presentan aplicaciones de estas técnicas

para estudiar: Cambios conformacionales, Estabilidad y Plegamiento de proteínas. Estas áreas han generado gran interés en la comunidad científica en la última década.

(Tumbaco, 2021), en su estudio evaluó las características cuantitativas de suelos en Manglaralto y Río Verde, comparándolas con resultados de laboratorio, con el objetivo de proponer medidas para mejorar la calidad del suelo. Se analizaron ocho muestras de suelo utilizadas para cultivos de maíz y pimiento. Los cromatogramas se dividieron en cuatro zonas: central, interna, intermedia y externa, que reflejan la estructura del suelo, presencia de minerales, materia orgánica y microorganismos. Se enfocó en la zona intermedia, relacionando el color (estandarizado con la tabla de Munsell) con el porcentaje de materia orgánica. Los resultados mostraron diferencias cualitativas en la integración de la zona intermedia y una relación entre la integración y el porcentaje de materia orgánica, excepto en suelos degradados, posiblemente debido al mal manejo de químicos agrícolas y maquinarias pesadas. Concluyendo que las medidas de prevención propuestas: rotación de cultivos, aumento de cobertura y uso de compost.

CONCLUSIONES

El estudio de la literatura demostró que la cromatografía de Pfeiffer se basa en los conceptos de separación química y la visualización de patrones cromatográficos, que indican las características biológicas y químicas del suelo. Este enfoque se distingue por su accesibilidad y asequibilidad en relación con los procedimientos analíticos convencionales, ofreciendo a los usuarios, particularmente en las regiones rurales, un medio eficaz para evaluar cualitativamente la salud del suelo. La elucidación integral del proceso y sus principios fundamentales subraya su uso para el monitoreo agrícola, aunque su interpretación requiere una comprensión de los patrones y matices distintivos.

Los hallazgos de la evaluación indican que la cromatografía de Pfeiffer tiene varios beneficios, entre ellos, la asequibilidad, la simplicidad de ejecución y la capacidad de proporcionar datos visuales instantáneos sobre las condiciones del suelo. No obstante, también se reconocieron muchas limitaciones, incluida la dependencia de variables ambientales y la subjetividad en la interpretación de los cromatogramas. Si bien el enfoque sirve como un excelente instrumento cualitativo y preliminar, su precisión y detalle no reemplazan los estudios químicos cuantitativos y deben complementarse con otras técnicas para un diagnóstico integral.

La literatura examinada demostró el potencial de la cromatografía de Pfeiffer como un instrumento cualitativo que ofrece a los agricultores información sobre la salud del suelo, fomentando así prácticas agrícolas sostenibles. Los datos derivados de los cromatogramas pueden influir en las decisiones sobre el manejo y la fertilización del suelo, fomentando un enfoque agrícola que minimice la dependencia de insumos externos y enfatice la calidad del suelo. La eficacia de esta técnica en la agricultura subraya su utilidad como un recurso práctico para prácticas sostenibles, sin embargo, su adopción requiere una capacitación fundamental para una interpretación adecuada y beneficiosa.

RECOMENDACIONES

Es fundamental realizar seminarios y sesiones de capacitación para educar a los agricultores sobre la lectura y comprensión de los cromatogramas producidos por la cromatografía de Pfeiffer. Esto permitirá a los agricultores utilizar la tecnología de forma independiente y eficiente, optimizando las ventajas del monitoreo de la salud del suelo para mejorar las prácticas agrícolas y la sostenibilidad.

Dado que la cromatografía de Pfeiffer proporciona una perspectiva cualitativa, es prudente depender del análisis químico de laboratorio para una evaluación cuantitativa más completa en escenarios que lo requieran, como los suelos designados para una producción de alto rendimiento. Esta amalgama permitiría a los agricultores y técnicos obtener una comprensión holística de la calidad del suelo y la accesibilidad a los nutrientes.

Para garantizar la coherencia y precisión de los hallazgos de la cromatografía de Pfeiffer, es prudente crear métodos precisos que tengan en cuenta variables como la temperatura, la humedad y el tipo de suelo. Estas recomendaciones mejorarán el uso del enfoque en diversos entornos agrícolas, asegurando que los hallazgos obtenidos representen con mayor precisión la verdadera condición del suelo y promuevan la adopción de técnicas de gestión personalizadas y sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cercado, E. (2021). *Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de Pfeiffer*. Tesis. Retrieved from
- Domingues, s., Boff, P., & Carissimi, M. (2022). Cromatografía circular Pfeiffer en suelo tratado con altas diluciones dinamizadas. *SciELO*, 13(7), 1183-1194. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3172>
- Hernandez, A., Ochoa, B., Ojeda, D., Jimenez, J., Sanchez, R., Rodrigurz, M., & Sanchez, E. (2021). Patterns for estimating soil fertility using Pfeiffer's chromatography technique. *SciELO*, 39, 1-12. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.844>
- Mayolo, K., Martinez, L., & Rito, M. (2012). TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS Y SU APLICACIÓN A ESTUDIOS DE CAMBIOS CONFORMACIONALES, ESTABILIDAD Y REPLEGAMIENTO DE PROTEÍNAS. *Redalyc*, 11(3), 415-429. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62026894006>
- Medina 2022 *Análisis de la calidad de suelos tratados con biol en el campus experimental académico* Universidad Técnica De Cotopaxi.
- Reinoso 2018 *Análisis de la calidad ambiental del suelo de la plantación de palma africana en la parroquia San Carlos, cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Uma 2023 *Cromatografía de Suelos y su relevancia en la Agroecología*
- Vance 2022 *Pfeiffer's biodynamic farming and gardening: Soil fertility and plant health*. Anthroposophic Press.
- Abi-Saab R, 2022, *Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo orgánico la Estacia, Madrid, Cundinamarca 2012. Utilizando indicadores de Calidad de Suelos – PhD thesis, Pontificia Universidad Javeriana.*
- Aguilar C, 2021, *Evaluación de la calidad del suelo agrícola mediante las características químicas en la finca Aguilar, provincia El Oro – PhD thesis, Universidad Agraria Del Ecuador.*
- Aguirre B, 2022, *Indicadores de calidad del suelo en tres zonas de producción del cultivo de cacao (theobroma cacao L.) – PhD thesis, Universidad Técnica Estatal De Quevedo.*

- Akbar, W.A., Rahim, H.U. & Rutigliano, F.A., 2024, 'Microbial- and seaweed-based biopolymers: Sources, extractions and implications for soil quality improvement and environmental sustainability - A review', *Journal of Environmental Management*, 359, 120964.
- Altamirano E, 2019, *Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca Jun-Jun* – PhD thesis, Universidad Técnica De Ambato.
- Altamirano H, 2020, *Calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018* – PhD thesis. Universidad Técnica De Ambato
- Bambina, P., Vitaggio, C., Pollon, M., Papa, G. Lo, Conte, P., Cinquanta, L. & Corona, O., 2024, 'Soil effect on phenolic and volatile composition of Nero d'Avola red wines as revealed by a chromatography-based targeted metabolomic approach', *Journal of Food Composition and Analysis*, 131, 106278.
- Cercado E, 2021, *Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de Pfeiffer* – PhD thesis, Universidad estatal península de Santa Elena.
- Chen, H., Liu, X., Xiao, Q., Wu, L., Cheng, M., Wang, H., Wang, X., Hu, D., Sun, Z. & Ma, X., 2024, 'Optimizing Split-reduced drip fertigation schemes of Arabica coffee based on soil microcosms, bean yield, quality and flavor in dry-hot region of southwest China', *Scientia Horticulturae*, 336, 113418.
- Dvorakova, D., Tsagkaris, A.S. & Pulkrabova, J., 2024, 'Novel strategies for the determination of plastic additives derived from agricultural plastics in soil using ultrahigh-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS)', *Science of The Total Environment*, 946, 174492.
- Elizabeth, M. & Montero, P., 2018, *determinación de la calidad agrícola de los suelos en la zona del proyecto propósito múltiple chone fase ii* – PhD thesis, Escuela Politécnica Nacional.
- Fajardo K, 2019, 'mapeo y análisis de calidad física y química de los suelos agrícolas de la universidad nacional agraria la molina aplicando herramientas sig' – PhD thesis, *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Gabriela, P., Vera, R., Marjorie, I. & Díaz López, C., 2023, *Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos de la*

- parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja.* – PhD thesis, Universidad Nacional de Loja.
- He, H., Meng, P., Chen, J., Qiu, Y., Cao, Y., Lv, Q., Zhang, Y. & Zhang, H., 2024, ‘Effects of soil bulk density on respiratory metabolism and medicinal quality of *Rehmannia Glutinosa* root’, *Industrial Crops and Products*, 216, 118796.
- Iñiguez D, 2023, *Evaluación cualitativa del estado del suelo mediante cromatografía en un sistema de producción convencional y agroecológico en el sector norte de la ciudad de Loja* – PhD thesis, Universidad Nacional de Loja.
- Jo, J., Son, Y., Lee, J.Y., Lee, D., Shin, J.H. & Ahn, Y.G., 2022, ‘Gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry as a cost-effective method for the determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans in contaminated soils’, *Chemosphere*, 308, 136286.
- Kanjana, N., Ahmed, M.A., Shen, Z., Li, Y. & Zhang, L., 2024, ‘Optimization of the determination of volatile organic compounds in plant tissue and soil samples: Untargeted metabolomics of main active compounds’, *MethodsX*, 13, 102914.
- Kashijint R, 2018, *Determinación de la calidad de suelo mediante la caracterización física, química y biológica, para proponer un plan de buenas prácticas agroecológicas en la comunidad las palmas de la parroquia Veracruz* – PhD thesis, Universidad Nacional de Loja, Carrera de ingeniería en manejo y conservación del medio ambiente.
- Li, H., Gong, W., Lv, W., Wang, Y., Dong, W. & Lu, A., 2023, ‘Target and suspect screening of pesticide residues in soil samples from peach orchards using liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry’, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 253, 114664.
- Li, H., Jiang, D., Wang, Y., Liu, J. & Jiang, K., 2024, ‘Convenient determination of polystyrene microplastics in soils by gel permeation chromatography-ultraviolet detection analysis’, *Journal of Hazardous Materials*, 476, 135127.
- Martínez K, 2018, ‘*evaluación de la calidad del suelo de la finca palmicultora las palmeras, cantón la concordia*’ – PhD thesis, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- McDowell, R.W., McNeill, S.J., Drewry, J.J., Law, R. & Stevenson, B., 2024, ‘Difficulties in using land use pressure and soil quality indicators to predict water quality’, *Science of The Total Environment*, 935, 173445.

- Medina K, 2022, *Análisis de la calidad de suelos tratados con biol en el campus experimental académico (CEASA) periodo 2022* – PhD thesis, Universidad Técnica De Cotopaxi.
- Mganga, K.Z., Rolando, J., Kalu, S. & Karhu, K., 2024, ‘Microbial soil quality indicators depending on land use and soil type in a semi-arid dryland in Kenya’, *European Journal of Soil Biology*, 121, 103626.
- Mohd Rosdi, N.A.N.B., Abdul Halim, N.I.H., Sashidharan, J.A., Abd Hamid, N., Abdul Halim, A., Sino, H. & Lee, L.C., 2024, ‘Land-use classification of Malaysian soils by ultra-high performance liquid chromatography (UHPLC)-based untargeted data combined with chemometrics for forensic provenance’, *Microchemical Journal*, 199, 110030.
- Nisa, K., Sufardi, S., Rusdi, M. & Indra, I., 2024, ‘Soil quality index and patchouli yields on various cropping systems in Aceh province, Indonesia: Case study in Aceh Barat Regency’, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100798.
- Pinos D, 2022, *Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos del suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación protectores de Sunsun-Yanasacha* – PhD thesis, Universidad Politécnica Salesiana.
- Reinoso J, 2018, *Análisis de la calidad ambiental del suelo de la plantación de palma africana (Elaeis guineensis) en la parroquia San Carlos, cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana* – PhD thesis, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Sari, R., Juho, V., Katri, S. & Jaana, U.K., 2023, ‘Determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid residues in Finnish soils by ultra-high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry’, *MethodsX*, 11, 102397.
- Seguiche R, 2022, *Análisis de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector I del sitio Sancán del cantón Jipijapa* – PhD thesis, Universidad Estatal Del Sur De Manabí.
- Sillo, F., Neri, L., Calvo, A., Zampieri, E., Petruzzelli, G., Ferraris, I., Delledonne, M., Zaldei, A., Gioli, B., Baraldi, R. & Balestrini, R., 2024, ‘Correlation between microbial communities and volatile organic compounds in an urban soil provides clues on soil quality towards sustainability of city flowerbeds’, *Heliyon*, 10(1), e23594.
- Šimkovic, I., Dlapa, P. & Schwarzingger, C., 2023, ‘Elucidating the composition of organic matter in water-repellent forest soils using analytical pyrolysis combined with gas

- chromatography–mass spectrometry (Py-GC–MS)’, *Organic Geochemistry*, 179, 104586.
- Vokuev, M., Baygildiev, T., Braun, A., Frolova, A., Rybalchenko, I. & Rodin, I., 2022, ‘Monitoring of hydrolysis products of organophosphorus nerve agents in plant material and soil by liquid chromatography-tandem mass spectrometry’, *Journal of Chromatography A*, 1685, 463604.
- Zhao, N., Wang, X., Ma, J., Li, X., Cao, J., Zhou, J., Wu, L., Zhao, P. & Cao, W., 2024, ‘Co-incorporating green manure and crop straw increases crop productivity and improves soil quality with low greenhouse-gas emissions in a crop rotation’, *The Crop Journal*.
- Zhou, W., Chen, J., Zhou, R., Xiao, J., Li, Y., Ren, Y. & Li, B., 2024, ‘Evaluation of Iron Chlorin e6 disappearance and hydrolysis in soil and garlic using salting-out assisted liquid-liquid extraction coupled with high-performance liquid chromatography and ultraviolet-visible detection’, *Food Chemistry*, 447, 138960.
- Zuo, W., Wu, Z., Xiong, H., Zhou, H., Wang, C. & Li, J., 2023, ‘Simultaneous determination of the nematicide fluensulfone and its two major metabolites in soils by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry’, *Journal of Chromatography A*, 1702, 464096.