

Análisis de los suelos mediante la cromatografía de Pfeiffer como herramienta para mejorar la producción de café orgánico en las fincas “el Recuerdo” y “Alto del Santuario” de la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe, Santander.

Juan Diego Ardila Gómez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Administración Agroindustrial

Director

Tulio Esteban Lozano Vesga

Profesional en Producción Agroindustrial

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a distancia IPRED

Bucaramanga

2026

Agradecimientos

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría para seguir adelante en cada etapa de este proceso, incluso cuando el camino se hizo difícil.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por creer en mí y acompañarme con paciencia, consejos y amor en todo momento. En especial a mis padres, que con su ejemplo de trabajo y esfuerzo me enseñaron el valor de la tierra y el compromiso con lo que uno siembra.

A mis tutores y docentes, por sus orientaciones, por compartir su conocimiento con humildad y por guiarme en la aplicación de la técnica cromatográfica de Pfeiffer, que me permitió ver el suelo no solo como un recurso, sino como un ser vivo que nos sostiene.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a este trabajo.

Cada palabra, cada idea y cada gesto de apoyo fueron semillas que germinaron en este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Planteamiento del Problema	17
1.1 Pregunta Problema	18
1.2 Supuesto	18
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. Justificación	20
4. Marco de Referencia	22
4.1 Marco Contextual.....	22
4.2 Marco Conceptual.....	23
4.3 Marco Teórico	25
4.4 Tareas en Campo.....	27
4.5 Tareas y Análisis en Laboratorio.....	29
4.6 Interpretación de los Cromatogramas	33
4.7 Descripción de las Zonas de un Cromatograma	34
4.8 Coloración de los Cromatogramas.....	36
5. Metodología de la Investigación.....	40
5.1 Enfoque de la Investigación.....	40
5.2 Tipo de Estudio.	40
5.3 Diseño de la Investigación	40
5.4 Población y Muestra	41
5.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	41
5.6 Análisis e Interpretación de Resultados	41
5.7 Informe Detallado de los Procedimientos Aplicados Durante las Tareas de Campo y de Laboratorio.....	42
5.8 Cromatogramas y Análisis Interpretativo de las Fincas el Recuerdo y Alto del Santuario.....	46
5.8.1 Muestra #1: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 100 ml de NaOH.....	47

5.8.2	Muestra #2: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 50 ml de NaOH.....	48
5.8.3	Muestra #2: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 150 ml de NaOH.....	48
5.8.4	Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 100 ml de NaOH	50
5.8.5	Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH	51
5.8.6	Muestra #4: Suelo de la Finca Alto del Santuario Disuelto en 50 ml de NaOH.....	52
5.8.7	Muestra #4: Suelo de la Finca Alto del Santuario Disuelto en 150 ml de NaOH.....	52
5.9	Análisis Interpretativo de los Cromatogramas de las Fincas el Recuerdo y Alto del Santuario	53
5.10	Tabla comparativa relaciona a la interpretación de los cromatogramas	54
5.11	Resumen de los Resultados de los Análisis físico-químico del laboratorio (Asequimagro).....	55
5.11.1	Resultados Resumidos del Análisis de Suelo en la Finca El Recuerdo	56
5.11.2	Resultados Resumidos del Análisis de Suelo en la Finca Alto del Santuario	57
5.11.3	Comparativo General de los Resultados de Suelo entre las Fincas El Recuerdo y Alto del Santuario	58
5.12	Plan de Mejora con Base a los Resultados Obtenidos	59
5.13	Estrategias Agroecológicas para la Recuperación y Manejo del Suelo	60
5.13.1	Mejorar el pH sin Afectar la Biología del Suelo.....	60
5.13.2	Fortalecer la Materia Orgánica y la Vida del Suelo	61
5.13.3	Reactivar la Actividad Biológica	61
5.13.4	Mejorar el Balance de Minerales	61
5.13.5	Monitorear y Evaluar el Proceso.....	62
5.14	Resultados Esperados.....	62
6.	Conclusiones.....	63
7.	Recomendaciones	65
	Referencias Bibliográficas	67
	Apéndices.....	68

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Tabla comparativa de la interpretación de los cromas.....	54
Tabla 2. Resumen de los análisis físico-químico finca el Recuerdo	56
Tabla 3. Resumen de los análisis físico-químico finca Alto del Santuario	57
Tabla 4. Comparativo general de los resultados de suelo entre las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario	58
Tabla 5. Ficha de registro de campo.....	68
Tabla 6. Análisis físico químico finca el Recuerdo.....	75
Tabla 7. Relación de Cationes finca el Recuerdo según análisis físico químico	76
Tabla 8. Recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo.....	77
Tabla 9. Recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo.....	77
Tabla 10. Análisis físico químico finca Alto del Santuario.....	78
Tabla 11. Relación de cationes suelos alto del Santuario según análisis físico químico	79
Tabla 12. Recomendaciones para los suelos de Alto del Santuario por parte del Ingeniero agrónomo	80
Tabla 13. Recomendaciones para los suelos de Alto del Santuario por parte del Ingeniero agrónomo	80
Tabla 14. Plan de mejora y seguimiento del suelo. Observación del cambio cromático a lo largo del proceso	81

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica fincas el recuerdo y Alto del Santuario	23
Figura 2. Zonas que conforman un Cromatograma	34
Figura 3. Colores de un cromatograma.....	37
Figura 4. Sistema radial de un cromatograma.....	38
Figura 5. Terminaciones de un cromatograma	39
Figura 6. Reconocimiento previo, toma de muestras.....	42
Figura 7. Toma de la muestra.....	43
Figura 8. Secado y tamizado	44
Figura 9. Preparación de las muestras en NaOH.....	45
Figura 10. Preparación del papel filtro.....	45
Figura 11. Muestra #1: suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 100 ml de NaOH	46
Figura 12. Muestra #2: Suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 50 ml de NaOH	47
Figura 13. Muestra #2: suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 150 ml de NaOH	48
Figura 14. Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 100 ml de NaOH	49
Figura 15. Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH	50
Figura 16. Muestra #4: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 50 ml de NaOH	51
Figura 17. Muestra #4: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH	52
Figura 18. Paso 1 reconocimiento lugares toma de muestra.....	69
Figura 19. Paso 2 muestreo del suelo.....	69
Figura 20. Paso 2 muestreo del suelo.....	70
Figura 21. Paso 3 y 4 rotulado y secado de las muestras	70

Figura 22. Paso 5 tamizado	70
Figura 23. Paso 6 molienda.....	71
Figura 24. Paso 7 pesaje de los 5 gr	71
Figura 25. Paso 7 conservación de contramuestra	72
Figura 26. Etapa 1 preparación de hidróxido de sodio (NaOH) al 1%	72
Figura 27. Etapa 2 preparación de solución de nitrato de plata (AgNO) al 0,5%.....	73

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Registro fotográfico de tareas de campo	68
Apéndice B. Registro fotográfico, tareas de laboratorio	72
Apéndice C. Resultados de análisis de laboratorio	75
Apéndice D. Plan de mejora del suelo y seguimiento agroecológico	81

Glosario

Abono orgánico: Sustancia natural obtenida por descomposición de materiales vegetales o animales, utilizada para mejorar la fertilidad del suelo y aportar nutrientes de manera sostenible.

Actividad biológica: Conjunto de procesos realizados por los microorganismos del suelo (bacterias, hongos, actinomicetos y lombrices) que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y a la formación del humus.

Agroecología: Enfoque integral que combina principios ecológicos, económicos y sociales para lograr una agricultura sostenible, respetando los ciclos naturales y la biodiversidad.

Bocashi: Abono fermentado de origen japonés elaborado con materiales locales como estiércol, salvado, ceniza, melaza y microorganismos eficientes, que mejora la estructura y vida del suelo.

Café orgánico: Café producido sin el uso de fertilizantes ni pesticidas químicos, mediante prácticas que conservan la salud del suelo, la biodiversidad y la calidad del grano.

Cal dolomítica: Enmienda natural compuesta por carbonato de calcio y magnesio, utilizada para corregir la acidez del suelo y mejorar su estructura de forma gradual y controlada.

CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico): Medida de la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes como calcio, magnesio y potasio, fundamentales para la nutrición de las plantas.

Cromatografía de Pfeiffer: Método cualitativo visual que permite evaluar la calidad del suelo a través de imágenes circulares denominadas cromatogramas, donde los colores y las formas reflejan su equilibrio mineral, orgánico y biológico.

Cromatograma: Figura circular obtenida al aplicar la técnica cromatográfica de Pfeiffer, en la cual se observan diferentes zonas y colores que representan el estado físico, químico y biológico del suelo.

Fertilidad del suelo: Capacidad del suelo para suministrar los nutrientes y condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas.

Humus: Materia orgánica completamente descompuesta que mejora la estructura, retención de agua y capacidad biológica del suelo.

Materia orgánica: Fracción del suelo compuesta por restos de plantas y animales en descomposición; fundamental para mantener la fertilidad y la actividad microbiana.

Microorganismos eficientes (EM): Mezcla de bacterias, levaduras y hongos benéficos que aceleran la descomposición de la materia orgánica, estimulan la vida del suelo y fortalecen las plantas.

pH: Indicador que mide la acidez o alcalinidad del suelo. Los suelos con pH entre 5,5 y 6,5 se consideran adecuados para el cultivo del café.

Sostenibilidad: Principio que busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y el equilibrio ecológico de las generaciones futuras.

Textura del suelo: Proporción de arena, limo y arcilla que determina la estructura, la aireación, la retención de agua y la facilidad para el desarrollo radicular.

Vida del suelo: Conjunto de organismos que habitan en el suelo (microorganismos, insectos, lombrices, raíces, etc.) y que participan en los procesos de reciclaje y equilibrio ecológico.

Resumen

Título: Análisis de los suelos mediante la cromatografía de Pfeiffer como herramienta para mejorar la producción de café orgánico en las fincas “el Recuerdo” y “Alto del Santuario” de la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe, Santander*

Autor: Juan Diego Ardila Gómez**

Palabras clave: Cromatografía de Pfeiffer, suelo, agroecología, café orgánico, fertilidad, sostenibilidad.

Descripción: El presente proyecto de investigación se desarrolló en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*, ubicadas en la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe, Santander, con el propósito de analizar el estado de los suelos mediante la cromatografía de Pfeiffer como herramienta de diagnóstico para mejorar su manejo y fortalecer la producción de café orgánico. Se aplicaron análisis convencionales de laboratorio y la técnica cromatográfica para evaluar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, identificando su grado de fertilidad, estructura y actividad biológica. Los resultados mostraron que los suelos presentan acidez elevada, bajo contenido de materia orgánica y deficiencia de nutrientes, pero conservan buena aireación y una vida microbiana activa, lo cual indica potencial de recuperación.

A partir de estos hallazgos se formuló un plan de mejora continua y agroecológica, basado en la aplicación de abonos orgánicos, microorganismos eficientes, cobertura vegetal, y la reducción progresiva del uso de agroquímicos, buscando subir el pH y mejorar la fertilidad sin alterar el equilibrio del ecosistema.

La investigación reafirma que la cromatografía de Pfeiffer es una herramienta práctica y visual que complementa los métodos de laboratorio, permitiendo una lectura integral del suelo como organismo vivo y promoviendo la observación consciente y la sostenibilidad en los sistemas cafeteros.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Administración Agroindustrial. Escuela: Instituto de Proyección Regional y Educación a distancia IPRED. Director: Tulio Esteban Lozano Vesga. Profesional en Producción Agroindustrial

Abstract

Title: Soil Analysis through Pfeiffer Chromatography as a Tool to Improve Organic Coffee Production on the Farms “El Recuerdo” and “Alto del Santuario” in the Quitasol Village, Municipality of Guadalupe, Santander*

Author: Juan Diego Ardila Gómez**

Keywords: Pfeiffer Chromatography, soil, agroecology, organic coffee, fertility, sustainability

Description: This research project was carried out on the farms *El Recuerdo* and *Alto del Santuario*, located in the Quitasol village in the municipality of Guadalupe, Santander, with the purpose of analyzing the condition of the soils through Pfeiffer chromatography as a diagnostic tool to improve soil management and strengthen organic coffee production. Conventional laboratory analyses and the chromatographic technique were applied to evaluate the physical, chemical, and biological characteristics of the soil, identifying its level of fertility, structure, and biological activity.

The results showed that the soils present high acidity, low organic matter content, and nutrient deficiencies, but they preserve good aeration and active microbial life, which indicates recovery potential.

Based on these findings, a continuous and agroecological improvement plan was designed, focused on the application of organic fertilizers, efficient microorganisms, plant cover, and the progressive reduction of agrochemical use, seeking to increase pH and improve fertility without altering the ecosystem balance.

The research confirms that Pfeiffer chromatography is a practical and visual tool that complements laboratory methods, enabling a comprehensive reading of the soil as a living organism and promoting conscious observation and sustainability in coffee-growing systems.

* Degree Work

** Faculty of Agroindustrial Administration. School: Institute of Regional Outreach and Distance Education (IPRED). Director: Tulio Esteban Lozano Vesga. Professional in Agroindustrial Production.

Introducción

El suelo es el recurso vital que sustenta la producción alimentaria, aportando los nutrientes, el agua y el ambiente adecuado para el desarrollo de las plantas. Según la FAO (2015), aproximadamente el 95 % de nuestros alimentos dependen directa o indirectamente de la calidad del suelo. Los suelos sanos suministran los nutrientes esenciales, agua, oxígeno y el soporte para las raíces que nuestras plantas productoras de alimentos necesitan para crecer y prosperar. Los suelos también sirven como protección para las delicadas raíces de las plantas frente a las fuertes fluctuaciones de temperatura (FAO 2015).

Dado que el suelo es la base fundamental que permite la producción de alimentos y garantiza el crecimiento saludable de las plantas, resulta esencial adoptar métodos de cultivo que aseguren su conservación y vitalidad a lo largo del tiempo. Según la FAO (2015), En este contexto, la transición hacia la agricultura orgánica se presenta como una estrategia coherente, ya que promueve prácticas que mantienen la fertilidad del suelo sin recurrir a insumos químicos y, al mismo tiempo, responden a las demandas de un mercado cada vez más comprometido con la sostenibilidad ambiental.

La acelerada expansión agrícola de las últimas décadas, si bien ha incrementado la superficie cultivable en la región, ha generado una serie de impactos negativos en el medio ambiente, como la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la deforestación. Según la organización de Naciones Unidas esta acelerada expansión agrícola es la causa de cerca del 90% de la deforestación a nivel mundial. (COP26), Esta situación pone de relieve la urgencia de adoptar prácticas de manejo sostenible que integren las recomendaciones de la FAO, tales como aumentar la cobertura vegetal, enriquecer el suelo con materia orgánica y mejorar la infiltración y retención de humedad. De esta manera, se puede contrarrestar el deterioro de este recurso vital y no

renovable, asegurando su capacidad de regeneración y protegiendo la seguridad alimentaria presente y futura en América Latina y el Caribe.

En la actualidad, la agricultura orgánica se presenta como una alternativa viable y necesaria frente a los modelos agrícolas convencionales, que suelen depender intensamente del uso de agroquímicos para incrementar la productividad (FAO, 2002). En particular, la producción de café orgánico ha tomado relevancia debido a su enfoque en la sostenibilidad ambiental, la preservación de la biodiversidad y el interés de los consumidores por productos que respeten el medio ambiente. La región de Santander, en Colombia, es conocida por su tradición cafetera y la calidad de su café. Sin embargo, los productores enfrentan desafíos específicos al optar por prácticas de cultivo orgánicas que permitan mantener la fertilidad del suelo sin recurrir a fertilizantes químicos.

En un contexto en el que la diversidad de técnicas y enfoques para la conservación del suelo acompaña la amplia gama de sistemas de producción agrícola en todo el mundo, la cromatografía cualitativa se destaca como una herramienta innovadora y accesible. Este método físico, basado en el principio de retención selectiva (Restrepo & Pinheiro, 2011), permite separar mezclas complejas para identificar, caracterizar y medir sus componentes, lo que lo convierte en una técnica versátil aplicable en distintas ramas de la ciencia (Restrepo & Pinheiro, 2011). Su aplicación en agroecología es particularmente relevante, ya que posibilita evaluar parámetros esenciales en suelos, abonos orgánicos y humus, como la vida del suelo, la relación entre minerales, la actividad microbiológica, la cantidad de materia orgánica, los procesos de humificación, el contenido de carbono, así como el equilibrio o desequilibrios existentes y la presencia de residuos tóxicos (Santana, 2018a). De este modo, la cromatografía cualitativa se erige como una herramienta indispensable para el manejo y conservación sostenible del suelo,

contribuyendo a optimizar las prácticas agrícolas y a promover un entorno más equilibrado y resiliente.

Las fincas "El Recuerdo" y "Alto del Santuario" en la vereda Quitasol, municipio de Guadalupe, se dedican a la producción de café orgánico, lo cual representa una oportunidad de mercado y un compromiso con la sostenibilidad. El éxito de esta producción depende de la salud del suelo, ya que no se utilizan fertilizantes ni pesticidas sintéticos. Por ello, el manejo del suelo es crucial para obtener los nutrientes necesarios de manera natural. Estas fincas enfrentan desafíos en la gestión del suelo para mantener una producción de café de alta calidad y con características orgánicas que cumplan con las demandas del mercado.

Las fincas "El Recuerdo" y "Alto del Santuario" necesitan implementar prácticas para restaurar la salud del suelo, siguiendo los principios de la agricultura orgánica y la agroecología. La cromatografía de Pfeiffer es una herramienta innovadora para evaluar el estado del suelo en sistemas orgánicos, proporcionando un diagnóstico visual de la actividad biológica, mineral y orgánica. Esta técnica permite a los propietarios observar la interacción entre microorganismos, minerales y materia orgánica, ofreciendo una comprensión integral del suelo, a diferencia de los análisis convencionales que se centran solo en el contenido físico químico. (Restrepo & Pinheiro, 2011).

La implementación de la cromatografía de Pfeiffer en este contexto ofrece varias ventajas (Restrepo & Pinheiro, 2011). En primer lugar, proporciona a los propietarios una herramienta fácil y relativamente económica para analizar el suelo de sus fincas sin depender exclusivamente de laboratorios externos. En segundo lugar, esta técnica facilita una evaluación visual que puede interpretarse y aplicarse directamente en el campo, promoviendo un enfoque de manejo agroecológico del suelo que es compatible con la filosofía de la agricultura orgánica. Finalmente,

el uso de la cromatografía en la evaluación del suelo no solo permite diagnosticar problemas actuales, sino que también ayuda a prever posibles deterioros en la salud del suelo, permitiendo implementar prácticas preventivas y correctivas en el manejo y uso eficiente de los suelos en el cultivo de café. (Restrepo & Pinheiro, 2011).

1. Planteamiento del Problema

El uso de la cromatografía de Pfeiffer como herramienta de análisis en esta investigación representa una alternativa innovadora para el diagnóstico integral del suelo, especialmente relevante en sistemas de producción orgánica. Esta técnica, originada en la agricultura biodinámica, permite interpretar la vitalidad del suelo a través de la observación de patrones cromáticos que reflejan su equilibrio mineral, biológico y orgánico, ofreciendo así una visión holística de su estado y funcionalidad ecológica.

En los sistemas de producción de café del municipio de Guadalupe, Santander, algunos productores han manifestado preocupaciones relacionadas con la disminución de la fertilidad y vitalidad de sus suelos, lo cual podría estar afectando el desarrollo del cultivo. Estas percepciones reflejan la necesidad de realizar un diagnóstico integral que permita conocer con mayor precisión las condiciones actuales del suelo y orientar estrategias de mejoramiento agroecológico.

Los métodos de análisis químico convencionales, aunque ampliamente utilizados, resultan costosos, demandan infraestructura técnica especializada y no siempre reflejan la complejidad viva del suelo. En consecuencia, los pequeños caficultores enfrentan limitaciones para acceder a diagnósticos integrales que orienten decisiones adecuadas de manejo y conservación. En este contexto, la cromatografía de Pfeiffer se presenta como una herramienta práctica, económica y accesible, capaz de ofrecer información cualitativa sobre la estructura, la actividad microbiana y el equilibrio mineral del suelo mediante la lectura visual de cromas. Sin embargo, en las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario, ubicadas en la vereda Quitasol, no existen antecedentes de estudios que apliquen esta metodología para evaluar la salud del suelo ni para formular estrategias de mejoramiento agroecológico.

Por lo tanto, surge la necesidad de analizar cualitativamente los suelos de ambas fincas mediante la cromatografía de Pfeiffer, con el propósito de comprender su estado actual, identificar sus fortalezas y debilidades, y establecer lineamientos de manejo que contribuyan al fortalecimiento de la sostenibilidad y la calidad del cultivo de café orgánico en la región.

1.1 Pregunta Problema

¿Cuál es el estado cualitativo de los suelos de las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*, ubicadas en la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe (Santander), según la interpretación visual obtenida mediante la técnica cromatográfica de Pfeiffer, y de qué manera este diagnóstico puede orientar acciones de manejo que promuevan una producción de café orgánico más sostenible?

1.2 Supuesto

La cromatografía de Pfeiffer es una técnica prometedora para identificar diferencias en la composición biológica y mineral del suelo (Restrepo & Pinheiro, 2011). Se espera que esta herramienta permite a las fincas "El Recuerdo" y "Alto del Santuario" observar variaciones claras entre diferentes puntos de muestreo, proporcionando una visión detallada de la actividad biológica, mineral y materia orgánica del suelo. Esto ayudará a los productores a comprender mejor la estructura y composición del suelo, facilitando la implementación de prácticas que mejoren su salud y sostenibilidad.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar de manera cualitativa el estado de los suelos mediante la técnica cromatográfica de Pfeiffer, como herramienta de diagnóstico visual en la producción de café orgánico en las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario, de la vereda Quitasol, municipio de Guadalupe (Santander).

2.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual de los suelos de las fincas objeto de estudio, mediante cromatografía de Pfeiffer, identificando las características visuales y cualitativas que reflejan su estructura, fertilidad y vitalidad biológica.

Interpretar las deficiencias y potencialidades del suelo a partir de las formas, colores y texturas observadas en los cromatogramas, relacionándolas con la actividad biológica y el equilibrio mineral.

Proponer un plan general de mejora del suelo basado en los resultados obtenidos, en base a la cromatografía de Pfeiffer y los análisis de laboratorio convencionales, con el fin de optimizar la calidad y sostenibilidad del sistema productivo.

3. Justificación

El suelo constituye la base de la sostenibilidad agrícola, pues de su estructura, equilibrio y vitalidad biológica dependen la productividad y la calidad de los cultivos (FAO 2015). En los sistemas de producción de café, su deterioro progresivo por el uso de agroquímicos, la erosión y la pérdida de materia orgánica ha generado una disminución en la fertilidad y una menor resiliencia frente a las condiciones ambientales cambiantes (IDEAM & UDCA, 2015). Frente a esta problemática, se hace necesario comprender el estado actual de los suelos desde una perspectiva integral que contemple no solo los aspectos químicos, sino también los componentes biológicos, físicos y estructurales que determinan su salud, su capacidad de regeneración y su función ecológica dentro del ecosistema productivo.

No obstante, la mayoría de los pequeños productores carecen de acceso a laboratorios o a métodos analíticos complejos que les permitan evaluar de forma continua las condiciones de sus suelos. Ante esta situación, la cromatografía de Pfeiffer se presenta como una herramienta práctica, económica y accesible, capaz de ofrecer una visión cualitativa y visual del suelo. Según (Restrepo & Pinheiro, 2011), a través de la observación de colores, formas y texturas, es posible identificar indicadores de actividad microbiana, equilibrio mineral y contenido de materia orgánica, generando información útil para la toma de decisiones agroecológicas orientadas a mejorar la fertilidad y vitalidad del sistema productivo.

La aplicación de esta técnica en las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario, ubicadas en la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe (Santander), permite diagnosticar el estado actual del suelo de manera participativa, fortaleciendo la capacidad de observación, análisis e interpretación de los productores. De esta forma, se promueve un manejo más sostenible y

consciente de los cultivos de café orgánico, en coherencia con los principios de la agroecología y la conservación del territorio.

En este contexto, la presente investigación busca analizar el estado cualitativo del suelo en las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario mediante la cromatografía de Pfeiffer como herramienta de diagnóstico agroecológico. Su aplicación permite obtener una interpretación visual e integral del suelo, identificando la interacción entre la fracción mineral, la materia orgánica y la actividad biológica, así como posibles desequilibrios que afectan la fertilidad y vitalidad del sistema productivo (Restrepo & Pinheiro, 2011). De este modo, el estudio no solo pretende generar información técnica para la toma de decisiones en el manejo sostenible del café orgánico, sino también fortalecer la capacidad de análisis y observación de los productores, promoviendo un aprendizaje participativo orientado a la conservación del suelo y a la construcción de agroecosistema más resiliente en el territorio.

4. Marco de Referencia

4.1 Marco Contextual

La vereda Quitasol, en el municipio de Guadalupe, Santander, es una zona cafetera donde predominan pequeños productores que han optado por cultivos orgánicos como una alternativa sostenible. Las fincas “El Recuerdo” y “Alto del Santuario” se dedican a la producción de café orgánico, enfrentando el reto de mantener suelos sanos sin el uso de fertilizantes químicos.

En esta región montañosa, con suelos fértiles pero afectados por prácticas agrícolas convencionales, se hace necesario implementar herramientas que permitan evaluar la salud del suelo de forma integral. La técnica de cromatografía de Pfeiffer ofrece una alternativa accesible y eficaz para diagnosticar la calidad del suelo desde un enfoque agroecológico.

Este estudio se desarrolla en un entorno donde la producción agrícola está ligada directamente al bienestar de las familias rurales, y busca aportar al mejoramiento de las prácticas productivas, la sostenibilidad ambiental y la economía local.

Las fincas “El Recuerdo” y “Alto del Santuario” se encuentran ubicadas de la siguiente manera:

- Alto del Santuario 6°14'06.3"N 73°21'05.4"W
- El Recuerdo 6°14'12.5"N 73°20'53.5"W

Figura 1.

Ubicación geográfica fincas el recuerdo y Alto del Santuario



Nota. La figura muestra la ubicación de las fincas el recuerdo y alto del santuario esta Imagen fue tomada del SICA mediante la información suministrada por los comités municipales de la Federación nacional de cafeteros (2025)

4.2 Marco Conceptual

El presente estudio se desarrolló en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*, ubicadas en la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe, departamento de Santander, Colombia. Esta zona pertenece a la provincia Comunera y se localiza en la vertiente occidental de la cordillera Oriental, entre los 1.500 y 1.700 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio cercana a los 18 °C y una precipitación anual aproximada de 2.000 mm. Estas condiciones configuran un ecosistema de bosque húmedo premontano, característico de las áreas cafeteras andinas, donde la topografía ondulada y los suelos fértiles han permitido el desarrollo de sistemas agrícolas tradicionales centrados en el cultivo de café (IDEAM, 2018; MADS, 2017).

Los suelos predominantes en esta región se originan a partir de materiales sedimentarios y metamórficos, con texturas que varían de franco-arcillosas a franco-arenosas y pendientes moderadas a fuertes. Presentan buena permeabilidad, aunque son susceptibles a la erosión y al lavado de nutrientes debido a la alta pluviosidad y al manejo convencional. En general, son suelos moderadamente ácidos y con bajo contenido de materia orgánica, condiciones que afectan la fertilidad, la estructura y la estabilidad del perfil del suelo (FAO, 2015). Según Restrepo (2016), estos suelos pueden recuperarse mediante prácticas como el uso de compost, abonos verdes y biofermentos, que favorecen el equilibrio mineral, la retención de humedad y la formación de humus estable.

Las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario* fueron seleccionadas por representar realidades productivas distintas dentro de un mismo contexto territorial. Ambas se dedican al cultivo de café, pero difieren en sus prácticas de manejo y en el grado de transición hacia sistemas orgánicos. Mientras *El Recuerdo* ha incorporado abonos orgánicos, coberturas vegetales y compostaje como parte de su proceso de conversión agroecológica, *Alto del Santuario* mantiene aún un manejo mixto entre prácticas tradicionales y orgánicas. Estas diferencias constituyen un escenario ideal para aplicar la técnica cromatográfica de Pfeiffer y analizar comparativamente la salud, fertilidad y actividad biológica de los suelos, interpretando los patrones visuales que reflejan la vitalidad del ecosistema edáfico (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Desde el punto de vista social, la vereda Quitasol está habitada por familias campesinas con una larga tradición cafetera y un creciente interés por la agricultura sostenible. La economía local se basa principalmente en la producción de café y en cultivos de pan-coger, complementada con pequeñas iniciativas agroindustriales familiares orientadas a la transformación de productos agrícolas (FNC, 2022; Gaitán & Cortés, 2020). Estas comunidades han comenzado procesos de

transición agroecológica mediante el uso de bioinsumos, conservación de semillas nativas y diversificación de cultivos, fortaleciendo así la soberanía alimentaria y la identidad rural.

En este contexto, la aplicación de la cromatografía de Pfeiffer no solo aporta un diagnóstico visual del estado del suelo, sino que también actúa como una herramienta pedagógica que promueve la observación, el aprendizaje colectivo y la autonomía técnica de los productores. De esta manera, la investigación contribuye a la comprensión de la salud del suelo como base de la sostenibilidad, al mejoramiento de la calidad del café y al fortalecimiento del compromiso de la comunidad con la agricultura orgánica y la conservación ambiental (IFOAM, 2005; Restrepo, 2016).

4.3 Marco Teórico

La agricultura orgánica se fundamenta en el equilibrio entre los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo, buscando mantener la fertilidad natural a través de procesos biogeoquímicos que promuevan la vida edáfica y la regeneración ecológica (IFOAM, 2005). Bajo este enfoque, el suelo no se concibe como un simple soporte de las plantas, sino como un organismo vivo que respira, se alimenta y evoluciona. De su equilibrio dependen la productividad, la calidad de los alimentos y la estabilidad de los ecosistemas agrícolas (FAO, 2015; Restrepo, 2016).

En los sistemas cafetaleros andinos, la salud del suelo está estrechamente relacionada con la actividad microbiana, el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

Estos factores determinan la disponibilidad de nutrientes y la resiliencia del cultivo frente a plagas, sequías o degradación (Gaitán & Cortés, 2020). Por ello, el análisis cualitativo del suelo

constituye una herramienta fundamental para orientar prácticas agroecológicas que favorezcan la sostenibilidad y la productividad del sistema.

En este contexto, la cromatografía de Pfeiffer surge como una metodología alternativa que permite visualizar el estado integral del suelo a través de la distribución e interacción de sus componentes. Desarrollada por Ehrenfried Pfeiffer en la primera mitad del siglo XX, dentro de los principios de la agricultura biodinámica de Rudolf Steiner, esta técnica busca representar la “firma vital” del suelo mediante una imagen circular donde se revelan los equilibrios entre las fracciones minerales, orgánicas y biológicas (Restrepo & Pinheiro, 2011).

El fundamento científico de la cromatografía se basa en la migración capilar de las partículas del extracto del suelo sobre un papel filtro impregnado con nitrato de plata. Este proceso genera anillos concéntricos o zonas diferenciadas que permiten interpretar visualmente las condiciones del suelo. Los tonos, contrastes y transiciones de color reflejan el grado de integración de la materia orgánica, el contenido mineral y la actividad biológica (Restrepo & Pinheiro, 2011; Pinheiro, 2014). Así, el cromatograma se convierte en una representación simbólica y funcional del estado del suelo.

Desde una perspectiva agroecológica, la cromatografía ofrece ventajas significativas frente a los análisis convencionales, al permitir un diagnóstico cualitativo rápido, económico y participativo. Diversos autores han señalado su utilidad en procesos de formación campesina y en la gestión comunitaria de los suelos, ya que promueve la observación directa y la interpretación colectiva (Restrepo, 2016; Pinheiro, 2014). En este sentido, la técnica se considera una herramienta pedagógica que articula ciencia, arte y saber local, favoreciendo la comprensión integral del agroecosistema.

En el caso del cultivo de café, la aplicación de la cromatografía de Pfeiffer permite correlacionar la estructura del suelo con la calidad del grano y el vigor de las plantas. Un suelo con cromas equilibrados caracterizados por colores dorados, anillos definidos y plumas regulares tiende a generar plantas más sanas, con mejor absorción de nutrientes y mayor expresión de aromas y sabores en el producto final (Restrepo & Pinheiro, 2011). Por tanto, la técnica no solo constituye un medio de diagnóstico visual, sino también un indicador de sostenibilidad y calidad agroecológica en la producción cafetera.

De este modo, el presente estudio se apoya en la cromatografía de Pfeiffer como una herramienta científica y educativa para comprender la dinámica del suelo, identificar desequilibrios y proponer estrategias de manejo regenerativo. Su implementación en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario* busca fortalecer la gestión del suelo desde un enfoque participativo, integrando conocimiento empírico y técnico hacia una producción cafetera sostenible y de alta calidad.

4.4 Tareas en Campo

- **Etapas 1.** reconocimiento previo o diagnóstico de los suelos objeto de estudio en compañía del agricultor, esta fase es fundamental para un análisis cromatográfico exitoso. Combinar los conocimientos del agricultor con la experiencia técnica no solo optimiza los resultados, sino que también fortalece la relación entre ambos, fomentando un enfoque colaborativo. Al recorrer el terreno, tomar fotografías y documentar las observaciones, se puede garantizar que el diagnóstico sea detallado y adaptado a las necesidades específicas del suelo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapa 2.** muestreo del suelo para el análisis: luego de validar el suelo es necesario tener en cuenta la topografía del suelo ya que a partir de esta se realiza el muestreo, y dependiendo del cultivo a investigar se realiza una calicata con unas profundidades específicas (Restrepo & Pinheiro, 2011). Para el cultivo de café se realiza una calicata con una profundidad de 30 cm que es la corteza en la cual la planta ancla sus raíces para poder crecer y tener un buen desarrollo. proceder a perforar el hoyo o calicata, se recomienda con una pala o palín hacer una especie de túnel contra la pared del agujero y de abajo hacia arriba extraer una libra o un kilogramo del suelo muestra con el mayor cuidado para evitar contaminarlo con materiales de profundidad diferentes, la mayor ventaja de sacar muestras a profundidades diferentes es que se puede ir observando junto con el agricultor los cambios que tiene el suelo, debemos estar muy atentos en observar su color, humedad, olor, compactación y en general la estructura de las partículas pues todos estos componentes hacen parte de la bio-identidad de la tierra, otros factores que se deben tener en cuenta son la frecuencia de riego, drenaje, cobertura vegetal, manejo de desechos , exposición solar, información actual e histórica de la aplicación de insumos químicos como (herbicidas, insecticidas, fungicidas, formulaciones químicas de abonos, nematicidas) entre otros(Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapa 3.** identificación de las muestras, estas se deben identificar con un rótulo donde se registre lugar de extracción, profundidad en metros, número de muestra, se recomienda almacenarlas en bolsas o recipientes plásticos que no se deterioren con la humedad (Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapa 4.** Secado de las muestras. Una vez transportadas las muestras, se ponen a secar indirectamente al sol o a media sombra y se le extrae piedras, palos y otros objetos no

deseados. Deben estar protegidas de interferencias o factores externos (vapores, lluvias, animales, mugres, etc.). (Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapas 5.** Una vez las muestras estén totalmente secas se toman submuestras de 100 g a 150 g, que se pasan por un colador o tamiz de plástico, con la finalidad de lograr una mejor uniformidad en las partículas de suelo, antes de su pulverización. Es importante precisar que no se deben usar coladores metálicos puesto que estos en fase de oxidación pueden afectar la precisión del análisis a los suelos objeto de estudio (Restrepo &

Pinheiro, 2011).

- **Etapas 6.** Molienda de la muestra. Con el auxilio de un mortero, preferentemente de porcelana, se muelen concienzudamente las partículas de suelo hasta obtener un polvo homogéneo, tipo talco, del cual finalmente tomaremos para el análisis la cantidad de 5 g.

(Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapas 7.** Pesaje y contra muestra. Con el auxilio de una "balanza mini Gramera" se pesan 5 g de la muestra pulverizada en el mortero, cuidando de conservar su identificación. El suelo restante, ya molido, se guarda como contra muestra de seguridad (Restrepo & Pinheiro, 2011). para futuros análisis del mismo tipo u otros procedimientos de investigación, como la determinación de la capacidad de humidificación de la materia orgánica y su fraccionamiento. Para conservar las muestras de suelo para futuros análisis. Lo ideal es empacarlas en bolsas de papel encerado y guardarlas en recipientes de plástico o vidrio, a salvo de cualquier humedad.

4.5 Tareas y Análisis en Laboratorio

Una vez terminadas las etapas de recolección y preparación de la muestra pasamos al proceso de laboratorio y sus etapas. Preparación de soluciones de hidróxido de sodio para disolver

la muestra del suelo y el nitrato de plata para sensibilizar el papel para el análisis (Restrepo & Pinheiro, 2011):

- **Etapas 1.** Se prepara una solución de hidróxido de sodio (NaOH), o soda cáustica, o sosa, al 1% en agua destilada, para disolver la muestra de suelo que va a ser analizada. Por cada muestra de 5 g que se quiera analizar utilizaremos 50 ml de la solución (Restrepo & Pinheiro, 2011).
- **Etapas 2.** Se prepara una solución de nitrato de plata (AgNO₃) al 0.5%, para lograr esto se debe disolver medio gramo de nitrato de plata en 100ml de agua destilada, la cantidad resultante es suficiente para impregnar entre 60 y 70 filtros circulares con los que se realizan los análisis cromatográficos de la misma cantidad de muestras de suelo (Restrepo; y; Pinheiro, 2011).
- **Etapas 3.** Preparación del papel filtro circular. seguidamente se deben preparar los papeles de filtro circular se recomienda usar los números (1,4 y 41 de 15 cm) es decir de 15mm de diámetro, se les debe realizar una perforación en el centro de 2mm de diámetro, está se puede realizar con una perforadora o con un clavo de acero teniendo el mayor cuidado, los límites de impregnación del papel filtro con la solución de nitrato de plata (AgNO₃) se debe demarcar a 4 cm de distancia de la perforación central y así mismo demarcar 6cm de distancia de la misma para el recorrido de la muestra, luego se procede a elaborar los pabilos rollitos los cuales deben tener 2cm de altura y 2cm de diámetro se recomienda realizarlos con papel filtro número 4 dado que este absorbe mejor la humedad y facilita la impregnación rápida de las sustancias a aplicar en cada cromatograma, los papeles recomendados para correr los cromatogramas son el papel filtro número 1 (en el cual el recorrido de la sustancia es más denso y tarda entre 15 y 45 minutos, este tipo de papel permite apreciar como corren las fracciones húmica y enzimática) el otro papel recomendado es el numero 4 (el cual es más poroso que el anterior, lo cual hace que el recorrido de la sustancia

sea más rápido demorando entre 10 y 30 minutos, este tipo de papel permite apreciar como corren y se integran los minerales con la materia orgánica)(Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapas 4.** Impregnación o sensibilización del papel filtro. continuamos con la impregnación del papel filtro la cual se realiza a través del pabilo el cual se debe insertar en la perforación central realizada previamente en cada papel, procedemos a utilizar 2 cajas de Petri de vidrios circulares, de 5 cm y 10 cm respectivamente, las cuales procedemos a colocar centradas ubicando la de menor tamaño dentro de la de mayor tamaño, luego se procede a verter la solución de nitrato de plata (AgNO_3) para impregnar el papel filtro luego de estar impregnado se aseguran los extremos y se retira el pabilo desde abajo muy suave para evitar alguna mancha de gotas de la sustancia, es importante tener en cuenta que los dedos de quien manipula la muestra deben estar limpios y sin residuos de nitrato de plata. El proceso de secado es lo que sigue por ende para este se recomienda dejar el papel dentro de una cámara oscura o una caja de cartón con tapas que no deje filtrar luz, para esto se coloca el filtro impregnado en medio de papel higiénico y dos papeles blancos tamaño oficio que estén bien limpios de modo que se facilite el secado y el aislamiento de los demás filtros que se impregnan y se guardaran evitando que se manchen entre sí; como recomendación final realizar limpieza y lavado con agua destilada a los recipientes utilizados en este proceso para evitar que se contaminen o alteren futuras muestras(Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapas 5.** Mientras los papeles filtro impregnados con nitrato de plata se encuentran en proceso de secado en la caja oscura donde se demoran entre 3 y 4 horas , procedemos a integrar en un recipiente de vidrio los 5 gramos de muestra de suelo en la sustancia preparada de hidróxido de sodio (NaOH) al 1% , donde se recomienda agitar por series de un minuto 6 y 7 giros de izquierda a derecha y de derecha a izquierda hasta completar 42 a 49 giros, logrando homogeneizar

la solución , luego dejamos reposar esta nueva mezcla por 15 minutos y volvemos a agitar por 2 minutos en giros de izquierda a derecha y de derecha a izquierda, nuevamente la dejamos en reposo por 1 hora esta vez, luego de cumplido el tiempo procedemos a realizar la agitación por 2 minutos. Finalmente guardamos la muestra bien protegida y la dejamos 6 horas en reposo para que se complete el proceso de reacción alcalina del hidróxido con la muestra de suelo es importante tener en cuenta que ya no se debe volver a agitar la muestra, se debe tener en cuenta que si el suelo objeto de análisis es de harina de rocas o esta maltratado por el sol, plaguicidas o fertilizantes, es necesario dejar reaccionar la muestra de este, en el hidróxido de sodio hasta por 12 horas o más (Restrepo; y; Pinheiro, 2011). Cuando ya se ha cumplido el tiempo de secado del papel filtro y el reposo final de la reacción alcalina de la muestra de suelo procedemos a la corrida final de la muestra o análisis de suelo para esto se debe insertar la caja Petri de menor tamaño dentro de la caja Petri de mayor tamaño, apoyados en una jeringa de 20cc procedemos a verter entre 10cc a 15cc del líquido que se encuentra en la parte superior de la muestra del suelo (sobrenadante) y la mezcla de hidróxido de sodio, esta solución debe dejarse correr los 6 cm marcados inicialmente, se procede a retirar el pabito utilizado para este recorrido y continuamos a la fase de revelado, es importante tener precaución de marcar y no mezclar los papeles circulares número 1 y 4 para así evitar errores o dudas en la interpretación de los cromas (Restrepo & Pinheiro, 2011).

- **Etapa 7.** El proceso de revelado o secado es quizá la de mayor cuidado luego de terminar la fase de recorrido de la solución, para dejar secar los cromas es recomendable dejarlos de forma horizontal en una superficie limpia y plana, en su preferencia una hoja de papel tamaño oficio blanca, cuando ya están secos se pueden colgar y exponer indirectamente a la luz solar para estabilizar lentamente el revelado, este proceso puede darse entre 1 o 2 semanas (Restrepo & Pinheiro, 2011).

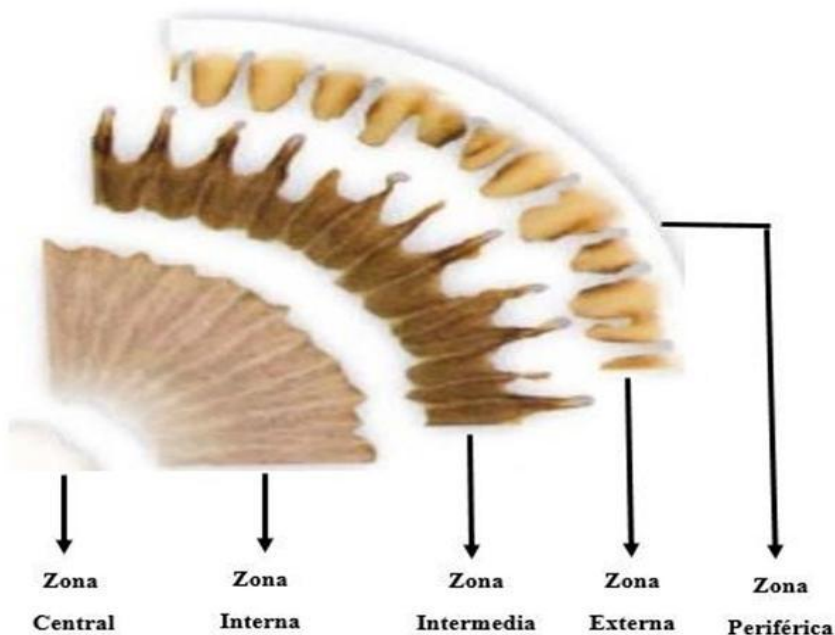
- **Etapa 8.** Una vez secos los cromatogramas se deben identificar en centímetro y medio del borde del papel filtro, la marcación se debe realizar con lápiz de carbón 2HB, los datos que deben llevar son (fecha, lugar de muestra, tipo de sustancia, nombre de la persona que realizó el trabajo), en una hoja anexa se pueden describir los detalles del cromatograma y escribir algunas recomendaciones si es el caso (Restrepo & Pinheiro, 2011).
- **Etapa 9.** Documentación fotográfica y detalle físico o digital del proceso realizado para así tener la evidencia y trazabilidad de los análisis (Restrepo & Pinheiro, 2011).
- **Etapa 10.** Finalmente, el archivo y conservación de los cromas se recomienda realizar en carpetas individuales junto con sus análisis, se recomienda guardarlos en sitios alejados de la humedad y de la exposición continua a la luz (Restrepo & Pinheiro, 2011).

4.6 Interpretación de los Cromatogramas

La interpretación de un cromatograma se apoya en los conocimientos básicos que dominemos sobre lo que es el cromatograma y sus partes, el cual se conforma por cinco zonas del centro del croma hacia afuera en el siguiente orden (zona central, zona interna, zona intermedia, zona externa y zona periférica) como se observa a continuación (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Figura 2.

Zonas que conforman un Cromatograma



Nota. La figura muestra las zonas que conforman un Cromatograma en él se evidencian las formas ideales que puede presentar un suelo sano y bien equilibrado. Tomado de Restrepo & Pinheiro (2011).

4.7 Descripción de las Zonas de un Cromatograma

1. **La zona central:** como su nombre lo dice esta zona se encuentra en el centro del cromatograma y se manifiesta en forma de ombligo, es el lugar por donde todas las sustancias presentes en la muestra objeto de estudio, circulan, por el fenómeno de la capilaridad o a través del pabulo, esta zona también denominada zona de aireación u oxigenación. es donde reacciona el nitrato de plata con algunos elementos presentes en la muestra. Depende del suelo que se esté analizando esta zona central se manifiesta o no existe, debido principalmente al maltrato o

deterioro del suelo por mecanización pesada, aplicación de venenos, falta de cobertura vegetal por lo que el suelo queda expuesto directamente a los rayos del sol, permitiendo que un suelo con estas características esté compactado, sin estructura y no haya en la materia orgánica.

Existen casos donde esta zona se manifiesta con una coloración negra, ceniza o gris y se integra de forma homogénea con la siguiente zona, en otras ocasiones esta zona se manifiesta con un color blanco bien definido debido, principalmente a la reacción del nitrato de plata con sustancias con alto contenido de nitrógeno producto de aplicación excesiva de abonos altamente nitrogenados y abonos de síntesis química altamente solubles, o aplicación de herbicidas, en casos es por aplicar abonos o compostas mal procesadas de origen animal. Otro caso que puede presentarse es que esta zona se muestre de un color blanco cremoso que se desvanece y se integra con la siguiente zona (mineral, enzimática y orgánica) esta tonalidad indica que es un buen suelo con abundante materia orgánica, no compactado y con suficiente actividad enzimática y microbiológica (Restrepo & Pinheiro, 2011).

2. Zona interna: Es el segundo anillo y está ubicado después de la zona central, también es conocida como la zona mineral porque aquí se concentra la mayoría de estos, esta zona puede estar o no integrada con las demás lo cual depende del tipo de suelo y los impactos a que este haya sido sometido (Restrepo & Pinheiro, 2011).

3. Zona intermedia: Es el tercer anillo y se conoce también como zona proteica o de la materia orgánica pues es aquí donde se expresa la ausencia o presencia de esta, es importante precisar que no significa que dicha materia se encuentre biológicamente activa o totalmente integrada al suelo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

4. Zona Externa: Es el cuarto anillo y se conoce también como la zona enzimática, y dependiendo de la cantidad de nitrógeno, péptido o proteína de mayor peso molecular que pasa el

papel y forma patrones que manifiestan la ausencia, presencia y de actividad de los microorganismos activos en la materia orgánica (Restrepo & Pinheiro, 2011).

5. Zona Periférica: Es el quinto y último anillo y es la zona del papel a donde no ha llegado la solución, se usa para marcar el cromatograma y manipularlo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

La interpretación de los cromatogramas constituye una fase esencial del análisis cualitativo del suelo, ya que permite visualizar el equilibrio entre sus componentes minerales, orgánicos y biológicos. Cada color, forma y patrón radial refleja procesos internos del suelo, como la aireación, la presencia de humus y la actividad microbiana.

Las siguientes imágenes ilustran los principales criterios de lectura cromatográfica propuestos por Restrepo y Pinheiro (2011), donde se observan ejemplos de terminaciones, evolución radial y gamas de color que permiten distinguir suelos equilibrados de aquellos con deficiencias estructurales o biológicas.

4.8 Coloración de los Cromatogramas

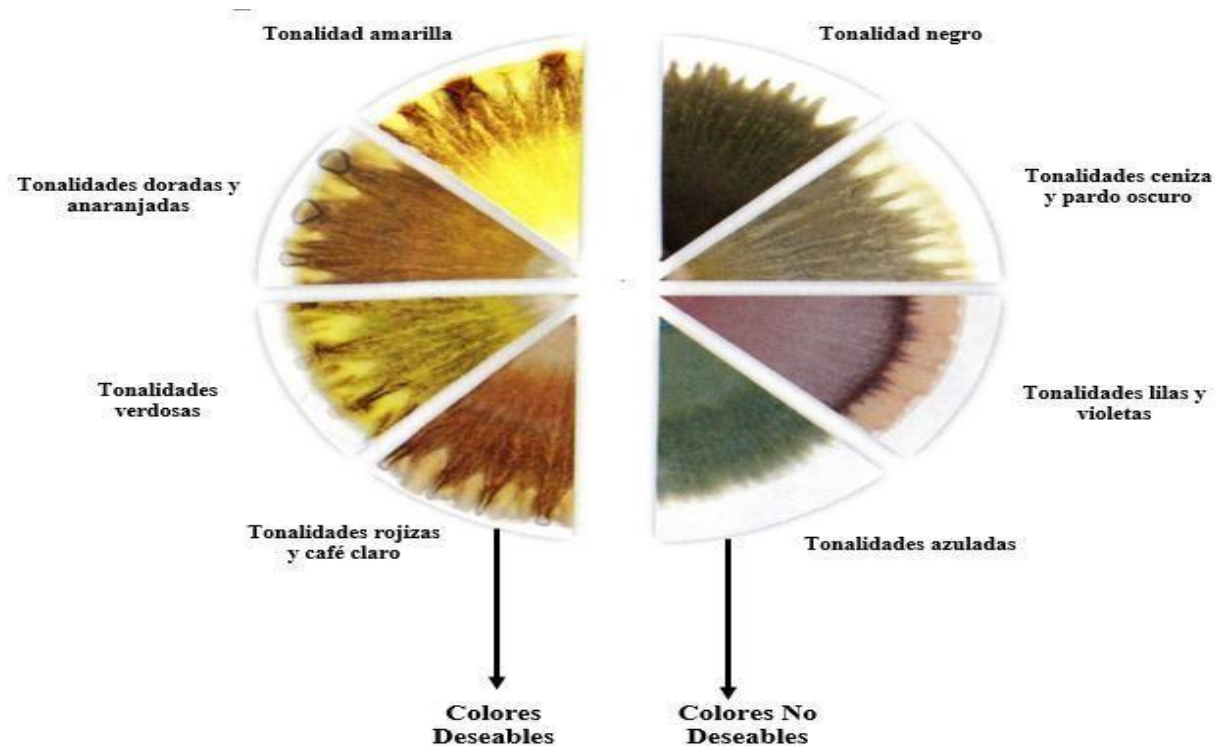
Es el resultado que se presenta luego de que los componentes del suelo o abono objeto de estudio muestren la reacción con el nitrato de plata y el hidróxido de sodio, un suelo o abono que indica buena salud usualmente presenta coloraciones (amarillo, anaranjado, dorado, rojizo o café claro y tonalidades verdosas); sí se presenta el caso en que un cromograma muestre la combinación de colores cafés claros y oscuros, estamos ante una muestra que refleja el proceso intermedio de desarrollo donde la materia orgánica está cruda y en etapa de maduración e integración con el abono o suelo, por el contrario los colores que indican señales de que un suelo no tiene buena salud

son (ceniza, pardo oscuro, negro, lila, violeta y tonalidades azuladas) esto refleja suelos o abonos procesados o en proceso (Restrepo; y; Pinheiro, 2011).

A continuación, se muestra el detalle de colores y estados de los suelos.

Figura 3.

Colores de un cromatograma



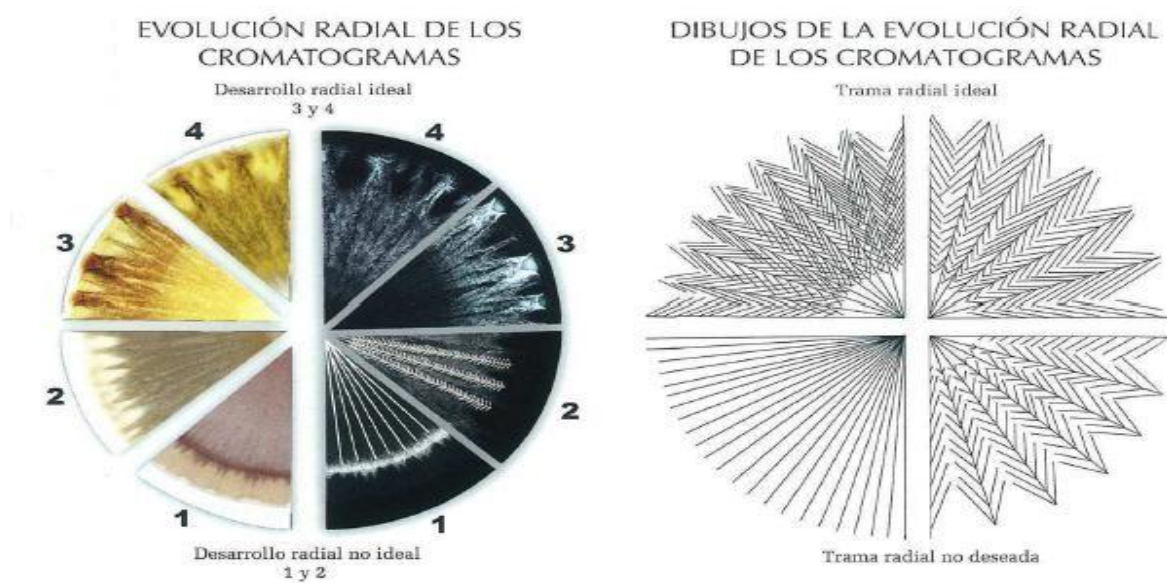
Nota. La figura muestra los diversos patrones que puede presentar un cromatograma en los cuales se evidencia los colores ideales y no ideales de un cromatograma. Tomado de Restrepo & Pinheiro (2011).

Al mismo tiempo que estamos observando la coloración de los cromas también podemos mirar la radiación que estos presentan, usualmente la radiación también registra un progreso gradual que puede ir desde líneas rectas que nacen desde la zona central hasta la formación de

varios caminos desiguales ramificados de diferentes tamaños como lo podemos observar a continuación (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Figura 4.

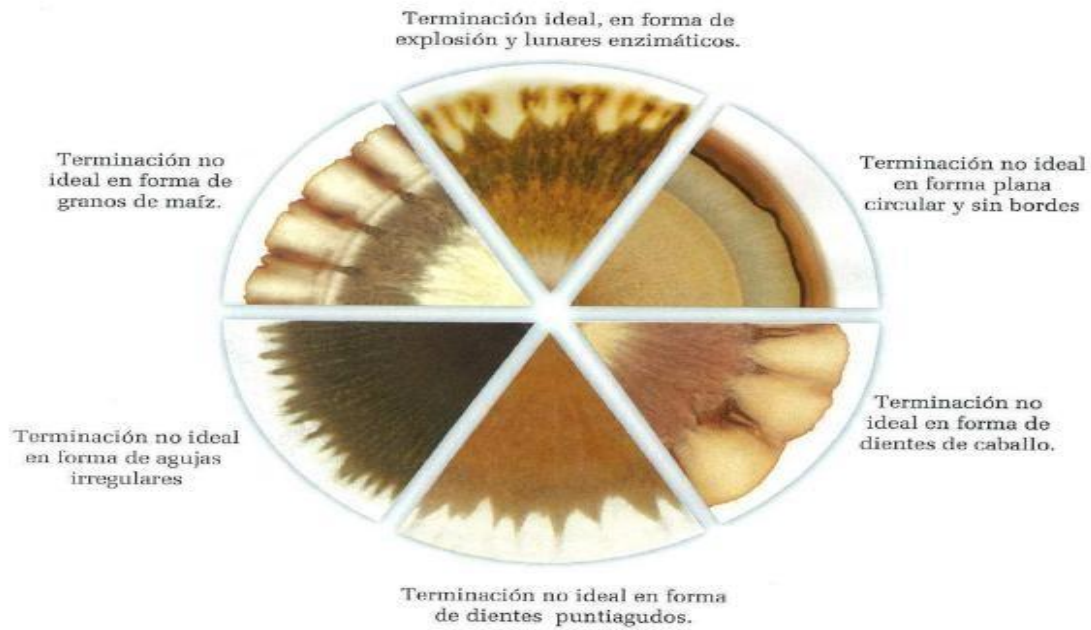
Sistema radial de un cromatograma



Nota. La figura presente muestra los sistemas radiales ideales y no ideales de un cromatograma.

Tomado de Restrepo & Pinheiro (2011).

Para finalizar la lectura de un cromatograma nos dirigimos a sus terminaciones, también conocidos como dientes, hasta el momento existen 6 características en la terminación de estos.

Figura 5.*Terminaciones de un cromatograma*

Nota. La figura presenta las terminaciones ideales y no ideales de un cromatograma. Tomado de Restrepo & Pinheiro (2011).

5. Metodología de la investigación

5.1 Enfoque de la Investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo interpretativo, orientado a comprender la calidad del suelo a través del análisis visual de los cromatogramas obtenidos mediante la técnica de Pfeiffer. Este enfoque permite interpretar los fenómenos edáficos desde su dimensión biológica, orgánica y ecológica, valorando las interacciones naturales del suelo sin manipular las variables del entorno (Hernández Sampieri et al., 2014).

5.2 Tipo de Estudio.

La investigación corresponde a un estudio descriptivo y aplicado, con diseño no experimental y transversal, centrado en el diagnóstico del suelo en su estado natural. Se buscó identificar características visuales relacionadas con la fertilidad, la estructura y la vitalidad biológica del suelo en las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario, ubicadas en la vereda Quitasol, municipio de Guadalupe (Santander).

5.3 Diseño de la Investigación

El diseño metodológico adoptado corresponde a un estudio no experimental, de campo y de corte transversal, en el cual no se manipulan las variables del entorno, sino que se observan y analizan en su estado natural. El estudio se realizó en un solo periodo de tiempo, centrado en la recolección, análisis e interpretación cualitativa de los cromatogramas obtenidos de los suelos de las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*, ubicadas en la vereda Quitasol del municipio de Guadalupe (Santander).

Este diseño permitió describir y comparar la calidad del suelo en diferentes condiciones de manejo (orgánico y mixto), identificando características visuales asociadas a la estructura, fertilidad y actividad biológica. De esta forma, se integró el análisis técnico con la observación participativa, generando información útil para la toma de decisiones agroecológicas y la mejora de la gestión del suelo en sistemas cafeteros.

5.4 Población y Muestra

La población estuvo constituida por los suelos de ambas fincas, representativos de sistemas productivos en transición hacia la agricultura orgánica. La muestra se seleccionó de forma intencionada, considerando zonas de cultivo de café con diferentes condiciones de manejo. Se tomaron dos muestras por finca, garantizando representatividad y diversidad de condiciones edáficas (FAO, 2015).

5.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Se aplicó la cromatografía circular de Pfeiffer como técnica principal de análisis cualitativo del suelo. Complementariamente, se emplearon observaciones de campo, registro fotográfico y fichas de análisis visual, con base en los criterios propuestos por Restrepo y Pinheiro (2011).

5.6 Análisis e Interpretación de Resultados

La interpretación se realizó de forma cualitativa, considerando los colores, formas y transiciones de las zonas de los cromatogramas (mineral, orgánica y biológica). Los resultados se compararon entre fincas, relacionando los patrones visuales con las prácticas de manejo del suelo

y las condiciones agroecológicas de cada predio, con el propósito de proponer estrategias de mejora para la sostenibilidad del sistema cafetero.

5.7 Informe Detallado de los Procedimientos Aplicados Durante las Tareas de Campo y de Laboratorio

Durante el análisis y la toma de muestras en los suelos en las fincas “el Recuerdo” y “alto del Santuario se hizo un detallado diagnóstico de la topografía de los suelos, se hizo un recordeo de los cultivos y el manejo que se les había dado a estos suelos, en los cuales anteriormente se habían utilizado proporcionalmente para la ganadería, cultivos como caña de azúcar, yuca, plátano, café. Además se mencionó algunas prácticas que hace años se aplicaban con cierta frecuencia como el uso de herbicidas abonos de síntesis y que luego de esto hace más de 6 años, se opta por empezar a mejorar y darles un manejo mucho más amigable con el medio ambiente quitando prácticas como la aplicación de herbicidas que lo único que hacen es destruir el suelo volviéndolo cada vez menos productivo generando que se aplique muchos productos de síntesis para suplir la demanda nutricional de un cultivo. Se menciona que a pesar de que la producción bajo se mejoró la calidad de los suelos que hace unos años eran muy arcillosos y se compactaban con facilidad y hoy por hoy se ha mejorado considerablemente la estructura del suelo.

Figura 6.

Reconocimiento previo, toma de muestras



Luego de haber realizado un reconocimiento previo se procede a tomar las muestras para posteriormente ser analizadas, para ello se utilizó un palín para realizar una calicata de unos 30 cm que es la corteza en la cual la planta de café ancla sus raíces para poder crecer y tener un buen desarrollo. Se tomaron tres submuestras para obtener una muestra, estas se tomaron en puntos específicos, como los siguientes: por lotes, edad del cultivo y estado actual del mismo. Cabe resaltar que todas las muestras fueron tomadas a esta profundidad. Para ello se rotulo las muestras con el nombre de la finca, profundidad de la muestra y fecha de la toma. Antes de proceder con el secado, se retiraron palos, piedras, raices, y restos de materia orgánica gruesa.

Figura 7.

Toma de la muestra.



Seguidamente del secado se procede a utilizar un colador o tamiz de unos 2mm para pasar las muestras y sea más sencillo pulverizarlas en un mortero, donde se sacarán los 5 gr para ser analizados y la muestra restante será guardada como contramuestra para futuros análisis, culminando con la primera fase: Las tareas de campo.

Figura 8.

Secado y tamizado



A continuación, se prepara una solución extractora donde se disuelvan los minerales y compuestos orgánicos del suelo. Para ello utilizaremos una balanza o Gramara, vasos precipitados, agua destilada o desionizada, soda caustica o hidróxido de sodio (NaOH) y un frasco de vidrio para guardar la solución para posteriormente ser utilizada, para obtener esta solución diluimos 8 gr de NaOH en 800 ml de agua destilada para obtener una concentración del 1%. Seguidamente se procede a diluir las muestras de suelo en la solución extractora utilizando dos muestras en 100 ml y dos en 50 ml y de este modo poder hacer un análisis más detallado del suelo, para la finca el recuerdo se tomaron dos muestras una para diluir en 100 ml y la otra en 50, así mismo con las dos muestras de la finca alto del santuario. Para que los minerales y compuestos orgánicos se disuelvan de manera correcta es fundamental hacer lo siguiente. Agitar por series de un minuto 6 y 7 giros de izquierda a derecha y de derecha a izquierda hasta completar 42 a 49 giros, logrando homogeneizar la solución, luego dejamos reposar esta nueva mezcla por 15 minutos y volvemos a agitar por 2 minutos en giros de izquierda a derecha y de derecha a izquierda, nuevamente la dejamos en reposo por 1 hora esta vez, luego de cumplido el tiempo procedemos a realizar la agitación por 2 minutos. Finalmente guardamos la muestra bien protegida y la dejamos 6 horas en reposo para que se complete el proceso de reacción alcalina del hidróxido con la muestra de suelo.

Figura 9.

Preparación de las muestras en NaOH



Por otro lado, se prepara la solución del nitrato de plata (AgNO_3) al 0.5%. Lo cual sería 0.5 gramos de AgNO_3 en 100 ml de agua destilada, esta mezcla nos servirá para impregnar el papel filtro #4, pero para ello hay que perforar la mitad del papel filtro #4 con un punzón para en el introducir los pabilos, también se marca el papel a los 4 y 6 cm del centro Asia afuera para saber hasta qué punto deja uno correr las muestras. Después de haber impregnado el papel filtro hasta los 4 cm se retira y se procede a guardar en una caja donde no ingrese la luz, pero para ello hay que poner unas hojas limpias de papel bong y servilletas para poner los cromas en secado separándolos entre sí por las hojas y las servilletas.

Figura 10.

Preparación del papel filtro



Luego de haber obtenidos los cuatro cromatogramas se toma la decisión de realizar 3 cromatogramas adicionales corrido en soluciones de 150 ml de NaOH para una mejor lectura debido a que dos de ellos no se pueden leer y dar un resultado idóneo para mejorar la estructura del suelo es por esto por lo que se opta por realizarlos.

5.8 Cromatogramas y Análisis Interpretativo de las Fincas el Recuerdo y Alto del Santuario

A continuación, se presentan los análisis cromatográficos de la finca el Recuerdo.

Figura 11.

Muestra #1: suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 100 ml de NaOH



5.8.1 Muestra #1: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 100 ml de NaOH

Esta muestra fue disuelta en 100 ml de NaOH y según el cromatograma obtenido podemos deducir:

- **Zona central #1:** Reflejan un cremoso definido que se extiende levemente hacia la zona interna, esto nos indica que el suelo tiene una adecuada oxigenación y no está compactado.
- **Zona interna #2:** Muestran una coloración café claro que se integra con la zona intermedia, indicando la presencia de minerales disponibles
- **Zona intermedia #3:** Presenta un color dorado lo que evidencia la presencia de materia orgánica.
- **Zona externa #4:** Reflejan terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos lo que representa un suelo con buena nutrición.
- **Descripción Radial #5:** Muestran ramificaciones ideales con mediana presencia de actividad microbiológica y de nutrientes presentes en el suelo.

Figura 12.

Muestra #2: Suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 50 ml de NaOH



5.8.2 *Muestra #2: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 50 ml de NaOH*

Esta muestra fue disuelta en 50 ml de NaOH y según el cromatograma obtenido podemos deducir: Esta muestra no tiene una buena estructura es muy difícil interpretarla debido a esto se disuelve la muestra en 150 ml de NaOH para tener un mejor resultado en el cual podemos hacer una mejor lectura:

Figura 13.

Muestra #2: suelo de la finca el Recuerdo disuelto en 150 ml de NaOH



5.8.3 *Muestra #2: Suelo de la Finca el Recuerdo Disuelto en 150 ml de NaOH*

- **Zona central #1:** Reflejan un color blanco cremoso que se extiende levemente hacia la zona interna, esto nos indica que el suelo tiene una adecuada oxigenación y no está compactado.
- **Zona interna #2:** Muestran una tonalidad beige que su integración con la zona intermedia es muy escasa, indicando la baja presencia de minerales disponibles

- **Zona intermedia #3:** Presenta un color dorado lo que evidencia la presencia de materia orgánica en bajas cantidades.
- **Zona externa #4:** Aunque presenta terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos, también presenta algunas terminaciones puntiagudas lo que impide dar una buena interpretación debido a que tiene terminaciones ideales y no ideales
- **Descripción Radial #5:** Muestran ramificaciones ideales que salen de la zona interna lo que explica que la mediana presencia de actividad microbológica no se está integrando de manera adecuada con los nutrientes presentes en el suelo.

A continuación, se presentan los análisis cromatográficos de la finca alto del Santuario.

Figura 14.

Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 100 ml de NaOH



5.8.4 Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 100 ml de NaOH

Esta muestra fue disuelta en 100 y 150 ml de NaOH y según el cromatograma obtenido podemos deducir:

- **Zona central #1:** Reflejan un color blanco cremoso que se extiende levemente hacia la zona interna, esto nos indica que el suelo tiene una adecuada oxigenación y no está compactado.
- **Zona interna #2:** Muestran una tonalidad beige que se integra con la zona intermedia, indicando la baja presencia de minerales disponibles
- **Zona intermedia #3:** Presenta un color dorado lo que evidencia la presencia de materia orgánica en bajas cantidades.
- **Zona externa #4:** Aunque presenta terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos, también presenta algunas terminaciones puntiagudas lo que impide dar una buena interpretación debido a que tiene terminaciones ideales y no ideales
- **Descripción Radial #5:** Presenta ramificaciones no ideales con una baja actividad microbiana.

Figura 15.

Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH



5.8.5 Muestra #3: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH

- **Zona central #1:** Reflejan un color cremoso que se extiende levemente hacia la zona interna, esto nos indica que el suelo tiene una adecuada oxigenación y no está compactado.
- **Zona interna #2:** Muestran una tonalidad café claro que se integra con la zona intermedia, indicando la presencia de minerales disponibles
- **Zona intermedia #3:** Presenta un color café lo que evidencia la presencia de materia orgánica.
- **Zona externa #4:** Aunque presenta terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos, también presenta algunas terminaciones puntiagudas lo que impide dar una buena interpretación debido a que tiene terminaciones ideales y no ideales.
- **Descripción Radial #5:** Muestran ramificaciones ideales con mediana presencia de actividad microbiológica y de nutrientes presentes en el suelo.

Figura**16.**

Muestra #4: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 50 ml de NaOH



5.8.6 Muestra #4: Suelo de la Finca Alto del Santuario Disuelto en 50 ml de NaOH

Esta muestra fue disuelta en 50 ml de NaOH y según el cromatograma obtenido podemos deducir: Esta muestra no tiene una buena estructura es muy difícil interpretarla debido a esto se disuelve la muestra en 150 ml de NaOH para tener un mejor resultado.

Figura 17.

Muestra #4: suelo de la finca Alto del Santuario disuelto en 150 ml de NaOH



5.8.7 Muestra #4: Suelo de la Finca Alto del Santuario Disuelto en 150 ml de NaOH

- **Zona central #1:** Reflejan un color blanco cremoso que se extiende levemente hacia la zona interna, esto nos indica que el suelo tiene una adecuada oxigenación y no está compactado.
- **Zona interna #2:** Muestran una tonalidad beige que se integra con la zona intermedia, indicando la presencia de minerales disponibles

- **Zona intermedia #3:** Presenta un color café lo que evidencia la presencia de materia orgánica.
- **Zona externa #4:** Aunque presenta terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos, también presenta algunas terminaciones puntiagudas lo que impide dar una buena interpretación debido a que tiene terminaciones ideales y no ideales.
- **Descripción Radial #5:** Muestran ramificaciones ideales con mediana presencia de actividad microbiológica y de nutrientes presentes en el suelo.

5.9 Análisis Interpretativo de los Cromatogramas de las Fincas el Recuerdo y Alto del Santuario

De manera general, el análisis comparativo de los cromatogramas obtenidos en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario* evidencia que los suelos presentan niveles medios de vitalidad biológica y buenas condiciones de aireación, especialmente en las muestras de la finca *El Recuerdo*, donde las zonas centrales muestran colores blancos cremosos bien definidos y transiciones suaves hacia la zona interna. Estas características reflejan suelos con estructura estable y buena oxigenación, producto del manejo orgánico y de la incorporación de materia orgánica.

En contraste, las muestras correspondientes a *Alto del Santuario* muestran menor integración entre las zonas mineral, orgánica y biológica, con tonalidades beige o café poco uniformes y terminaciones mixtas, ideales y no ideales, lo que sugiere desequilibrio en la distribución de nutrientes y actividad microbiana moderada. La presencia de terminaciones puntiagudas y ramificaciones irregulares indica procesos de descomposición incompletos y una menor estabilidad del humus.

En conjunto, los resultados permiten deducir que los suelos de ambas fincas mantienen una base estructural adecuada, sin indicios de compactación severa, pero difieren en su nivel de fertilidad y actividad biológica. *El Recuerdo* muestra mayor integración entre las zonas cromáticas, reflejando un manejo agroecológico más consolidado, mientras que *Alto del Santuario* requiere fortalecer la aplicación de prácticas orgánicas continuas como compostaje, cobertura viva y biofermentos para estimular la regeneración del suelo.

En síntesis, los cromatogramas demuestran que la salud del suelo mejora significativamente cuando se aplican prácticas sostenibles y regenerativas, reafirmando la utilidad de la cromatografía de Pfeiffer como herramienta cualitativa y educativa para monitorear la evolución de los suelos en sistemas cafeteros orgánicos.

5.10 Tabla comparativa relaciona a la interpretación de los cromatogramas

Tabla 1.

Tabla comparativa de la interpretación de los cromas

Zona / Criterio de lectura	Finca El Recuerdo	Finca Alto del Santuario	Interpretación general
Zona central (mineral)	Color blanco cremoso, bien definido, con buena expansión hacia la zona interna. Indica estructura suelta y oxigenada.	Color blanco cremoso, pero con expansión limitada. Estructura menos aireada.	Ambos suelos con buena aireación; <i>El Recuerdo</i> presenta mejor porosidad y equilibrio mineral.
Zona interna (transición mineral orgánica)	Tonalidades beige claras integradas con la zona intermedia, reflejando buena disponibilidad mineral.	Tonalidades beige más opacas, con integración débil entre zonas.	Mayor disponibilidad mineral en <i>El Recuerdo</i> ; leve deficiencia de minerales activos en <i>Alto del Santuario</i> .
Zona intermedia (materia orgánica)	Color dorado homogéneo, asociado a humus estable y buen	Color dorado-café con irregularidades; menor uniformidad en el humus.	<i>El Recuerdo</i> evidencia humus más maduro y estable; <i>Alto del Santuario</i> muestra

Zona / Criterio de lectura	Finca El Recuerdo	Finca Alto del Santuario	Interpretación general
	proceso de descomposición.		descomposición incompleta.
Zona externa (biológica)	Terminaciones en forma de explosión y lunares enzimáticos bien definidos; alta actividad microbiana.	Terminaciones mixtas (explosión y puntiagudas); actividad biológica media.	Actividad microbiana más dinámica en <i>El Recuerdo</i> ; en <i>Alto del Santuario</i> debe fortalecerse con bioinsumos.
Descripción radial (estructura general)	Ramificaciones regulares y simétricas; buena distribución radial de nutrientes.	Ramificaciones irregulares y asimétricas; zonas con interrupciones.	<i>El Recuerdo</i> presenta desarrollo radial ideal; <i>Alto del Santuario</i> refleja desequilibrio estructural.

Nota. La tabla presente muestra un análisis comparativo cromatográfico fincas el Recuerdo y Alto del Santuario.

En conjunto, el análisis comparativo confirma que la finca *El Recuerdo* mantiene una mayor coherencia entre sus componentes minerales, orgánicos y biológicos, reflejando un manejo agroecológico más consolidado. En cambio, *Alto del Santuario* evidencia un proceso de transición en curso, con potencial de mejora a través del fortalecimiento de las prácticas de fertilización orgánica y regeneración del humus.

5.11 Resumen de los Resultados de los Análisis físico-químico del laboratorio (Asequimagro)

A continuación, se presentan el resumen de los análisis convencionales de suelo realizados en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*, los cuales complementan la información obtenida mediante la cromatografía de Pfeiffer. Estos análisis permiten identificar con mayor precisión los niveles de nutrientes, el pH, la materia orgánica y otros parámetros físico-químicos que ayudan a entender el estado actual del suelo.

5.11.1 Resultados Resumidos del Análisis de Suelo en la Finca El Recuerdo

Tabla 2.

Resumen de los análisis físico-químico finca el Recuerdo

Parámetro	Resultado	Unidad	Nivel	Interpretación agroecológica
pH	4,46	—	Bajo	Suelo muy ácido; limita la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana.
Materia orgánica	1,29	%	Bajo	Baja retención de humedad y poca formación de humus.
Carbono orgánico	0,74	%	Bajo	Requiere aporte constante de abonos y residuos vegetales.
CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico)	5,54	Meq/100g	Bajo	Poca capacidad de retener nutrientes.
Calcio (Ca)	1,80	Meq/100g	Bajo	Deficiencia estructural del suelo y baja estabilidad.
	V 08765w	Meq/100g	Bajo	Necesita corrección mediante materia orgánica y enmiendas naturales.
Potasio (K)	0,08	Meq/100g	Bajo	Nivel insuficiente para el crecimiento óptimo del café.
Fósforo (P)	1,08	ppm	Muy bajo	Requiere aporte con fuentes naturales (roca fosfórica).
Aluminio (Al)	2,81	Meq/100g	Alto	Tóxico para raíces; su corrección debe ser gradual.
Hierro (Fe)	109,12	ppm	Alto	Exceso natural; no requiere manejo.
Textura	—	—	Franco	Buena aireación y drenaje.

Nota. La tabla presenta un resumen del análisis físico-químico finca el Recuerdo, sobre los resultados obtenidos del Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

El suelo de la finca *El Recuerdo* presenta acidez elevada, baja materia orgánica y deficiencia en fósforo, calcio y magnesio, lo cual afecta la fertilidad y estructura. Se recomienda aumentar la aplicación de compost y bocashi, inocular microorganismos eficientes y utilizar cal dolomítica de forma controlada, integrando prácticas de cobertura vegetal y rotación de cultivos para fortalecer la biología del suelo sin alterar su equilibrio ecológico.

5.11.2 Resultados Resumidos del Análisis de Suelo en la Finca Alto del Santuario

Tabla 3.

Resumen de los análisis físico-químico finca Alto del Santuario

Parámetro	Resultado	Unidad	Nivel	Interpretación agroecológica
pH	4,53	—	Bajo	Suelo fuertemente ácido; afecta absorción de nutrientes.
Materia orgánica	0,82	%	Bajo	Escasa actividad biológica; requiere recuperación del humus.
Carbono orgánico	0,47	%	Bajo	Déficit de materia orgánica activa.
CIC	5,40	Meq/100g	Bajo	Baja retención de nutrientes.
Calcio (Ca)	1,15	Meq/100g	Bajo	Déficit estructural; suelo compactado.
Magnesio (Mg)	0,74	Meq/100g	Bajo	Deficiencia leve; corregible con abonos orgánicos.
Potasio (K)	0,04	Meq/100g	Muy bajo	Afecta el desarrollo de frutos.
Fósforo (P)	0,33	ppm	Muy bajo	Nutriente limitante principal; aplicar roca fosfórica natural.
Aluminio (Al)	3,09	Meq/100g	Muy alto	Altamente tóxico; se debe neutralizar con materia orgánica.
Hierro (Fe)	52,80	ppm	Alto	Nivel adecuado, sin riesgo.
Textura	—	—	Franco	Suelo equilibrado en aireación y retención.

Nota. La presente tabla muestra un breve resumen de los análisis físico-químico finca Alto del Santuario obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

El suelo del *Alto del Santuario* es aún más ácido y pobre en fósforo, potasio y calcio que el de *El Recuerdo*. Presenta toxicidad por aluminio y baja materia orgánica. Se recomienda fortalecer la biología del suelo mediante microorganismos nativos, cobertura vegetal viva, biofermentos minerales y cal dolomítica aplicada en dosis controladas junto con compost, para lograr una corrección gradual del pH sin alterar la armonía ecológica del sistema cafetalero.

5.11.3 Comparativo General de los Resultados de Suelo entre las Fincas El Recuerdo y Alto del Santuario

Tabla 4.

Comparativo general de los resultados de suelo entre las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario

Parámetro	Finca El Recuerdo	Finca Alto del Santuario	Interpretación comparativa
pH	4,46 (bajo)	4,53 (bajo)	Ambos suelos son ácidos, aunque el Santuario presenta un nivel ligeramente superior. Requieren corrección gradual con cal dolomítica y materia orgánica.
Materia orgánica (%)	1,29	0,82	El Recuerdo tiene mayor contenido, pero ambos son pobres en humus. Se recomienda fortalecer con compost y cobertura vegetal.
Carbono orgánico (%)	0,74	0,47	Valores bajos en ambas fincas; indican escasa descomposición biológica activa.
CIC (Meq/100g)	5,54	5,40	Similar capacidad de retención catiónica, ambas bajas. Requieren aumentar materia orgánica.
Calcio (Ca)	1,80	1,15	Deficiencia en ambas fincas; El Recuerdo presenta ligera ventaja.
Magnesio (Mg)	0,57	0,74	Niveles bajos, pero mejores en Alto del Santuario.
Potasio (K)	0,08	0,04	Ambos presentan niveles muy bajos; se recomienda incorporar biofertilizantes potásicos naturales.
Fósforo (P, ppm)	1,08	0,33	Deficiencia severa en ambos suelos, más marcada en El Santuario. Aplicar roca fosfórica natural.
Aluminio (Al, Meq/100g)	2,81 (alto)	3,09 (muy alto)	Toxicidad elevada, más grave en El Santuario. Se requiere neutralización orgánica y manejo cuidadoso.
Hierro (Fe, ppm)	109,12	52,80	Ambos con niveles altos, aunque sin toxicidad aparente.
Textura	Franco	Franco	Texturas equilibradas, favorables para la retención de agua y aireación.

Nota, La tabla muestra un comparativo general de los resultados de suelo entre las fincas El Recuerdo y Alto del Santuario basados en los resultados obtenidos del Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025).

Ambas fincas presentan suelos con baja fertilidad natural, alta acidez y deficiencias en materia orgánica, calcio, magnesio, potasio y fósforo. Sin embargo, *El Recuerdo* muestra una leve ventaja en contenido orgánico y estructura física, mientras que *Alto del Santuario* refleja mayor acidez y toxicidad por aluminio.

Se sugiere mantener un manejo agroecológico conjunto que priorice:

- Incremento de materia orgánica mediante compost, bocashi y microorganismos eficientes.
- Corrección gradual del pH con cal dolomítica en pequeñas dosis.
- Aplicación de roca fosfórica y biofermentos minerales.
- Mantener cobertura vegetal viva y rotaciones con leguminosas.

Estas medidas permitirán restaurar el equilibrio del suelo sin alterar el ecosistema, fortaleciendo la base biológica para una producción sostenible de café orgánico.

5.12 Plan de Mejora con Base a los Resultados Obtenidos

Después de obtener los resultados tanto de la cromatografía de Pfeiffer como de los análisis convencionales, se pudo tener una visión más completa del estado actual de los suelos en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*. Gracias a esto se identificaron las zonas que presentan buena actividad biológica y también aquellas que necesitan reforzar su manejo para mejorar la estructura y fertilidad del suelo.

A partir de estos hallazgos, se plantea consolidar un plan de mejora continua y agroecológica del suelo, centrado en la regeneración biológica, el reciclaje de nutrientes y la conservación de la materia orgánica. Este plan busca fortalecer la salud del suelo sin alterar el equilibrio natural del ecosistema, integrando prácticas tradicionales, bioinsumos locales y la observación constante mediante cromatografía.

Las acciones priorizadas incluyen el uso de abonos orgánicos bien descompuestos (compost, lombricompost o bocashi), la inoculación de microorganismos eficientes (EM y MM), la conservación de cobertura vegetal viva y muerta, y la implementación de asociaciones con especies leguminosas que aporten nitrógeno al sistema. Además, se propone reducir progresivamente el uso de agroquímicos, reemplazándolos por bioinsumos que fortalezcan los procesos naturales del suelo.

Este conjunto de prácticas se articula con el plan de acción integral presentado a continuación, el cual detalla cómo y cuándo aplicar cada una de las medidas para asegurar un proceso de recuperación gradual, sostenible y en armonía con la vida del suelo.

El propósito de este plan es mejorar el pH y la fertilidad del suelo sin alterar el equilibrio natural, fortaleciendo su estructura, su vida microbiana y su capacidad de producir café de buena calidad. No se trata de aplicar cal en grandes cantidades ni de forzar los cambios, sino de trabajar paso a paso y con respeto por el suelo como organismo vivo.

5.13 Estrategias Agroecológicas para la Recuperación y Manejo del Suelo

5.13.1 Mejorar el pH sin Afectar la Biología del Suelo

- Realizar aplicaciones suaves de cal dolomítica o calcítica en pequeñas dosis (120–180 g por planta) mezcladas con compost o materia orgánica.
- Hacer las aplicaciones dos veces al año, una después de la cosecha y otra a mitad del ciclo productivo.
- Complementar con ceniza vegetal fina y roca fosfórica natural, que ayudan a subir lentamente el pH y a liberar nutrientes sin causar choques.
- Revisar el pH cada seis meses para asegurar que el cambio sea gradual.

5.13.2 Fortalecer la Materia Orgánica y la Vida del Suelo

- Aplicar compost o bocashi bien descompuesto (1,5 kg por planta) dos veces al año.
- Usar bioles y microorganismos eficientes (EM o MM) cada 45 días, tanto en suelo como en follaje, para mantener activa la vida microbiana.
- Mantener cobertura vegetal viva (canavalia, maní forrajero, crotalaria) para proteger el suelo del sol y de la erosión.

5.13.3 Reactivar la Actividad Biológica

- Preparar e inocular microorganismos nativos recogidos en la finca y multiplicarlos con melaza y salvado.
- Evitar totalmente herbicidas y fungicidas químicos. Controlar las malezas con guadaña o cobertura natural.
- Promover la sombra regulada en los cafetales, que ayuda a conservar humedad y equilibrio térmico.

5.13.4 Mejorar el Balance de Minerales

- Aplicar yeso agrícola (100–200 g por planta) en zonas compactadas para aportar calcio y azufre sin alterar el pH.
- Incorporar biofermentos minerales o extractos de micronutrientes (B, Zn, Cu) durante floración y llenado del grano.

5.13.5 Monitorear y Evaluar el Proceso

- Repetir los análisis de suelo y cromas cada seis meses, observando los cambios en color, textura, olor y estructura del suelo.
- Registrar los avances con notas de campo y fotografías de los cromas.
- Evaluar los resultados en conjunto con los productores, promoviendo el aprendizaje y la observación directa.

5.14 Resultados Esperados

- Subir el pH de manera natural y lenta hasta valores entre 5,5 y 5,8.
- Aumentar la materia orgánica por encima del 2 %.
- Reducir el aluminio intercambiable a menos del 20 %.
- Observar en los cromas colores más cálidos, plumas regulares y transiciones suaves, señal de un suelo vivo y equilibrado.

Con este manejo, los suelos de las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario* podrán mantener su equilibrio ecológico, mejorar la nutrición del café y fortalecer la sostenibilidad del sistema productivo a largo plazo.

6. Conclusiones

Esta investigación permitió conocer con más claridad cómo están los suelos de las fincas *El Recuerdo y Alto del Santuario*, aplicando tanto la cromatografía de Pfeiffer como los análisis de laboratorio. Gracias a esto se pudo ver que, aunque los suelos presentan una acidez alta y bajos niveles de materia orgánica y nutrientes, todavía mantienen buena aireación y señales de vida microbiana, lo que demuestra que tienen capacidad de recuperación si se manejan de manera adecuada.

La cromatografía de Pfeiffer fue una herramienta muy útil porque permitió observar de forma visual y sencilla la salud del suelo, mostrando los colores, las formas y las zonas que reflejan su equilibrio. Esta técnica ayudó a entender mejor el suelo como un organismo vivo, donde todo está conectado: los minerales, la materia orgánica y la actividad biológica. Además, permitió involucrar a los productores y fortalecer el aprendizaje desde la práctica, observando con sus propios ojos los cambios que tiene la tierra.

A partir de los resultados, se formuló un plan de mejora agroecológico que busca recuperar el suelo sin romper su equilibrio natural. Este plan se basa en el uso de abonos orgánicos bien descompuestos, bioinsumos, microorganismos eficientes, cobertura vegetal viva y aplicaciones suaves de cal dolomítica y ceniza vegetal. Todo se plantea de manera gradual, con respeto por los procesos naturales y evitando el uso de productos químicos que afecten la vida del suelo.

Con la aplicación de estas acciones, se espera que el pH del suelo suba de forma natural, que la materia orgánica aumente, que disminuya el aluminio y que los cromas muestren colores más vivos y armónicos, señal de un suelo sano y equilibrado.

Más que un simple resultado técnico, este trabajo deja una enseñanza: el suelo, cuando se cuida y se escucha, responde. Mantenerlo vivo es garantizar la sostenibilidad del café, la salud de la finca y el bienestar de quienes la trabajan.

7. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos mediante la cromatografía de Pfeiffer y los análisis convencionales de laboratorio, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas al fortalecimiento del manejo agroecológico del suelo en las fincas *El Recuerdo* y *Alto del Santuario*:

1. Fortalecer la vida del suelo.

Continuar con la aplicación de abonos orgánicos bien descompuestos, bocashi y compost, acompañados del uso regular de bioles y microorganismos eficientes (EM o MM). Esto favorecerá la actividad microbiana, la descomposición natural de la materia orgánica y el desarrollo radicular del café.

2. Ajustar el pH de manera controlada.

Realizar aplicaciones moderadas de cal dolomítica (entre 120 y 180 g por planta), siempre mezclada con compost o materia orgánica, para aumentar el pH gradualmente sin afectar el equilibrio biológico del suelo. Se recomienda revisar los valores de pH cada seis meses.

3. Mejorar la cobertura y estructura del suelo.

Mantener la cobertura vegetal viva con especies leguminosas como *canavalia*, *maní forrajero* o *crotalaria*, y conservar residuos vegetales sobre el terreno para evitar la erosión y conservar la humedad. Esto ayuda a regular la temperatura del suelo y a proteger la micro fauna edáfica.

4. Promover la diversidad y el equilibrio ecológico.

Establecer sistemas agroforestales con árboles de sombra regulada, integrando especies nativas que brinden hábitat a la fauna local y mejoren la infiltración de agua. Se sugiere incluir prácticas como el manejo de barreras vivas, rotación de cultivos y policultivos asociados.

5. Reducir progresivamente el uso de productos químicos.

Evitar el empleo de herbicidas, fungicidas y fertilizantes de síntesis, sustituyéndolos por bioinsumos preparados en la finca. La reducción gradual de estos insumos permitirá una regeneración natural del suelo y mayor inocuidad en la producción de café orgánico.

6. Monitoreo constante del suelo.

Repetir los análisis cromatográficos y de laboratorio cada seis meses, para evaluar el avance del plan de mejora. Se recomienda documentar los cambios observados mediante registros fotográficos y fichas técnicas que sirvan de base para la toma de decisiones futuras.

Estas recomendaciones buscan consolidar un manejo regenerativo y sostenible del suelo, capaz de mantener su equilibrio natural, mejorar su fertilidad y asegurar una producción de café orgánico de alta calidad. Más que aplicar insumos, se trata de cultivar la vida del suelo, entendiendo que su salud es el reflejo directo de la armonía entre el agricultor, la tierra y el ecosistema.

Referencias Bibliográficas

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Los suelos y la producción alimentaria sostenible*. <https://www.fao.org>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022). *Informe anual de sostenibilidad: Región Santander*. <https://federaciondefcafeteros.org>
- Gaitán, A., & Cortés, J. (2020). *Agroecología y café: Prácticas sostenibles en territorios andinos de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Atlas climático de Colombia*. <https://www.ideam.gov.co>
- IFOAM – Organics International. (2005). *Principios de la agricultura orgánica*. <https://www.ifoam.bio>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Caracterización general de los ecosistemas colombianos*. <https://www.minambiente.gov.co>
- Pinheiro, S. (2014). *La cromatografía y la biología del suelo: Lectura agroecológica de la fertilidad*. Escuela Latinoamericana de Agroecología.
- Restrepo, J. (2016). *Manejo ecológico de suelos: Fundamentos para la agricultura orgánica y regenerativa*. Ediciones Abya-Yala.
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). *Guía práctica para el uso de la cromatografía en el análisis de suelos, compost y humus*. Escuela Latinoamericana de Agricultura Orgánica. <https://morralcampesino.wordpress.com>

Apéndices

Apéndice A.

Registro fotográfico de tareas de campo

Este apéndice contiene los registros de campo y observaciones realizadas durante el proceso de muestreo y análisis. Se incluyen las fechas de recolección, ubicación de las muestras, condiciones del clima y observaciones generales sobre textura, color y humedad del suelo.

Ficha de registro de campo.

Tabla 5.

Ficha de registro de campo

Fecha	Finca	Muestra	Coordenadas	Observaciones
18/10/2025	El Recuerdo	M1	6°15'N – 73°27'W	Suelo franco, con buena aireación y humedad media.
18/10/2025	El Recuerdo	M2	6°15'N – 73°27'W	Suelo más compacto, con menor materia orgánica.
18/10/2025	Alto del Santuario	M3	6°16'N – 73°26'W	Suelo franco-arcilloso, buen drenaje.
18/10/2025	Alto del Santuario	M4	6°16'N – 73°26'W	Suelo con textura media y ligera acidez.

Nota. La presente Ficha de registro de campo muestra la ubicación geográfica de las fincas objeto de estudio, así como un breve análisis producto del presente proyecto.

Fichas de campo y observaciones:

Figura 18.

Paso 1 reconocimiento lugares toma de muestra



Figura 19.

Paso 2 muestreo del suelo



Figura 20.

Paso 2 muestreo del suelo



Figura 21.

Paso 3 y 4 rotulado y secado de las muestras



Figura 22.

Paso 5 tamizado



Figura 23.

Paso 6 molienda



Figura 24.

Paso 7 pesaje de los 5 gr



Figura 25.

Paso 7 conservación de contramuestra



Nota. Las figuras anteriores presentan los procesos que se llevaron a cabo para hacer la primera fase de la investigación, las cuales se evidencian por medio del registro fotográfico.

Apéndice B.

Registro fotográfico, tareas de laboratorio

Figura 26.

Etapa 1 preparación de hidróxido de sodio (NaOH) al 1%



Figura 27.

Etapa 2 preparación de solución de nitrato de plata ($AgNO$) al 0,5%

**Figura 28.**

Etapa 3 preparación de papel filtro

**Figura 29.**

Etapa 4 impregnación o sensibilización del papel filtro



Figura 30.

Etapa 5 preparación de la muestra en NaOH al 1 %

**Figura 31.**

Etapa 6 corrida de muestra en el papel filtro

**Figura 32.**

Secado y revelado de los cromatogramas



Nota. Las figuras anteriores presentan los procesos que se llevaron cabo para hacer la primera fase de la investigación, las cuales se evidencian por medio del registro fotográfico.

Apéndice C.*Resultados de análisis de laboratorio*

A continuación, se anexan los resultados completos de los análisis convencionales realizados en el *Laboratorio de Suelos y Aguas* (Rionegro, Santander). Estos datos complementan la lectura visual de los cromatogramas y permiten correlacionar los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

Resultados laboratorio de suelos y aguas:**Tabla 6.***Análisis físico químico finca el Recuerdo*

Parámetro	Resul	Unidad	Refer	Comparativo			Método
				Bajo	Medio	Alto	
pH	4,46		Bajo	4-6,5	6,6-7,3	>7,3	Electrométrico phmetro
C.O.	0,74	%	Bajo	<2,9	2,9-5,7	>5,7	Valoración Walkley Black
MAT . ORG.	1,29	%	Bajo	<5,0	5,0-10	>10,0	Valoración Walkley Black
C.E.	0,10	dS/m	Bajo			>2,5	Electrométrico Conductivimetro
C.I.C.	5,54	Meq/100 gr	Bajo	< 10	10-20	>20	Valoración Acetato de Amonio
POTASIO	0,08	Meq/100 gr	Bajo	<0,20	0,2-0,4	>0,4	Refractometria
CALCIO	1,80	Meq/100 gr	Bajo	<3,0	3,0-6,0	>6,0	Colorimétrico
MAGNESIO	0,57	Meq/100 gr	Bajo	<1,5	1,5-2,7	>2,7	Colorimétrico
ALUMINIO	2,81	Meq/100 gr	Alto			>0,5	Valoración Extracción KCl
FOSFORO	1,08	ppm	Muy Bajo	<20	20-40	>40	Colorimétrico Bray 2
AZUFRE	4,62	ppm	Bajo	<5,0	5,0-15	>15	Turbidimetrico
HIERRO	109,12	ppm	Alto	<25	25-50	>50	Colorimétrico

BORO	0,02	ppm	Muy Bajo	<0,20	0,2-0,4	>0,4	Colorimétrico
ZINC	0,64	ppm	Bajo	<2,5	2,5-5,0	>5,0	Colorimétrico
COBRE	0,39	ppm	Bajo	<1,0	1,0-2,5	>2,5	Colorimétrico
MANGANESO	12,80	ppm	Alto	<1,1	5,0-10	>10,0	Colorimétrico
ARENA	44,00	%					Bouyoucos
ARCILLA	23,00	%					Bouyoucos
LIMO	33,00	%					Bouyoucos
TEXTURA	Franco						Bouyoucos

Nota. La anterior tabla presenta los resultados de los Análisis físico químico finca el Recuerdo elaborados en el Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Tabla 7.

Relación de Cationes finca el Recuerdo según análisis físico químico

Rel de Cationes	Valor Calc	Referencia	Bajo	Medio	Alto	% de saturación	Valor	Referencia
REL Ca/Mg	3,14	Medio	<3	3,0-6,0	>6,0	% SAT POTASIO	1,52	Bajo
REL Ca/K	22,55	Medio	<15	15-30	>30	% SAT CALCIO	34,28	Bajo
REL Mg/K	7,18	Bajo	<10	10-15	>15	% SAT MAGNESIO	10,91	Medio
REL Ca+Mg/K	29,73	Medio	<20	20-40	>40	% SAT ALUMINIO	53,30	Alto

Nota. La tabla presenta la Relación de Cationes presentes en el suelo según análisis físico químico obtenidos en la finca el Recuerdo. Mediante el Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Opcion 1: fertilizantes hidrosolubles**Tabla 8.***Recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo*

Época	Fertilizante radicular	Foliar
Después de cosecha	Aplicar 350 gr de cal dolomita y 1,5 Kg materia orgánica compostada/ planta	
Antes que florezca o recién florecido	80 gr de Nutrivegetal FLORACION grado 22-16-12-0,2 + 15 gr de Menores	
A 5 y 7 meses de cosecha	100 gr de Nutrivegetal Engruese 15-5-30 + 20 gr de Sulfato de Magnesio	Foliar Producción 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,1 aplicación

Nota. La presente tabla muestra las recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo en base a los resultados obtenidos de los análisis físico químicos. Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Opción 2: fertilizantes granulados**Tabla 9.***Recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo.*

Época	Fertilizante Radicular	Foliar
Después de cosecha	Aplicar 350 gr de cal dolomita y 1,5 Kg materia orgánica compostada/ planta	Foliar Inicio 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,2 aplicaciones
Antes que florezca o recién florecido	80 gr de T-15 + 30 gr de Urea + 20 gr de Agrimins	
A 5 y 7 meses de cosecha	140 gr de 15-4-23-4	Foliar Producción 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,1 aplicación

Nota. La presente tabla muestra las recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo en base a los resultados obtenidos de los análisis físico químicos. Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Resultados laboratorio de suelos y aguas:**Tabla 10.***Análisis físico químico finca Alto del Santuario*

Parámetro	Resultado	Unidad	Referencia	Comparativo			Método
				Bajo	Medio	Alto	
pH	4,53		Bajo	4-6,5	6,6-7,3	>7,3	Electrométrico phmetro
C.O.	0,47	%	Bajo	<2,9	2,9-5,7	>5,7	Valoración Walkley Black
MAT . ORG.	0,82	%	Bajo	<5,0	5,0-10	>10,0	Valoración Walkley Black
C.E.	0,05	dS/m	Bajo			>2,5	Electrométrico Conductivimetro
C.I.C.	5,40	Meq/100 gr	Bajo	< 10	10-20	>20	Valoración Acetato de Amonio
POTASIO	0,04	Meq/100 gr	Muy Bajo	<0,20	0,2-0,4	>0,4	Refrectometria
CALCIO	1,15	Meq/100 gr	Bajo	<3,0	3,0-6,0	>6,0	Colorimétrico
MAGNESIO	0,74	Meq/100 gr	Bajo	<1,5	1,5-2,7	>2,7	Colorimétrico
ALUMINIO	3,09	Meq/100 gr	Muy Alto			>0,5	Valoración Extracción KCl
FOSFORO	0,33	ppm	Muy Bajo	<20	20-40	>40	Colorimétrico Bray 2
AZUFRE	3,96	ppm	Bajo	<5,0	5,0-15	>15	Turbidimetrico
HIERRO	52,80	ppm	Alto	<25	25-50	>50	Colorimétrico
BORO	0,05	ppm	Muy Bajo	<0,20	0,2-0,4	>0,4	Colorimétrico
ZINC	1,09	ppm	Bajo	<2,5	2,5-5,0	>5,0	Colorimétrico
COBRE	0,29	ppm	Bajo	<1,0	1,0-2,5	>2,5	Colorimétrico
MANGANESO	14,40	ppm	Alto	<1,1	5,0-10	>10,0	Colorimétrico
ARENA	44,00	%					Bouyoucos

Parámetro	Resultado	Unidad	Referencia	Comparativo			Método
				Bajo	Medio	Alto	
ARCILLA	27,00	%					Bouyoucos
LIMO	29,00	%					Bouyoucos
TEXTURA	Franco						Bouyoucos

Nota. La anterior tabla presenta los resultados de los Análisis físico químico finca el Alto del Santuario elaborados en el Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Tabla 11.

Relación de cationes suelos alto del Santuario según análisis físico químico

Rel de Cationes	Valor Calc	Referencia	Bajo	Medio	Alto	% de Saturación	Valor	Referencia
REL Ca/Mg	1,56	Bajo	<3	3,0-6,0	>6,0	% SAT POTASIO	0,80	Bajo
REL Ca/K	28,70	Medio	<15	15-30	>30	% SAT CALCIO	22,91	Muy Bajo
REL Mg/K	18,45	Alto	<10	10-15	>15	% SAT MAGNESIO	14,73	Medio
REL Ca+Mg/K	47,15	Alto	<20	20-40	>40	% SAT ALUMINIO	61,57	Muy Alto

Nota. La presente tabla muestra las recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo en base a los resultados obtenidos de los análisis físico químicos. Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Opción 1. fertilizantes hidrosolubles:**Tabla 12.***Recomendaciones para los suelos de Alto del Santuario por parte del Ingeniero agrónomo*

Época	Fertilizante radicular	Foliar
Después de cosecha	Aplicar 380 gr de cal dolomita y 1,5 Kg materia orgánica compostada/ planta	
Antes que florezca o recién florecido	90 gr de Nutrivegetal FLORACION grado 22-16-12-0,2 + 18 gr de Menores	
A 5 y 7 meses de cosecha	120 gr de Nutrivegetal Engruese 15-5-30 + 25 gr de Sulfato de Magnesio	Foliar Producción 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,1 aplicación

Nota. La presente tabla muestra las recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo en base a los resultados obtenidos de los análisis físico químicos. Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Opción 2. fertilizantes granulados**Tabla 13.***Recomendaciones para los suelos de Alto del Santuario por parte del Ingeniero agrónomo*

Época	Fertilizante Radicular	Foliar
Después de cosecha	Aplicar 380 gr de cal dolomita y 1,5 Kg materia orgánica compostada/ planta	Foliar Inicio 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,2 aplicaciones
Antes que florezca o recién florecido	90 gr de T-15 + 30 gr de Urea + 23 gr de Agrimins	
A 5 y 7 meses de cosecha	150 gr de 15-4-23-4	Foliar Producción 150 gr + 20 ml de coadyuvante /bomba ,1 aplicación

Nota. La presente tabla muestra las recomendaciones por parte del ingeniero agrónomo- finca el Recuerdo en base a los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos. Laboratorio de Suelos y Aguas, Rionegro (2025)

Apéndice D.*Plan de mejora del suelo y seguimiento agroecológico*

El plan de mejora tiene como propósito fortalecer la fertilidad y el equilibrio biológico del suelo en ambas fincas, a partir de prácticas agroecológicas y del monitoreo continuo con cromatografía.

Plan de mejora y seguimiento del suelo:**Tabla 14.**

Plan de mejora y seguimiento del suelo. Observación del cambio cromático a lo largo del proceso

Acción	Objetivo	Frecuencia	Responsable	Indicador
Aplicar compost y bocashi	Aumentar materia orgánica	Cada 6 meses	Productor	% MO en suelo
Usar microorganismos eficientes (EM/MM)	Reactivar vida microbiana	Cada 45 días	Productor	Observación visual y olor del suelo
Aplicar cal dolomítica en pequeñas dosis	Subir pH de forma gradual	Cada 6 meses	Productor	pH entre 5.5–5.8
Mantener cobertura vegetal viva	Evitar erosión y pérdida de humedad	Permanente	Productor	Cobertura > 80 % del área
Acción	Objetivo	Frecuencia	Responsable	Indicador
Realizar cromas semestrales	Evaluar vitalidad del suelo	Cada 6 meses	Investigador	Colores cálidos, plumas regulares

Nota. La presente tabla muestra el Plan de mejora que se llevara a cabo con el seguimiento del suelo. Observación del cambio cromático a lo largo del proceso.

Los apéndices presentados complementan la metodología y los resultados del estudio, aportando evidencia visual, técnica y práctica del proceso desarrollado en las fincas *El Recuerdo*

y *Alto del Santuario*. Su inclusión permite comprender la aplicación integral de la cromatografía de Pfeiffer como herramienta para el diagnóstico y mejora agroecológica del suelo cafetero.