



Determinación del nivel de degradación del suelo en cultivo de banano utilizando cromatografía plana

Determination of the level of soil degradation in banana cultivation using plane chromatography

Determinação do nível de degradação do solo na cultura da banana por cromatografia plana

Michael Jordán Vega Marin ^I
mvega5@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-8203-0819>

Lenin David Guanoquiiza Campoverde ^{II}
lguanoqui2@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-3590-4753>

José Nicasio Quevedo Guerrero ^{III}
jnquevedo@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

Edison Fabricio Vera Cruz ^{IV}
desarrollista.tec@agrisum.com.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7950-5049>

Correspondencia: mvega5@utmachala.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 01 de diciembre de 2024 * **Aceptado:** 22 de enero de 2025 * **Publicado:** 10 de febrero de 2025

- I. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Av. Panamericana km.5 ½ vía Machala, Pasaje, El Oro, Ecuador.
- II. Semillero de Investigación en Recursos Fitogenéticos (SIRF), Universidad Técnica de Machala, Av. Panamericana km.5 ½ vía Machala, Pasaje, El Oro, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Machala, Av. Panamericana km.5 ½ vía Machala, Pasaje, El Oro, Ecuador.
- IV. Departamento de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Agrícolas y Biológicas de AgriSum S.A. Sitio El Vergel, Km. 1,5 Vía El Guabo, Pasaje, El Oro, Ecuador.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el nivel de degradación del suelo en una plantación de banano mediante el uso de la técnica de cromatografía plana. Para esto se analizaron 72 muestras tomadas de los lotes 12 y 13 de la Agrícola “Mathias” (16,76 ha), a profundidades de 10, 20 y 30 cm, evaluando propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los resultados indicaron que el 61,1% de los cromatogramas presentaron un color amarillo opaco, señal de baja actividad microbiana y deficiencia de materia orgánica, mientras que el 38,9% mostró tonalidades oscuras. El 54,2% de los cromatogramas reflejan inestabilidad estructural del suelo. En cuanto a la diferenciación de zonas el 37,5% de los cromatogramas mostró tres o cuatro zonas bien definidas, mientras que el 25% solo alcanzó dos, evidenciando una creciente compactación del suelo. Conjuntamente, se evaluó el estado radicular y la emisión foliar, los cuales indicaron un aumento de raíces vivas del 23,5% al 39,8% en el lote 12 y del 24,1% al 36,7% en el lote 13 en cuatro meses después de haber roturado el suelo y aplicar M.O., correlacionándose con la reducción de nematodos (del 31,0% al 23,1% en el lote 12 y del 27,9% al 21,7% en el lote 13); en cuanto a la emisión foliar osciló entre 0,68 y 1,00, siendo más baja en suelos compactados. Concluyendo que la degradación del suelo afecta negativamente al crecimiento de las plantas de banano, por lo que se recomienda realizar aplicaciones de M.O, biofertilizantes, mejorar los drenajes para bajar la tabla de agua alta, aplicar microorganismos eficientes para mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo.

Palabras claves: degradación; cromatografía; banano; compactación; actividad.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the level of soil degradation in a banana plantation through the use of the planar chromatography technique. For this, 72 samples taken from lots 12 and 13 of Agrícola “Mathias” (16.76 ha) were analyzed, at depths of 10, 20 and 30 cm, evaluating physical, chemical and biological properties of the soil. The results indicated that 61.1% of the chromatograms presented an opaque yellow color, a sign of low microbial activity and deficiency of organic matter, while 38.9% showed dark tones. 54.2% of the chromatograms reflect structural instability of the soil. Regarding the differentiation of zones, 37.5% of the chromatograms showed three or four well-defined zones, while 25% only reached two, evidencing increasing soil

compaction. Jointly, the root state and foliar emission were evaluated, which indicated an increase in live roots from 23.5% to 39.8% in lot 12 and from 24.1% to 36.7% in lot 13 in four months after plowing the soil and applying M.O., correlating with the reduction of nematodes (from 31.0% to 23.1% in the lot 12 and from 27.9% to 21.7% in lot 13); Regarding foliar emission, it ranged between 0.68 and 1.00, being lower in compacted soils. Concluding that soil degradation negatively affects the growth of banana plants, so it is recommended to apply M.O, biofertilizers, improve drainage to lower the high water table, apply efficient microorganisms to improve the physicochemical conditions of the soil.

Keywords: degradation; chromatography; banana; compaction; activity.

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o nível de degradação do solo em uma plantação de banana através da utilização da técnica de cromatografia planar. Para isso, foram analisadas 72 amostras retiradas dos lotes 12 e 13 da Agrícola “Mathias” (16,76 ha), nas profundidades de 10, 20 e 30 cm, avaliando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Os resultados indicaram que 61,1% dos cromatogramas apresentaram coloração amarela opaca, sinal de baixa atividade microbiana e deficiência de matéria orgânica, enquanto 38,9% apresentaram tons escuros. 54,2% dos cromatogramas refletem instabilidade estrutural do solo. Quanto à diferenciação das zonas, 37,5% dos cromatogramas apresentaram três ou quatro zonas bem definidas, enquanto 25% atingiram apenas duas, evidenciando aumento da compactação do solo. Em conjunto, foram avaliados o estado radicular e a emissão foliar, que indicaram um aumento de raízes vivas de 23,5% para 39,8% no lote 12 e de 24,1% para 36,7% no lote 13 em quatro meses após aração do solo e aplicação de M.O., correlacionando-se com a redução de nematóides (de 31,0% para 23,1% no lote 12 e de 27,9% para 21,7% no lote 13); Quanto à emissão foliar, variou entre 0,68 e 1,00, sendo menor em solos compactados. Concluindo que a degradação do solo afeta negativamente o crescimento das bananeiras, por isso recomenda-se aplicar M.O, biofertilizantes, melhorar a drenagem para baixar o lençol freático alto, aplicar microrganismos eficientes para melhorar as condições físico-químicas do solo.

Palavras-chave: degradação; cromatografia; banana; compactação; atividade.

Introducción

La degradación del suelo es un problema ambiental significativo que afecta a la productividad agrícola y la sostenibilidad de los ecosistemas. En Ecuador, uno de los principales cultivos es el banano, una industria que representa una fuente importante de ingresos y empleo. Sin embargo, el cultivo intensivo de banano puede conducir a la degradación del suelo debido a prácticas agrícolas que pueden incluir el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas (Rodríguez & Sarmiento, 2018). Los estudios y evaluaciones de la calidad de los suelos a escalas detalladas permiten diseñar programas de acción orientados a mitigar los efectos adversos derivados de sus condiciones actuales, a través de la identificación y análisis de factores limitantes. Para que los agricultores implementen prácticas que promuevan la mejora de la calidad del suelo, es fundamental que comprendan sus características físicas, químicas y biológicas. Aunque los análisis de laboratorio son una herramienta clave para adquirir dicho conocimiento, no constituyen una práctica habitual entre los agricultores de la región. Esta situación se debe principalmente a dos factores: la distancia considerable a los laboratorios y los elevados costos asociados al análisis de cada muestra (Balmaseda et al., 2021).

El monocultivo y el uso excesivo de agroquímicos conducen a la degradación de los suelos, provocando su compactación y afectando su calidad y salud (FAO, 1993). La agricultura intensiva, incluyendo los monocultivos, genera múltiples problemas en el suelo, como la erosión, pérdida de nutrientes, disminución de microorganismos y agotamiento de su fertilidad. Estas prácticas también contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero por el uso excesivo de agroquímicos y la quema de residuos agrícolas (Ministerio del Ambiente, 2014). El cultivo de banano enfrenta diversos desafíos relacionados con el desarrollo adecuado del sistema radicular y la emisión foliar, especialmente en suelos afectados por procesos de degradación. Estos problemas limitan el crecimiento y productividad de las plantas, influyendo negativamente en el rendimiento y calidad de los frutos. En este contexto, el análisis de la calidad del suelo se vuelve fundamental para comprender las causas subyacentes de estas limitaciones (Lal, 2015). Este análisis contribuye a la identificación de estrategias sostenibles para mejorar las condiciones del suelo y optimizar el desempeño de las plantas de banano en escenarios afectados. De acuerdo con Heger et al. (2012), el potencial productivo de un suelo puede evaluarse a través de indicadores que representen sus propiedades, procesos o características físicas, químicas y biológicas, los cuales reflejan su capacidad para sostener el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En Ecuador, se han registrado antecedentes sobre el uso de la cromatografía de Pfeiffer para el análisis de suelos. Heredia (2012) evaluó la calidad de suelos y compost en empresas vinculadas a ECOFAS (Ecuadorian Organic Flowers Growers Association). Sus hallazgos destacan que este método resulta útil para realizar estudios de calidad a largo plazo y brinda directrices para implementar estrategias de recuperación en suelos degradados. No obstante, no se evidenció una correlación entre los resultados obtenidos mediante cromatogramas y los análisis realizados en laboratorio (Balmaseda et al., 2021).

La cromatografía de Pfeiffer es una técnica cualitativa la cual produce un cromatograma, que consiste en un papel filtro impregnado con un extracto de suelo, el cual genera una imagen que refleja las propiedades y la calidad del suelo. En este se observan diferentes zonas, colores, formas e interacciones que representan la actividad microbiológica, el contenido de minerales y la materia orgánica del suelo (Carcoba et al., 2021).

De esta forma se representa de manera gráfica de las diferentes interrelaciones, químicas, orgánico mineral, materia orgánica, compuestos químicos, estructura física e índices de toxicidad como así también la presencia de bloqueos (Smith, 2020). Este método se basa en la impregnación de un papel filtro con una solución de nitrato de plata y una solución al 1% de hidróxido de sodio, la cual se combina con una muestra de suelo. El proceso genera un cromatograma que permite observar las propiedades del suelo y evaluar de manera cualitativa su calidad (Contarato et al., 2018). Este estudio tiene como objetivo principal determinar el nivel de degradación del suelo en plantaciones de banano mediante la aplicación de la técnica de cromatografía plana, una herramienta cualitativa que permite analizar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo. A través de este enfoque, se busca identificar los cambios en la composición del suelo y evaluar los impactos ambientales asociados a su deterioro. Los resultados obtenidos contribuirán a implementar estrategias que mitiguen los efectos negativos de las prácticas agrícolas intensivas en estos ecosistemas.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la agrícola “Mathias”, perteneciente a la Corporación Palmar (Figura 1). Específicamente, se desarrolló en los lotes 12 y 13, que abarcan un área total de 16,76 hectáreas de banano cultivadas con el clon Cavendish gigante. Estos lotes presentaron problemas en el desarrollo de las plantas, cuya causa principal estaba asociada a la degradación del suelo por

compactación, tabla de agua elevada, exceso de sales y escasa porosidad. Todos los problemas antes señalados limitan la penetración y desarrollo del sistema radicular, afectando directamente el crecimiento y productividad de las plantas.

El análisis cromatográfico fue realizado en el laboratorio "DITABA" de la empresa "AgriSum", también perteneciente a la Corporación Palmar. Este procedimiento permitió evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, fundamentales para determinar su nivel de degradación y su influencia en el rendimiento del cultivo.

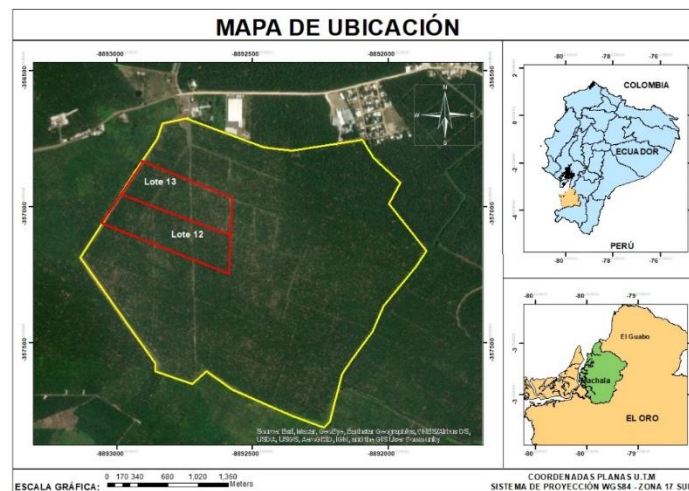


Figura 1: Ubicación del lugar de estudio

Para una mejor organización en la recolección de las muestras se dividió cada lote en tres sublotes (A, B y C) tomándose cinco submuestras en cada uno.

Procedimiento para realizar cromatografía circular de suelos

1. Selección de los puntos de muestreo

El procedimiento comienza identificando puntos estratégicos en el terreno utilizando la distribución conocida como "cinco deoros". Esto implica seleccionar cuatro puntos en las esquinas del terreno y un punto central. Para evitar contaminación de bordes, los puntos exteriores deben estar al menos a un metro dentro del límite del terreno (Restrepo & Pinheiro, 2011).

2. Recolección de las muestras de suelo

En cada punto de muestreo, se retira cuidadosamente el material orgánico superficial antes de extraer la muestra. Con un barreno, se excava de manera inclinada hasta una profundidad de 30

cm, obteniendo un grosor aproximado de 5 cm de suelo. Las cinco muestras recolectadas se mezclan completamente en una cubeta para homogenizar el material (Chollet et al., 2022).

3. Preparación de la muestra representativa

La mezcla se extiende sobre una superficie limpia y se divide en cuatro partes iguales. Dos de estas partes se descartan, y el proceso se repite hasta obtener aproximadamente 0.5 kg de suelo representativo. La muestra final se guarda en una bolsa debidamente etiquetada. La etiqueta debe incluir información como la localidad, la fecha de muestreo, el historial de la parcela (cultivos previos, fertilización, labranza y sistemas de riego), la profundidad de la muestra y el nombre del responsable del muestreo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

4. Secado de la muestra

La muestra recolectada se deja secar bajo sombra durante al menos dos días. Este tiempo puede variar dependiendo de las condiciones climáticas. El secado es fundamental para preservar las características del suelo y garantizar un análisis cromatográfico de calidad.

5. Preparación de las soluciones:

Preparación de la solución de hidróxido de sodio (NaOH): Para preparar la solución de hidróxido de sodio al 1%, se mezclaron 10 gramos de NaOH con 1 litro de agua destilada. En el caso de trabajar con 18 muestras por día, se necesitaron 900 ml de esta solución, que se distribuyó en vasos individuales, añadiendo 50 ml por muestra. A cada vaso se le agregaron 5 gramos de suelo seco pulverizado. La mezcla se agitó siguiendo un patrón: 7 giros a la derecha y 7 giros a la izquierda, repitiendo el ciclo hasta completar 49 giros. Posteriormente, se dejó reposar por 15 minutos, se agitó nuevamente y se permitió un reposo de una hora. Finalmente, se realizó una última agitación y se dejó en reposo absoluto por 6 horas para obtener el sobrenadante, el cual fue utilizado en etapas posteriores del procedimiento.

Preparación de la solución de nitrato de plata (AgNO_3): Se preparó una solución de nitrato de plata al 0,5%, disolviendo 0.5 gramos de AgNO_3 en 100 ml de agua destilada. Para el caso de 18 muestras por día, se mezclaron 21,6 ml de agua destilada con 0,108 gramos de nitrato de plata. Esta solución fue manipulada en un ambiente oscuro para prevenir su degradación por la exposición a la luz y fue utilizada de manera inmediata. Se deja que la solución alcance la marca de 4 cm en el papel de filtro y posteriormente, se retira el papel de la placa de Petri desechando el cilindro (Domínguez et al., 2022).

6. Preparación de los papeles de filtro

Se seleccionaron papeles de filtro de 12,5 centímetros de diámetro y se les realizó un agujero central de aproximadamente 2 milímetros. Se realizaron marcas circulares a 4 y 6 cm desde el centro, las cuales sirvieron como referencia. Además, se perforó el centro con un orificio de 2 mm aproximadamente, y se elaboraron pabilos cortando cuadrados de 2x2 cm. Estos pabilos fueron utilizados posteriormente en los procedimientos de impregnación con las soluciones.

7. Realización de la cromatografía

Impregnación del papel filtro con la solución de nitrato de plata: Cada papel filtro fue impregnado con 1.2 ml de la solución de AgNO_3 , utilizando una jeringa para distribuir la solución uniformemente. Una vez impregnados, los papeles filtro fueron colocados en una caja de secado durante 4 horas (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Impregnación del papel filtro con la solución de hidróxido de sodio y extracto de suelo: Transcurridas las 6 horas de reposo de la solución de hidróxido de sodio, se extrajo cuidadosamente el sobrenadante con jeringas individuales para cada muestra. Los papeles filtro previamente impregnados con nitrato de plata fueron nuevamente utilizados. Se insertó un nuevo pabilo en los papeles filtro y se impregnaron con el extracto de suelo hasta alcanzar la marca de 6 cm. Una vez alcanzada esta marca, se retiraron los pabilos y los papeles filtro se colocaron en la caja de secado. Para evitar manchas y facilitar el secado, los cromatogramas se colocaron entre dos hojas de papel absorbente, que a su vez se ubicaron entre dos hojas de papel blanco.

8. Secado y revelado de los cromatogramas:

Se dejó en la caja de secado durante dos días. Posteriormente, se expusieron gradualmente a luz solar indirecta para completar el proceso de revelado, el cual tomó aproximadamente 15 días. Este paso fue crucial para garantizar la calidad, claridad y consistencia de los resultados cromatográficos.

9. Interpretación de los cromatogramas: Basado en el trabajo de (Restrepo & Pinheiro, 2011), se analizaron los cromatogramas observando patrones, colores y zonas concéntricas formadas en el papel. Estas características permitieron evaluar parámetros como el contenido de materia orgánica, la actividad microbiana y la estructura del suelo. Las comparaciones entre las muestras fueron fundamentales para identificar diferencias significativas en las propiedades del terreno estudiado. Este análisis cualitativo brindó información clave para la gestión y conservación del suelo.

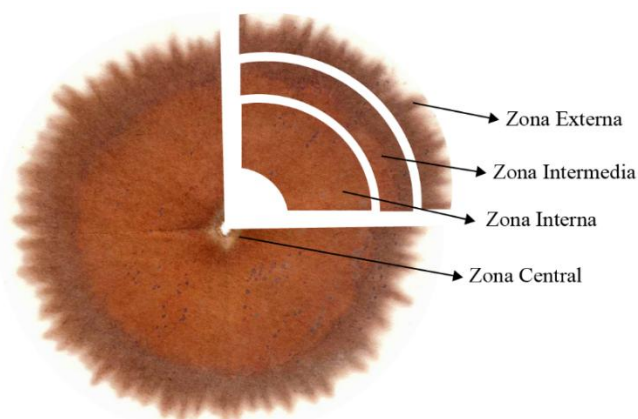


Figura 2: Identificación de Zonas del cromatograma en una muestra de suelo bananero

Fuente: Autores

Análisis de la información

Para evaluar el recurso mediante cromatografías circulares planas (CCP), se aplicó una escala de análisis (Tabla 1) que asigna puntajes a aspectos como el color, la presencia de dientes, las nubecillas y la integración de las zonas. Además, para analizar la relación entre las variables medidas y el uso del suelo, se recurrió a una interpretación gráfica de cada una de las variables evaluadas (Aguirre et al., 2019).

Tabla 1: Escala de evaluación de CCP para los diferentes lotes estudiados con muestreo a 10, 20 y 30 cm de profundidad

CARACTERÍSTICA 1		CARACTERÍSTICA 2		CARACTERÍSTICA 3	
Color (C)	Grado	Tipo de Diente (D)	Grado	Diferenciación de zonas (Z)	Grado
Amarillo-Claro resplandeciente	3	Dientes en forma de caballo	4	Presenta 4 zonas bien definidas	3
Amarillo opaco	2	Dientes en forma de maíz	3	Presenta 3 zonas	2
Oscuro	1	Dientes en forma de Aguja irregulares	2	Presenta 2 zonas	1
Colores marrones	0	Dientes puntiagudos	1		
		Plano sin bordes circular	0	No se distingues zonas	0

Fuente: (Aguirre et al., 2019)

Resultados y Discusiones

Análisis previos de emisión foliar y estado de sistema radicular

La evaluación temporal de la emisión foliar en los lotes 12 y 13, segmentados por sectores (A, B y C) presenta patrones diferenciados en el crecimiento foliar entre los sectores, así como variaciones que parecen responder tanto a factores internos del sistema de producción como a posibles condiciones ambientales. La tabla 3 muestra el promedio del estado obtenido en la emisión foliar semanal en los dos lotes hasta el inicio del periodo de floración. Los datos organizados por semanas consecutivas permitieron evaluar el desarrollo foliar progresivo en el tiempo. Los valores de promedio del estado foliar por semana oscilan entre 0.68 y 0.96, indicando un crecimiento gradual en el desarrollo foliar a medida que avanza el tiempo, con variaciones que pueden estar relacionadas con las condiciones específicas de manejo, fertilización, o microclima dentro de los lotes. El comportamiento observado en los datos es consistente con estudios que relacionan el estrés abiótico, como la compactación del suelo o la variabilidad hídrica, con una reducción temporal en la emisión foliar. Según Villarreal et al., (2008), la compactación del suelo, el inadecuado manejo del drenaje, el reducido nivel de materia orgánica y la baja actividad microbiana representan los principales factores que afectan el desarrollo radicular y la productividad del banano. Las capas de suelo compactado restringen el crecimiento de las raíces y alteran las características que regulan el flujo de agua y aire en el suelo (Villarreal-Núñez et al., 2025).

Tabla 3: Promedio de la emisión foliar por semana hasta el inicio de la floración

Semana	Lote 12			Lote 13		
	A	B	C	A	B	C
1-2	0.8	0.76	0.88	0.84	0.84	0.84
2-3	0.84	0.88	0.92	0.84	0.88	0.96
3-4	0.84	0.88	0.84	0.72	0.76	0.88
4-5	0.92	0.96	0.88	0.88	0.88	0.92
5-6	0.92	0.8	0.8	0.88	0.92	0.8
6-7	0.84	0.92	0.88	0.84	0.92	0.84
7-8	0.88	0.92	0.88	0.88	0.88	0.88
8-9	0.84	0.92	0.92	0.92	0.88	0.92
9-10	0.85	0.95	0.92	0.96	0.88	0.92
10-11	0.87	0.76	1	0.96	0.92	0.96
11-12	0.8	0.68	0.92	0.96	0.92	0.76

En el Lote 12, los bloques A, B y C muestran valores uniformes, con máximos de 0.92 a 0.96 en las semanas 4-6 y 9-10, lo que refleja una sincronización en el desarrollo foliar. En el Lote 13, los valores también son consistentes entre réplicas, destacando el bloque A en la semana 10-11 con un promedio de 1.0, posiblemente por diferencias en fertilización o densidad foliar. Este análisis destaca un manejo agronómico adecuado en general, siendo las variaciones observadas clave para ajustar prácticas culturales y optimizar el desarrollo vegetativo del cultivo de banano. El análisis del estado radicular (Tabla 4) evidenció un aumento progresivo del porcentaje de raíces vivas del primer al cuarto mes (de 23.5% a 39.8% en el lote 12 y de 24.1% a 36.7% en el lote 13), correlacionándose con la reducción en el porcentaje de nematodos durante el mismo período.

Tabla 4. Porcentajes de raíces vivas, muertas y afectadas por nematodos

Lote		Primer mes		Segundo mes		Tercer mes		Cuarto mes	
		g	%	g	%	g	%	g	%
12	Vivas	19.0	23.5	64.0	36.5	67.3	37.2	78.3	39.8
	Muertas	35.7	45.5	68.7	40.8	70.7	40.5	72.0	37.1
	Afectadas/Nematodos	25.0	31.0	39.3	22.6	40.7	22.5	45.7	23.1
13	Vivas	17.3	24.1	63.0	35.2	64.7	35.4	73.7	36.7
	Muertas	32.3	43.4	69.3	43.0	68.0	40.7	74.7	40.7
	Afectadas/Nematodos	20.7	27.9	41.0	20.6	45.7	22.8	47.7	21.7



Figura 3: Identificación de raíces con nematodos

Fuente: Autores

El aumento de raíces vivas y la reducción de nematodos en el tiempo sugieren que las estrategias de manejo implementadas, posiblemente prácticas agroecológicas, han mejorado la salud del suelo.

Zhang & Shen, (2019) concluyen que la diversidad microbiana puede potenciar la supresión de patógenos como los nematodos, lo cual coincide con los resultados obtenidos.

Resultados de cromatografías

Las características observadas en la tabla 5 pertenecen a muestras representativas de suelo recolectadas en los lotes 12 y 13, subdivididos en bloques A, B y C, correspondientes a diferentes profundidades (10, 20 y 30 cm). Los parámetros registrados incluyen el color del suelo, el tipo de diente observado en el cromatograma y la diferenciación de zonas, indicadores que permiten evaluar el estado fisicoquímico y biológico del suelo en cada unidad de estudio. Según Saavedra et al., (2018), la cromatografía de Pfeiffer es un método práctico y eficaz que permite identificar de forma rápida las características y el estado de un suelo. Estos resultados son fundamentales para analizar la uniformidad, variabilidad y nivel de degradación del suelo, así como su influencia en el desarrollo del cultivo en los lotes estudiados.

Tabla 5: Tabla de características observadas en muestras representativas en cada lote y bloque de estudio

Lote	Bloque	Profundidad (cm)	Muestra	Color	Tipo de Diente	Diferenciación de zonas
12	A	10	M3-12A-10	1	2	2
		20	M1-12A-20	2	2	2
		30	M4-12A-30	2	1	3
	B	10	M1-12B-10	2	1	2
		20	M3-12B-20	1	2	2
		30	M4-12B-30	2	1	3
	C	10	M2-12C-10	1	2	1
		20	M4-12C-20	2	1	3
		30	M4-12C-30	2	1	3
13	A	10	M2-13A-10	1	2	1
		20	M3-12A-20	1	2	2
		30	M3-13A-30	2	1	3
	B	10	M4-13B-10	2	1	3
		20	M2-13B-20	1	2	1
		30	M1-13B-30	2	2	2
	C	10	M2-13C-10	1	2	1
		20	M1-13C-20	2	1	1
		30	M3-13C-30	2	1	3

Análisis cromatográfico

El análisis de las muestras de CCP reveló patrones distintivos que reflejan variaciones en la actividad microbiana y la calidad del suelo. Los cromatogramas (Figura 2) mostraron zonas concéntricas con tonalidades que varían desde anillos más claros en el centro hasta marrones oscuros hacia la periferia, indicando diferencias en la concentración de compuestos orgánicos y actividad biológica.

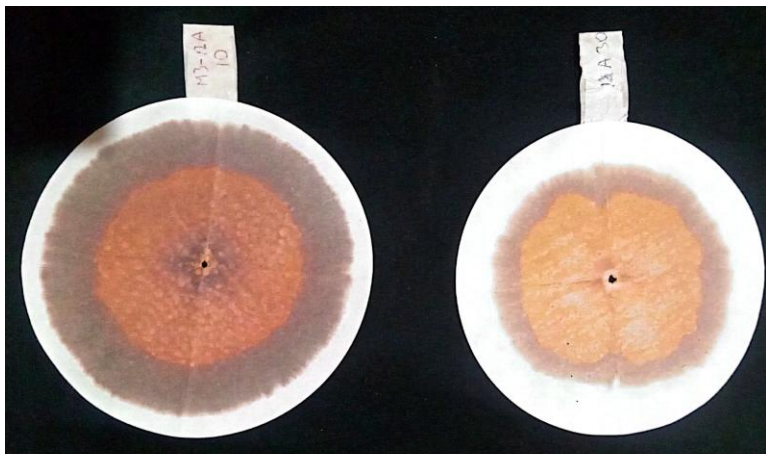


Figura 4: Comparación de colores de dos muestras de cromatogramas

Fuente: Autores

El análisis cromatográfico realizado permitió observar patrones claros y oscuros en la calidad del suelo y su actividad biológica, tal como se observa a continuación en 4 muestras seleccionadas.

Tabla 6: Muestra M3-12A-10

Zonas	Color
Zona 1. Central u oxigenación	Pardo claro
Zona 2. Interna o mineral	Pardo oscuro
Zona 3. Intermedia o de materia orgánica	Pardo claro
Zona 4. Externa o nutricional	Pardo oscuro



Figura 5: Cromatograma M3-12A-10

Fuente: Autores

En la muestra se observa una zona central de color pardo claro indicando una baja oxigenación, lo cual está asociada a la compactación excesiva en el suelo. En la zona mineral, su color indica que no hay diversidad biológica y no está diferenciada a causa de la compactación del suelo, lo cual coincide con lo mencionado por Iñiguez (2023), quien indica que cuando un suelo está altamente mineralizado y destruido presenta una coloración pardo negruzco, debido a la ausencia de materia orgánica y baja actividad biológica.

La zona intermedia muestra presencia de materia orgánica, aunque no se observa la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos; en la zona externa la interacción entre microorganismos y materia orgánica es baja y tiene deficiente actividad enzimática. Según Aguirre et al., (2019), la característica ideal en esta zona sería nubecillas separadas de los dientes, lo cual indican abundantes nutrientes en el suelo de forma estable por mucho tiempo.

Tabla 7: Muestra M1-13C-20

Zonas	Color
Zona 1. Central u oxigenación	Gris
Zona 2. Interna o mineral	Pardo oscuro
Zona 3. Intermedia o de materia orgánica	Pardo claro
Zona 4. Externa o nutricional	Pardo oscuro



Figura 6: Cromatograma M1-13C-20

Fuente: Autores

Se observa una zona central de color gris, lo cual indica poca oxigenación; además no presenta una transición suave hacia la zona mineral lo cual da indicios de compactación en el suelo. La zona interna indica que el suelo está mineralizado con poca materia orgánica sin actividad biológica; al no estar diferenciada se determina que no se encuentra integrada al suelo. Para esto, trabajos como el de Shintani et al., (2000) indican que para mejorar los suelos y cuidar el medio ambiente una

alternativa son los abonos orgánicos fermentados en condiciones aerobias, utilizando recursos locales de bajo costo en su elaboración.

Tabla 8: Muestra M1-13C-20

Zonas	Color
Zona 1. Central u oxigenación	Gris oscuro
Zona 2. Interna o mineral	Pardo oscuro
Zona 3. Intermedia o de materia orgánica	Pardo oscuro
Zona 4. Externa o nutricional	Pardo oscuro

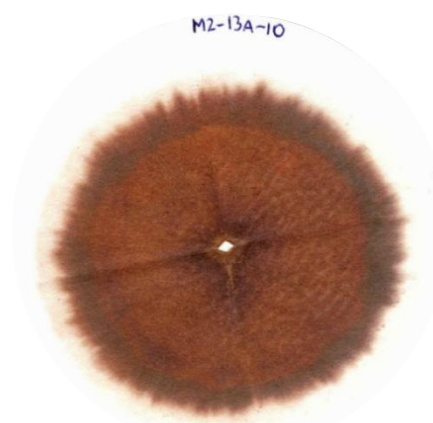


Figura 7: Cromatograma M2-13A-10

Fuente: Autores

La coloración gris en la zona central, de nuevo indica señales de poca oxigenación evidenciando la compactación que se presenta en el suelo, por ende, la zona mineral exhibe erosión y problemas de compactación. En la zona intermedia hay materia orgánica, pero con poco grado de descomposición; las puntas en forma de agujas irregulares son indicadores de baja actividad microbiológica humificadora. Esto coincide con lo dicho por Balmaseda et al. (2021) el cual indica que los colores oscuros que se encuentran en la zona intermedia revelan la débil actividad biológica presente en los suelos y sus bajos contenidos de materia orgánica.

Tabla 9: Muestra M4-12C-20

Zonas	Color
Zona 1. Central u oxigenación	Pardo claro
Zona 2. Interna o mineral	Pardo oscuro
Zona 3. Intermedia o de materia orgánica	Pardo claro



Zona 4. Externa o Pardo claro
nutricional

Figura 8: Cromatograma M4-12C-20

Fuente: Autores

La falta de oxigenación en la zona central e interna evidencian que el suelo esta compactado, muy mineralizado y uniforme. Luego de la zona mineral, se observó un color pardo claro lo que indica pocos materiales orgánicos y bloqueados.

Tablas de frecuencias de las características observadas en cromatografía

Las tablas de frecuencias (Tabla 10) mostraron que el 61.1% de los cromatogramas presentaron un color amarillo opaco, mientras que el 38.9% se clasificaron como oscuros. Estas tonalidades están asociadas con una menor actividad microbiana y una posible deficiencia en el contenido de materia orgánica.

Tabla 10: Tabla de frecuencias observadas para el color

Color	Porcentaje			
	Frecuencia	Porcentaje	válido	Porcentaje acumulado
Oscuro	28	38.9	38.9	38.9
Amarillo opaco	44	61.1	61.1	100.0
Total	72	100.0	100.0	

Los resultados de los cromatogramas confirman la degradación del suelo en las parcelas analizadas. Según Hernández et al. (2021), los colores opacos y la baja diferenciación de zonas reflejan una pérdida de materia orgánica y actividad microbiana, lo que afecta negativamente la estructura del suelo y su fertilidad. Esto está en concordancia con estudios que señalan que el monocultivo y el uso excesivo de agroquímicos son las principales causas de la compactación y pérdida de calidad de los suelos agrícolas. En cuanto a las formas de los dientes observados (Tabla 11) en los cromatogramas, el 54.2% presentó "formas de aguja irregulares" y el 45.8% "dientes puntiagudos", lo cual sugiere una estructura del suelo con baja estabilidad física. Adicionalmente, el análisis de la diferenciación de zonas (Tabla 12) mostró que un 37.5% de los cromatogramas exhibieron tres y cuatro zonas bien definidas, mientras que un 25% apenas alcanzó dos zonas. Esto refuerza la

hipótesis de que las prácticas agrícolas intensivas han reducido significativamente la heterogeneidad natural del suelo.

Tabla 11: Tabla de frecuencias observadas para el tipo de diente

Tipo de diente				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Dientes puntiagudos	33	45.8	45.8	45.8
Forma de Aguja irregulares	39	54.2	54.2	100.0
Total	72	100.0	100.0	

La presencia de formas de dientes irregulares y una diferenciación limitada de zonas en los cromatogramas sugiere un suelo con baja porosidad y problemas en su estructura física. Este hallazgo se alinea con los trabajos de Chollet et al. (2022), quienes reportaron que los suelos compactados presentan una menor capacidad para retener agua y nutrientes, afectando el desarrollo radicular de los cultivos.

Tabla 12: Tabla de frecuencias observadas para la diferenciación de zonas

Diferenciación de zonas				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
2 zonas	18	25.0	25.0	25.0
3 zonas	27	37.5	37.5	62.5
4 zonas	27	37.5	37.5	100.0
Total	72	100.0	100.0	

El gráfico de barras muestra el recuento de frecuencias para diversas categorías observadas en las cromatografías realizadas en los lotes 12 y 13 de la bananera, evaluadas a profundidades de 10 cm, 20 cm y 30 cm (Figura 7). En cuanto al color, la categoría amarillo opaco predomina con frecuencias de 15, 14 y 15 a 10, 20 y 30 cm, respectivamente, lo que indica una posible presencia de material orgánico oxidado en el suelo. Por su parte, el color oscuro presenta valores menores y estables, con un leve incremento a mayor profundidad.

En cuanto al tipo de dientes, se observó con mayor frecuencia la forma de aguja irregular a una profundidad de 20 y 30 cm. Por último del total de las muestras se identificó en su mayoría entre 3 y 4 zonas a 20 y 30 cm de profundidad respectivamente lo que evidencia homogeneidad en la estructura del suelo. Sin embargo, la predominancia del color amarillo opaco, junto con la estabilidad en las demás características, indica un estado con ciertos problemas en suelo para el correcto desarrollo del banano.

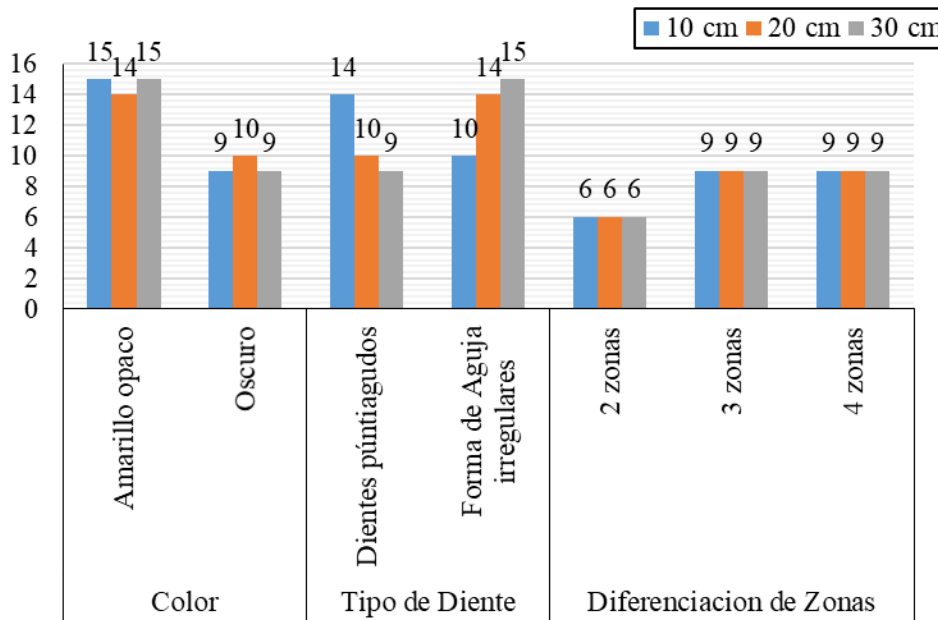


Figura 9: Recuento de frecuencias de cada categoría observada a 10, 20 y 30 cm de profundidad

Fuente: Autores

Investigaciones como las de Celestino-García et al. (2021) y Torres y Minga (2017) señalan que la cromatografía aplicada a suelos manejados bajo sistemas convencionales, caracterizados por el uso de agroquímicos, labranza mecanizada y monocultivo, evidencia una reducción en la actividad microbiana, menor presencia de materia orgánica y mayor compactación del suelo. Además, al comparar el contenido de materia orgánica y la calidad del suelo en monocultivos de maíz mediante la cromatografía de Pfeiffer, identificaron una disminución progresiva en la interacción entre materia orgánica, humedad y microorganismos del suelo. Durante la última década, se han realizado avances significativos en el estudio y aplicación de la cromatografía circular de Pfeiffer. Según Oliveira et al. (2020) y Nivia (2017), los progresos en los métodos de análisis de esta técnica

han promovido el crecimiento de investigaciones en el área. Su capacidad para proporcionar resultados cualitativos la convierte en una herramienta didáctica útil para los agricultores y en un complemento que resalta la relevancia del análisis convencional.

Conclusiones

El análisis cromatográfico reveló indicadores de degradación en el suelo de los lotes evaluados, tales como baja diferenciación de zonas y colores asociados con deficiencias de materia orgánica y actividad biológica. Estos resultados reflejan un desequilibrio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que afecta directamente su capacidad de soporte para el desarrollo radicular. La compactación observada, junto con los resultados cromatográficos, confirma que el suelo presenta limitaciones para el intercambio de gases y la penetración de raíces, comprometiendo su funcionalidad.

Los datos obtenidos sobre la emisión foliar muestran una disminución significativa en el rendimiento de las plantas en los sectores más afectados, particularmente en el lote 12. La correlación entre los resultados cromatográficos y la emisión foliar sugiere que los desequilibrios químicos y biológicos del suelo influyen negativamente en el metabolismo y crecimiento de las plantas. En las áreas con suelos más compactados y con menor diferenciación de zonas en las cromatografías, se evidenció una emisión foliar más baja y retrasada, lo cual podría estar relacionado con un estrés fisiológico debido a la limitada absorción de nutrientes esenciales.

Las cromatografías también sugieren que la estructura del suelo limita el desarrollo radicular, lo que fue corroborado por observaciones de raíces poco profundas y con características morfológicas alteradas. Esta situación refleja una deficiencia en el soporte físico del suelo y una posible reducción en la capacidad de las plantas para explorar y absorber nutrientes. La combinación de estas limitaciones afecta tanto el vigor de las plantas como su capacidad para sostener un crecimiento foliar adecuado.

Los resultados destacan la necesidad de un enfoque holístico para el manejo de suelos en sistemas de producción intensiva. La integración de herramientas analíticas como la cromatografía con indicadores de desempeño agronómico, como la emisión foliar, permite identificar problemas subyacentes y establecer estrategias específicas para mejorar la salud del suelo y la productividad de los cultivos.

Recomendaciones

- Para mitigar la degradación observada, se recomienda implementar estrategias de manejo sostenible del suelo, como la incorporación de materia orgánica, aplicación de microorganismos eficientes, cubrir la zona de fertilización con restos orgánicos (hojas, raquis, etc.)
- Además, el uso de biofertilizantes y microorganismos benéficos podría ayudar a restablecer el equilibrio biológico y mejorar las condiciones químicas y físicas del suelo, favoreciendo tanto el desarrollo radicular como la emisión foliar.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento imperecedero para AgriSun S.A., por abrimos las puertas de sus laboratorios y haber cooperado con toda la logística y asesoramiento técnico para lograr estos resultados.

Referencias

1. Aguirre, S., Piraneque, N., & Díaz, C. (2019). Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. SCIELO. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600337&lng=en&nrm=iso&tlng=en Inf. tecnol. vol.30 no.6 La Serena Dec. 2019
2. Balmaseda, C., Quevedo, N., & Cercado, E. (2021). Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de pfeiffer/ Qualitative evaluation of soils of the colonche parish through pfeiffer chromatography. Rev. Revista pertinencia académica. ISSN 2588-1019. https://www.researchgate.net/publication/370254939_EVALUACION_CUALITATIVA_DE_SUELOS_DE_LA_PARROQUIA_COLONCHE_MEDIANTE_CROMATOGRAFIA_DE_PFEIFFER_QUALITATIVE_EVALUATION_OF_SOILS_OF_THE_COLONCHE_PARISH_THROUGH_PFEIFFER_CHROMATOGRAPHY
3. Carcoba Pérez, S. A., Montes Colmenares, O., Angel Jesus Aguilar Marquez, Angel Montero Díaz, & Juan Manuel Castro Reyes. (2021). Manual para la elaboración de

- cromatografía de suelos mediante el método Pfeiffer: (Método cualitativo útil en el análisis físico, nutrimental y biológico del suelo).
4. Contarato Pilon, L., Henrique Cardoso, J., & Sanches Medeiros, F. (2018). Guía práctico de cromatografía de Pfeiffer. Embrapa Documentos 455. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1097113>
 5. Celestino-García, S., Rodriguez-Vargas, G., y Silva-Flores, M. (2021). Impacto del manejo Agroecológico, de los cultivos, en el suelo.
 6. Chollet, J., Castro, F., & Paukštytė, A. (2022). Breve guía a la cromatografía circular de suelos. https://archive.org/details/UROS-cromatografia-circular-de-suelos/Zine_ES_cromatografia-circular-de-suelos_2022_digital/
 7. Domínguez, S., Boff, P., & Carissimi Boff, M. I. (2022). Cromatografía circular Pfeiffer en suelo tratado con altas diluciones dinamizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1183–1194. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3172>
 8. FAO. (1993). Desarrollo sostenible de tierras áridas y lucha contra la desertificación. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/v0265s/v0265s00.htm#Contents>
 9. Heger, T. J.; Imfeld, G. y Mitchell, E. A. (2012). Special issue on bioindication in soil ecosystems. *Ed. Note. Eur. J. Soil Biol.* 49(1):1-4.
 10. Hernández-Rodríguez, A., Ochoa-Rodríguez, B., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Sánchez-Rosales, R., Rodríguez-Roque, M. J., & Sánchez-Chávez, E. (2021). Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.844>
 11. Iñiguez, D. (2023). Universidad Nacional de Loja Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27633/1/DianaPaulina_I%C3%B1iguezOrd%C3%B3%C3%B1ez.pdf
 12. Lal, R. (2015). Restauración de la calidad del suelo para mitigar la degradación del mismo. *Sustainability*, 7 (5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
 13. Ministerio del Ambiente. (2014). Sinergias entre Degradación de la Tierra y Cambio Climático en los Paisajes Agrarios del Ecuador: Proyecto Mecanismo Mundial Ecuador “Integrando Financiamiento de Cambio Climático en estrategias de inversión de

- Manejo Sostenible de la Tierra.”
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
14. Nivia, I. (2017). ANÁLISIS DEL USO DE LA CROMATOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA CUALITATIVA DE DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13593/1030537336.pdf>
 15. Oliveira, W. S.; Costa, J. L.; Cardoso, E. P.; Teixeira, R. D. N. P. and Silva, O. M. E. 2020. Métodos de interpretação para teste de qualidade em solos a partir da cromatografia circular plana (FCC). *Braz. J. Animal Environ. Res.* 3(3):1107-1125. Doi: <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-031>
 16. Rodríguez, E., & Sarmiento, L. (2018). Impacto del cultivo intensivo de banano en la calidad del suelo y agua en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 12(3), 221- 235.
 17. Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). CROMATOGRAFÍA.: IMAGENES DE VIDA Y DESTRUCCIÓN DEL SUELO. CEP-Banco de la República. ISBN 978-958-44- 8582-3
 18. Saavedra, T. M., Figueroa, G. A., & Caballero, V. P. (2018). Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 665–673.
<https://www.redalyc.org/journal/2631/263158442014/html/>
 19. Shintani, M.; Leblanc, H. y Tabora, P. (2000). Bokashi (abono orgánico fermentado), tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Guía práctica. EARTH primera edición. Guacimo, Limón, Costa Rica.
 20. Smith, D. (2020). *Chromatographic Methods in Environmental Analysis*. London: Springer.
 21. Torres, M. E., y Minga, N. (2017). La cuestión tecnológica en la matriz productiva del maíz. *Agronegocio y agroecología en Pindal y Calvas*. Loja- Ecuador. Sur Academia: *Revista Académica-Investigativa de la Facultad Jurídica, Social y Administrativa*, 4(7), Article 7.

- <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/suracademia/article/view/477> Villarreal-Núñez, J., Pla-Sentis, I., Agudo-Martínez, L., Villaláz-Perez, J., Rosales, F., & Pocasangre, L. (2025). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 301–315. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200007
22. Villarreal, JE; Agudo, L; Villaláz, J; Arosemena, J; Rosales, F; Pocasangre, L; Delgado, gE. 2008. Calidad de suelos bananeros de Panamá. I Congreso Internacional de Plátano y banano. David, Panamá, IDIAP-CIAOC. p. 41-45.
23. Zhang, J., Shen, JL (2022). Efectos del biocarbón en la diversidad microbiana del suelo y la estructura de la comunidad en suelos arcillosos. *Ann Microbiol* 72, 35. <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01689-1>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).