

Destacado papel de la cromatografía circular de Pfeiffer en el análisis integral de suelos y abonos orgánicos

Ofelia Adriana
Hernández
Rodríguez.
Damaris Leopoldina
Ojeda Barrios.
Graciela Dolores
Avila Quezada

Recibido:
1 de junio de 2025
Aceptado:
23 de junio de 2025

Resumen

Para los productores agrícolas, es fundamental conocer las condiciones de sus suelos y abonos orgánicos para mejorar sus cultivos. Aunque existen análisis tradicionales en laboratorios, estos son lentos y costosos porque requieren equipo y personal especializado, lo que aumenta los gastos y limita su uso frecuente. La técnica de cromatografía circular de Pfeiffer es una alternativa económica, rápida y accesible para evaluar de manera integral la calidad de suelos y abonos. Este escrito busca explicar sus características y promover su uso entre los agricultores, ya que es una técnica innovadora, eficiente y fácil de usar.

Palabras clave:

Cromatograma, Prueba de croma, Chroma test.

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reconoce que los suelos sanos son un recurso no renovable cuya conservación es esencial para la seguridad alimentaria y el futuro (FAO, 2015). De acuerdo con Yang et al. (2020) un suelo sano mantiene su capacidad para funcionar dentro de los ecosistemas sosteniendo la biodiversidad del planeta, mejorando la salud ambiental y la de la humanidad, apoyando la productividad de las plantas y los animales. En este sentido, la incorporación de abonos orgánicos juega un papel importante en la mejora y conservación de la salud del suelo (Islam et al., 2020), al mejorar los procesos de infiltración y capacidad de retención de humedad (Bonanomi et al., 2014), incrementar gradualmente el contenido de materia orgánica humificada, mejorar la aireación, evitar la erosión y aumentar la disponibilidad de nutrientes (Mahmud et al., 2018). Sin embargo, la FAO estima que anualmente, en el mundo, se pierden entre 5 y 7 millones de hectáreas de suelo fértil por minuto, que equivalen a cerca de 30 canchas de fútbol. Las prácticas agrícolas inadecuadas y el uso de insumos químicos en la agricultura convencional han provocado un profundo impacto y dramáticas afectaciones en el medio rural (Abad-Santana,

2018).

Además, dentro de la agricultura convencional mucha información no está disponible para el productor, por ejemplo, la valoración de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas, así como del estado de madurez y estabilidad de los residuos orgánicos degradados en la producción de abonos orgánicos, ya que su análisis se realiza mediante metodologías costosas, demoradas en tiempo y muchas veces inaccesibles para los productores (López y Martínez, 2019; Ford et al., 2019; Barros y Silveira 2022).

En contraste, la cromatografía circular de Pfeiffer (CPCP) es una técnica sencilla, rápida, de bajo costo y que puede ser implementada directamente por los campesinos, productores, técnicos y estudiantes para acompañar las operaciones vivas de la agricultura en la tarea de determinar la calidad de los abonos orgánicos y de la salud del suelo (Medina et al., 2018; Burle y Figueiredo, 2019) promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y responsables.

El análisis por cromatografía de papel ofrece una serie de ventajas: en el cromatograma la separación de un grupo analítico de elementos se realiza automáticamente, por lo que la cromatografía es un micrométodo para la separación de elementos, con alta sensibilidad para mostrar diferencias en organizaciones biológicas y la actividad metabólica general (Fernández, 2001). Con base a lo anterior se plantea como objetivo del presente trabajo, exponer las características de la cromatografía circular de Pfeiffer en el análisis integral de suelos agrícolas y abonos orgánicos, que permiten proponerla como un procedimiento accesible al productor, contribuyendo en incrementar cada vez más nuestro conocimiento del grado de mejoramiento o empobrecimiento de nuestros suelos, y de la calidad de los abonos orgánicos que se producen.

Desarrollo

La cromatografía en papel

La química analítica es una disciplina fundamental en la ciencia química, y su comprensión es esencial para el desarrollo de técnicas precisas y confiables. Según Skoog et al. (2018) los fundamentos de la química analítica proporcionan la base para entender y aplicar diversas metodologías en el análisis de sustancias químicas. Entre estas técnicas, la cromatografía en papel ha sido una herramienta valiosa durante décadas. García y López (2020) señalaron que, a pesar de los avances tecnológicos, la cromatografía en papel sigue siendo una técnica moderna y versátil, especialmente útil en la separación de compues-

tos complejos.

El término “cromatografía” viene de las palabras griegas *chromatos* que significa “color” y *graphein* que quiere decir “escribir” (Rushikesh et al., 2024).

Cromatografía en papel circular

La cromatografía en papel se usa para realizar análisis cualitativos y no requiere de ningún tipo de equipamiento. Los componentes esenciales de un sistema cromatográfico son los siguientes: una fase fija o estacionaria, que se refiere al material sólido que capta las partículas de la sustancia que pasa a través de él, constituida generalmente por un sólido granular finamente dividido; una fase móvil, que se refiere al líquido que transporta la mezcla de las sustancias a través de un material adsorbente y los sustratos o solutos, dos o más sustancias que hay que separar (Rushikesh et al., 2024).

La cromatografía en papel es una técnica utilizada para separar compuestos químicos disueltos aprovechando sus diferentes velocidades de migración a través de hojas de papel. Se trata de una herramienta analítica que requiere muy poca materia prima (Rushikesh et al., 2024).

La cromatografía circular de Pfeiffer

Ehrenfried Pfeiffer (1899-1961) percibió que un suelo fértil es una sofisticada biofábrica en la que los microorganismos continuamente crean, transforman y desmontan complejas moléculas orgánicas e inorgánicas, y para comprender este universo se puso a estudiar a fondo la microbiología. Se ocupó de ahondar en las relaciones entre la química, la fertilidad y la vitalidad del suelo, lo cual es denominado salud del suelo (Fernández y Ramírez, 2021). En 1934 diseñó el método que precisa de papel filtro redondo, lo que fue llamado Cromatografía en Papel Circular, Prueba de Cromo o *Chroma Test* (CPCP), método que sirve para leer la calidad de los suelos y abonos orgánicos basada en muestras conocidas (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Pfeiffer encontró que una solución de hidróxido de sodio al 1%, en una muestra de suelo era suficiente para solubilizar las sustancias nitrogenadas del metabolismo de los microorganismos presentes en ella y reaccionaba en un papel filtro circular impregnado con nitrato de plata, para después revelar una serie de colores, formas y distancias específicas, lo que se le conoce como técnica de separación y análisis de sustancias complejas para identificar patrones de comportamiento de suelos en sus dos fases, una móvil y otra estacionaria (Restrepo y Pinheiro 2011).

Información que aporta el cromatograma de Pfeiffer

La descripción de los cromatogramas generados mediante la

CPCP permite realizar el análisis cualitativo de suelos y abonos orgánicos a través de las zonas que lo componen, su tamaño, forma y colores revelados, así como demás constituyentes los cuales son vinculadas a indicadores de calidad (Domínguez et al., 2018; Balmaseda-Espinosa 2021) (Figura 1).

Los anillos del cromatograma denominados son las siguientes:

Zona Central. Es un indicador del contenido de oxígeno en las sustancias analizadas, por ese lugar circulan todas las sustancias presentes en la muestra; en caso de que esta zona no exista se considera que es debido a consideraciones de contaminación de la muestra por abonos inorgánicos o manejo inadecuado. Cuando el color de esta zona es negro, marrón oscuro o gris se ha relacionado con suelos tratados con prácticas intensivas de manejo químico (Restrepo y Pinheiro, 2011), indicando falta de estructura y compactación (Balmaseda-Espinosa, 2021). Además, si el color es blanco y la transición con la siguiente zona es muy fuerte se ha explicado con una gran cantidad de nitrógeno, normalmente relacionado con aplicaciones constantes de fertilizantes químicos nitrogenados (Medina et al., 2018). La falta de integración entre la zona central y la interna evidencia la posible compactación del suelo y débil transmutación de minerales presentes en el suelo (Balmaseda-Espinosa, 2021).

El centro del cromatograma con coloración blanco cremoso y que se desvanece suavemente para integrarse a la zona siguiente es el que se presenta en suelos bien aireados, no compactados, de buena textura, de alto contenido de materia orgánica y actividad enzimática y microbiológica (Restrepo y Pinheiro, 2011). Hernández-Rodríguez et al. (2021) encontraron que la zona central se asocia con la concentración de Zn^{2+} en los suelos, en el que a menor tamaño de la zona menor es el contenido de Zn^{2+} . Además, informaron sobre la relación del tamaño de esta zona con el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, en que conforme aumenta la zona central el porcentaje de MO tiende a aumentar, lo cual ayudará a que los suelos sean de mejor calidad (Aguirre et al., 2019).

Zona Interna. Está localizada después de la zona central, se le conoce como zona mineral o de mineralización, porque ahí

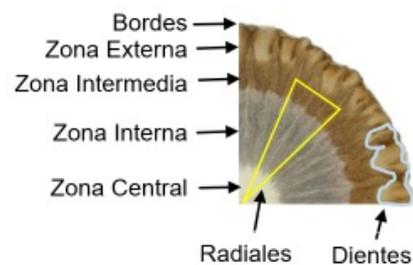


Figura 1. a) Interpretación integral del cromatograma, y b) Características del cromatograma: zonas, radiales, bordes, dientes (Restrepo y Pinheiro 2011).

a)

b)

se concentran las sustancias más pesadas y las reacciones con los minerales; esta zona puede estar o no integrada con la zona siguiente y eso aporta elementos para interpretar las prácticas a las que se sometió ese suelo (Restrepo y Pinheiro, 2011). Si esta zona se presenta de color pardo negruzco es indicativo de un suelo compactado, mineralizado, con la MO destruida y ausencia de actividad biológica (Medina et al., 2018). Por otro lado, una coloración blanca de forma irregular de la zona interna trata del uso de fertilizantes y estiércol, mientras que el color dorado con una franja bien definida, indica que los minerales están aislados de la poca MO, microbiología y actividad enzimática como consecuencia de un suelo desnudo y erosionado (Medina et al., 2018).

Cuando en la zona mineral se observan anillos de diversos colores, tonos grises oscuros a pardo rojizo, reflejan el mal estado evolutivo y no saludable del suelo (Balmaseda-Espinosa, 2021). Otro aspecto a considerar, es el tamaño de esta zona ya que guarda relación con la concentración de Mg^{2+} y Cu^{2+} , en el que a menor ancho de la zona interna menor es el contenido de ambos nutrientes y conforme la zona interna tiende a aumentar de tamaño el contenido de nutrientes también lo hace (Hernández-Rodríguez et al., 2021). Además, Kokornaczyk et al. (2016) encontraron relación en el contenido de fósforo extraíble (Pe) con esta zona.

Zona Intermedia. Es el tercer anillo y se encuentra localizada enseguida de la zona mineral, es un indicador de procesos de transformación en las sustancias. El grosor de esta zona indica la proporción de MO, la integración de esta zona con la siguiente indica el desarrollo de la actividad biológica, pero cuando hay bloqueo de esta zona se puede considerar que la MO ha sufrido de un proceso de momificación (Restrepo y Pinheiro, 2011). En caso de que posea una coloración marrón oscuro, indica que la MO aún está en proceso de descomposición por la poca actividad biológica y bajo contenido de MO. Por lo tanto, en esta zona se puede valorar también el proceso de humificación e integración de la MO en un suelo (Balmaseda-Espinosa, 2021).

Si la zona intermedia se encuentra ausente, es indicativo de la escasa MO en el suelo, mientras que colores café claro manifiesta armonía entre MO, minerales y microbiología, señal de buena salud del sistema (Medina et al., 2018).

Por otro lado, el contenido de Fe^{2+} y Mg^{2+} en los suelos se ha relacionado con el tamaño de la zona intermedia, mostrando que, a medida que disminuye el ancho de esta zona, también disminuye el contenido de Fe^{2+} . En tanto que, cuando el ta-

maño de la zona es menor, se observa un mayor contenido de Mg^{2+} (Hernández-Rodríguez et al., 2021).

Zona Externa. También llamada zona enzimática y nutricional que cuando se observa de color café, es un indicador del nitrógeno enlazado y de formas estables de coloides del humus del suelo, y representan abundancia y variedad nutricional disponible permanentemente. En esta zona se encuentran diferentes factores enzimáticos asociados con la formación de proteínas, vitaminas, hormonas y otros compuestos orgánicos (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Medina et al. (2018) indicaron que la zona externa en suelos con manejo orgánico se presenta con ondulaciones y lunares suaves como indicativo de la relación de la MO con los minerales y la microbiología. Mientras que, cuando esta zona se encuentra ausente es indicativo de suelos con manejo convencional, y de acuerdo con (Balmaseda-Espinosa, 2021) la terminación plana, circular, sin bordes complementa el criterio de un suelo deteriorado.

Restrepo y Pinheiro (2011) establecieron que la zona externa es la zona que representa la nutrición del suelo, en que el fósforo extraíble (Pe) presenta relación lineal positiva, en donde al aumentar el ancho de la zona externa el contenido de Pe también aumenta (Hernández-Rodríguez et al., 2021). Además, se ha relacionado positivamente con el contenido de MO y nitrógeno total TN (Kokornaczyk et al., 2017), con las enzimas fosfatasa ácida y arilsulfatasa (Graciano et al., 2020), el carbono orgánico total y la actividad microbiana (Ford et al., 2021).

La integración de las zonas, central, interna, intermedia y externa, indica abundante actividad enzimática, con buena presencia de MO y minerales integrados por la actividad microbiológica como consecuencia de la labranza ecológica (Medina et al., 2018). Aguirre et al. (2019) argumentaron que la falta de armonía entre los componentes del cromatograma se deberá posiblemente a que la diversidad biológica está restringida y la formación enzimática es escasa.

También se deben observar otro tipo de componentes como la presencia de radiales y hoyos y la forma de bordes y dientes:

Radiales. Son el indicador de actividad enzimática y/o actividad biológica en una muestra. Son líneas que parten de la zona central y que pueden asemejar un penacho de plumas, la falta de radiaciones indica procesos de compactación, falta de estructura y nula actividad biológica (Restrepo y Pinheiro, 2011). Cuando el desarrollo radial en el cromatograma es prácticamente nulo, es otro indicador del deterioro del suelo (Balmaseda-Espinosa, 2021). Además, se ha reportado que a menor

Figura 3. Seis características diferenciales de la terminación de los bordes y dientes de un cromatograma: 1. Terminación ideal, en forma de lunares enzimáticos, 2. Terminación no ideal en forma plana circular y sin bordes, 3. Terminación no ideal en forma de dientes de caballo, 4. Terminación no ideal en forma de dientes puntiagudos, 5. Terminación no ideal en forma de agujas irregulares, y 6. Terminación no ideal en forma de granos de maíz (Restrepo y Pinheiro, 2011).

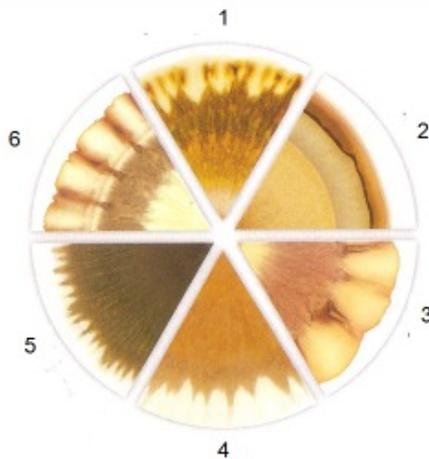


Figura 4. Patrón de colores para el análisis cromatográfico de suelos. De lado izquierdo, se presentan los colores indeseables, y del lado derecho los colores deseables (Restrepo y Pinheiro, 2011).



número de radiales mayor es el contenido de Ca^{2+} en suelos (Hernández-Rodríguez et al., 2021).

Hoyos o manchas blancas circulares aparecen frecuentemente con la presencia de colonias de microorganismos que al ser el indicador de materia viva, no aparecen en materiales sintéticos (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Bordes y dientes. En la zona externa se puede observar la manera en la que se registra la terminación de la cromatografía, lo ideal es observar la formación de picos lo que indica descomposición de la MO y procesos de formación de moléculas. Además, debe distinguirse el tipo de borde o terminación (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Nubes. Hernández-Rodríguez et al. (2021) encontraron que el número de nubes se relaciona con el contenido de arena de

los suelos en 2 niveles, resultando en que a bajo número de nubes, 19 a 50, el porcentaje de arena será menor de 39, contrastado con el número alto de nubes, entre 51 y 70, con media de 44% de arena. Los mismos autores informaron que el número de nubes también resultó ser una variable predictora para el porcentaje de MO, donde a un número de nubes bajo le corresponden porcentajes bajos de MO. Además, la presencia de nubes en la zona externa del cromatograma se ha relacionado con la abundancia y variedad de nutrientes (Aguirre et al., 2019). Además, un

incremento en el número de nubes en abonos orgánicos se ha relacionado de forma directamente proporcional con el contenido de MO de fácil descomposición y con sustancias enzimáticas para el fomento de la actividad biológica (Bracamontes et al., 2018).

Además, se debe observar la coloración, que refleja un buen estado de la muestra. Destacan los colores amarillo, dorado, anaranjado, rojizo o café claro y tonalidades verdosas. Cuando se observan tonalidades ocres muy claras y oscuras es un indicio de MO no degradada. Existen coloraciones que indican condiciones no deseadas como negro, gris oscuro, lila, azul o violeta (Restrepo y Pinheiro, 2011). En la Figura 4 se muestran los colores que puede desarrollar un cromatograma.

En la Figura 5 se muestran los cromatogramas generados en el análisis de distintas muestras de suelos con diferente manejo y uso, y de un abono orgánico, con su respectiva interpretación, de acuerdo con los

criterios básicos de Restrepo y Pinheiro, (2011). En el cromatograma correspondiente a la Figura 5a, que muestra un suelo compactado, la zona central es muy delgada, lo que indica que el suelo presenta baja aireación. La zona interna, en cambio, es bastante gruesa, sugiriendo una mayor concentración de sustancias pesadas y reacciones con los minerales. La ausencia de una zona intermedia indica que no hay MO ni actividad biológica significativa. La zona externa, con forma de agujas irregulares y coloración, refleja una actividad enzimática muy pobre. La falta de radiaciones en el cromatograma señala procesos de compactación, ausencia de estructura y nula actividad biológica (Restrepo y Pinheiro, 2011).

En la Figura 5b, que corresponde a un suelo de uso agrícola con manejo orgánico, se observa la zona central de color blanco cremoso, que se integra con la siguiente, indicando que el suelo está bien aireado, no compactado, con buena textura, alto contenido de MO y actividad enzimática y microbiológica. El grosor y coloración de la zona interna reflejan una adecuada concentración de sustancias pesadas y reacciones con minerales. La zona intermedia, de grosor moderado, sugiere una proporción equilibrada de MO, y su integración con la siguiente zona indica un desarrollo activo de la biología del suelo. La coloración café en la zona externa es un indicador de nitrógeno enlazado y formas estables de coloides del humus, lo que representa una abundancia y variedad de nutrientes disponibles y en constante actividad. La presencia de radiaciones en el cromatograma es un signo de actividad enzimática y biológica en el suelo (Restrepo y Pinheiro, 2011).

En la Figura 5c, que muestra un suelo agrícola fertilizado químicamente, la zona central es muy delgada, señalando que el suelo está compactado y con baja aireación. La zona interna, en cambio, es bastante gruesa, indicando una concentración elevada de sustancias pesadas y reacciones con minerales. La ausencia de una zona intermedia sugiere que no hay MO ni actividad biológica significativa. La zona externa, con forma de agujas irregulares y coloración, refleja una actividad enzimática muy pobre. La falta de radiaciones en este cromatograma también indica procesos de compactación, falta de estructura y actividad biológica nula (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Por último, en la Figura 5d se presenta el cromatograma de una muestra de residuos orgánicos en proceso de transformación para la producción de abonos orgánicos, interpretado según los criterios de Restrepo y Pinheiro (2011). La zona central, ubicada en el centro del cromatograma, con coloración blanco cremoso y que se integra con la zona siguiente, indica que la

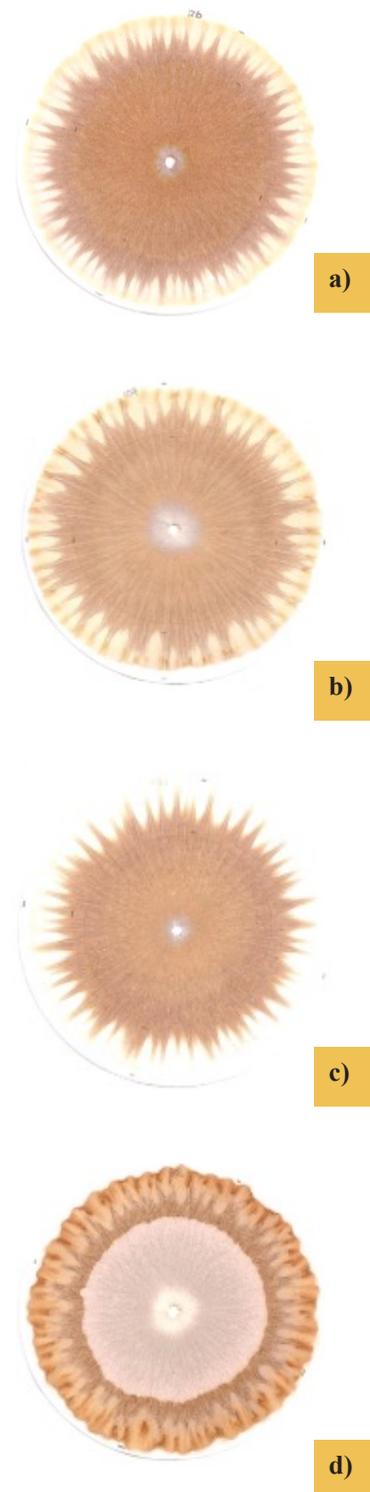


Figura 5. Cromatogramas representativos de: a) suelo compactado, b) suelo de uso agrícola con manejo orgánico, c) suelo agrícola con fertilización química, y d) cromatograma correspondiente a una muestra de residuos orgánicos sometidos a un proceso de compostaje (Restrepo y Pinheiro, 2011).

muestra está bien aireada, no compactada, y presenta un alto contenido de materia orgánica, además de actividad enzimática y microbiológica significativa. La zona interna es prácticamente imperceptible, lo que sugiere una reacción nula con minerales.

El gran grosor de la zona intermedia indica que la composición de la muestra es predominantemente orgánica y que existe una intensa actividad biológica. La coloración clara de esta zona señala que la materia orgánica ha completado su proceso de descomposición, por lo que en ella se puede valorar el proceso de humificación de los residuos. El color café de la zona externa es un indicador de nitrógeno enlazado y de formas estables de coloides del humus, lo cual refleja una abundancia y variedad de nutrientes disponibles, asociados con la formación de proteínas, vitaminas, hormonas y otros compuestos orgánicos. La presencia de radiaciones en el cromatograma es un signo de actividad enzimática y/o actividad biológica en la muestra (Restrepo y Pinheiro, 2011).

Implicaciones del uso de la cromatografía circular de Pfeiffer

La cromatografía en papel circular de Pfeiffer se ha utilizado para la caracterización de los suelos resultando en una práctica excelente y fundamental, ya que es una prueba totalmente cualitativa de referencia para estimar la fertilidad de suelos en forma integral. Por tal razón, es necesario que los futuros ingenieros del área, en las etapas tempranas de su formación académica, adquieran los conocimientos necesarios de aquellas prácticas y métodos de análisis que contribuyan a tener suelos sanos, para así favorecer a tener sistemas de producción alimentarios sostenibles, temática de relevancia mundial (Barahona y Andrade, 2023).

Además, la optimización del análisis de la calidad de los abonos orgánicos mediante la cromatografía en papel circular permitirá establecer indicadores claros de madurez y riqueza nutricional en los productos. Esto contribuirá a mejorar las prácticas de producción y uso de abonos, generando mayor confianza en su aplicación y promoviendo una gestión más responsable de los recursos naturales (Reganold y Wachter, 2016).

Conclusiones

Estos hallazgos son de gran importancia, ya que la cromatografía de papel puede ser una herramienta tecnológica económica y accesible para campesinos, productores, técnicos y estudiantes, en la tarea de determinar de una manera integral la salud de los suelos agrícolas y la calidad de los abonos orgánicos, fa-

cilitando el seguimiento de las prácticas en la agricultura ecológica.

Diferentes investigaciones deben realizarse para comprender mejor los factores que influyen en la interpretación de los cromatogramas, con el fin de ampliar las aplicaciones de esta técnica en la producción agrícola.

Referencias

- Abad-Santana 2018. La cromatografía aplicada a la agroecología. Quito: Fundación Heifer.
- Aguirre, S. E., N. V. Piraneque y C. J. Díaz. 2019. Valoración del estado del suelo en zona de bosque seco tropical mediante técnicas analíticas y cromatogramas. *Inf. Tecnol.* 30: 337-350. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600337>.
- Balmaseda-Espinosa, C., Quevedo-Pinos, N., y Cercado-Quíñonez, N. 2021. Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia colonche mediante cromatografía de Pfeiffer. *Revista Pertinencia Académica.* 1-19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5979699>
- Barros, & Silveira-Franco 2022. Contribuciones de la cromatografía circular de Pfeiffer en el análisis de la salud del suelo. *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.* [online]. 31 (2): 395-413. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.90067>.
- Balmaseda-Espinosa, Q.P. & Q 2021. Evaluación cualitativa de suelos de la parroquia Colonche mediante cromatografía de Pfeiffer. *Revista Pertinencia Académica*, 5. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.5979699>
- Barahona, P.L. y O.Y. Andrade. 2023. ABI: aplicación de cromatografía de Pfeiffer como herramienta de aprendizaje de química en la educación agricultura. *CEIBA. Scientific and Technical Journal.* 56(2). 90-98.
- Barros, C. E., & Silveira Franco, F. (2022). Contribuições da cromatografia circular de Pfeiffer para análise da saúde do solo. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 31(2), 395-413.
- Bonanomi, G., De-Filippis, F., Zotti M., Idbellaa, M., Cesaranoa, G., Al-Rowailyc, S., and El Gawadc, A. (2020). Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology.* 156: 103714. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103714
- Bracamontes, L., M. Fuentes, L. Rodríguez, J. Macedas. (2018). Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. 1a. edición <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/46931>.
- Burle, E. C., & Figueiredo, R. T. (2019). Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE*, 5(2), 19-19.
- Domingues, S., Contini, R., Maia, M., Farina, É., Gabardo, G., &

- Ribeiro, A. (2018). Conhecimento Agroecológico Através Da Experimentação Da Cromatografia De Pfeiffer, Uma Análise Qualitativa Dos Solos. *Revista Da Jornada De Pós-Graduação E Pesquisa - Congrega Urcamp*, 0(0), 932-940.
- FAO 2015. 2015 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Año Internacional de los suelos. Retrieved from FAO: <https://www.fao.org/soils/2015/about/key-messages/es/>
- Fernandez, P. G. 2001. Organic seeds as basis for sustainable agriculture. *Philippine Journal of Crop Science*. 26(3):15-30
- Ford, B., Cook, B., Tunbridge, D., & Tilbrook, P. (2019). Using paper chromatography for assessing soil health in south western Australia. Centre of Excellence in Natural Resource Management, University of Western Australia. Albany, WA.
- Ford, B. M., Stewart, B. A., Tunbridge, D. J., & Tilbrook, P. (2021). Paper chromatography: An inconsistent tool for assessing soil health. *Geoderma*, 383, 114783.
- García, M., Sánchez, J., & Torres, L. (2022). Cristalización sensitiva y separación de vitamina C natural y sintética mediante cromatografía en papel circular. *Revista de Química y Tecnología*, 15(1), 78-89.
- García, M., Torres, A., & Fernández, R. (2022). Advances in paper chromatography for analytical applications. *Journal of Chromatography A*, 1678, 463123. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2022.463123>
- Graciano, I., Matsumoto, L. S., Demétrio, G. B., & Mello, P. E. C. T. (2020). Evaluating pfeiffer chromatography for its validation as an indicator of soil quality. *Journal of Agricultural Studies*, 8(3), 420-446.
- Hernández-Rodríguez, A., Ochoa-Rodríguez, B., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Sánchez-Rosales, R., Rodríguez-Roque, M. J. y Sánchez-Chávez, E. (2021). Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e844. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.844>
- Islam, M.S., Khan, M.H. y Hossain, M.S. (2020). Effects of different levels of soil moisture and indigenous organic amendments on the yield of boro rice grown under field condition. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 29(1):87-96. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i1.46534>
- Kokornaczyk, M. O., F. Primavera, R. Luneia, S. Baumgartner, and L. Betti. 2016. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biol. Agric. Hort.* 33: 143-157. doi: <https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1214889>.
- López, F., & Gómez, S. (2020). Fundamentos y aplicaciones de la cromatografía en papel. *Revista de Química Analítica*, 22(5), 300-312.
- López, M., y Martínez, A. (2019). Barreras y desafíos en la valoración de suelos agrícolas para la producción de abonos orgánicos. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 789-802.

- Mahmud, M., Abdullah, R., & Yaacob, J. S. (2018). Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2) under field conditions. *Agronomy*, 8(9), 183.
- Medina Saavedra, T., Arroyo Figueroa, G., & Peña Caballero, V. (2018). Cromatografía de Pfaffier en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 665-673.
- Rattan L. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221.
- Restrepo, R. J., Pinheiro, S. 2011. Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo. Feriva, S. A. Cali, Colombia. ISBN: 978-958-44-8582-3.
- Rushikesh B, Mayur B, Sandip C, Piyush B, Jayesh G, Vijayraj S and Ganesh S, (2024). A Brief Review on Different Chromatographic Techniques. *Open Access Journal of Pharmaceutical Research*. 8(1): 000294.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (10th ed.). Brooks Cole.
- Yang, T., Siddique, K. H., & Liu, K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01118. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>