




## Perspectivas sobre la pérdida de fertilidad del suelo en plantaciones bananeras de Urabá, Colombia

*Perspectives on soil fertility loss in banana plantations in Urabá, Colombia*

Perspectivas sobre a perda de fertilidade do solo nas plantações de banana de Urabá, Colômbia

**Carlos Castro<sup>1</sup>**


Universidad Hipócrates, Acapulco - Estado de Guerrero, México

 <https://orcid.org/0000-0003-3125-8349>

cecastro@igac.gov.co (correspondencia)

**Yolima Agualimpia**

Universidad Hipócrates, Acapulco - Estado de Guerrero, México

 <https://orcid.org/0000-0002-4262-954X>

yagualimpia@udistrital.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.35622/j.rca.2024.02.004>

Recibido: 22/10/2024 Aceptado: 18/12/2024 Publicado: 29/12/2024

### PALABRAS CLAVE

fertilidad de suelo,  
agricultura,  
biodiversidad,  
conservación ambiental,  
adaptación al cambio  
climático.

**RESUMEN.** La investigación abordó la pérdida de fertilidad en suelos bananeros de Urabá, Colombia, asociada a prácticas como drenaje excesivo, el cual compacta el suelo; acumulación de residuos de cosecha sin encalado, lo que causa acidificación e inmovilización de nutrientes como fósforo y boro, y el uso desbalanceado de fertilizantes, agravando desequilibrios nutricionales y comprometiendo la sostenibilidad agrícola y ambiental. Se aplicó un enfoque multidisciplinario que integró análisis cualitativos y cuantitativos (químicos, físicos, biológicos y socioeconómicos), combinando datos históricos, evaluaciones físico-químicas del suelo, entrevistas semiestructuradas y diagnóstico visual para examinar prácticas agronómicas, deficiencias nutricionales y patrones de degradación. Se clasificó la fertilidad en cinco categorías ("A" a "E") según desequilibrios químicos, identificando que el 10,2% de las tierras presenta degradación severa por compactación, salinización y manejo inadecuado. Los resultados evidenciaron que el cultivo intensivo redujo la fertilidad, requiriendo estrategias de manejo sostenible y monitoreo continuo. La conclusión destaca la necesidad de equilibrar productividad y sostenibilidad mediante la integración de conocimientos científicos y ancestrales para preservar los suelos a largo plazo.

### KEYWORDS

soil fertility, agriculture,  
biodiversity,  
environmental

**ABSTRACT.** The study addressed the loss of fertility in banana-growing soils in Urabá, Colombia, linked to practices such as excessive drainage, which causes soil compaction; accumulation of crop residues without liming, leading to acidification and immobilization of nutrients like phosphorus and boron; and imbalanced fertilizer use, exacerbating nutritional imbalances and compromising agricultural and environmental sustainability. A multidisciplinary approach was applied, integrating qualitative and quantitative analyses (chemical, physical, biological, and socioeconomic), combining

<sup>1</sup> Doctor en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia



conservation, climate change adaptation.

historical data, physicochemical soil assessments, semi-structured interviews, and visual diagnostics to examine agronomic practices, nutritional deficiencies, and degradation patterns. Fertility was classified into five categories ("A" to "E") based on chemical imbalances, identifying that 10.2% of the land exhibits severe degradation due to compaction, salinization, and inadequate management. Results demonstrated that intensive cultivation reduced fertility, necessitating sustainable management strategies and continuous monitoring. The conclusion emphasizes balancing productivity and sustainability by integrating scientific and ancestral knowledge to preserve soils in the long term.

#### PALAVRAS-CHAVE

fertilidade do solo, agricultura, biodiversidade, conservação ambiental, adaptação às mudanças climáticas.

**RESUMO.** A pesquisa abordou a perda de fertilidade em solos bananeiros de Urabá, Colômbia, associada a práticas como drenagem excessiva, que compacta o solo; acúmulo de resíduos de colheita sem calagem, causando acidificação e imobilização de nutrientes como fósforo e boro; e uso desbalanceado de fertilizantes, agravando desequilíbrios nutricionais e comprometendo a sustentabilidade agrícola e ambiental. Um enfoque multidisciplinar foi aplicado, integrando análises qualitativas e quantitativas (químicas, físicas, biológicas e socioeconômicas), combinando dados históricos, avaliações físico-químicas do solo, entrevistas semiestruturadas e diagnóstico visual para examinar práticas agrônômicas, deficiências nutricionais e padrões de degradação. A fertilidade foi classificada em cinco categorias ("A" a "E") conforme desequilíbrios químicos, identificando que 10,2% das terras apresentam degradação severa por compactação, salinização e manejo inadequado. Os resultados evidenciaram que o cultivo intensivo reduziu a fertilidade, exigindo estratégias sustentáveis de manejo e monitoramento contínuo. A conclusão destaca a necessidade de equilibrar produtividade e sustentabilidade mediante a integração de conhecimentos científicos e ancestrais para preservar os solos em longo prazo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las repercusiones de la pérdida de fertilidad son graves y multifacéticas. En primer lugar, el suelo pierde su capacidad de sustentar un crecimiento adecuado de las plantas, lo que afecta el rendimiento de los cultivos. La práctica de la fertilización implica un proceso detallado destinado a evaluar y mejorar la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer, estos nutrientes se dividen en dos tipos: los macronutrientes, que incluyen fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), y son requeridos en grandes cantidades, y los micronutrientes, como zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn), que son necesarios en menores proporciones y son igualmente importantes para los procesos fisiológicos de las plantas y la calidad de los frutos (Mengel & Kirkby, 2001).

La dinámica de la fertilización está influenciada por la composición química del suelo, que se determina por la cantidad y relación de estos nutrientes. Estas interacciones también afectan el pH del suelo, que puede variar entre ácido y alcalino, lo que modifica la disponibilidad de los nutrientes y puede generar desequilibrios (White & Brown, 2010).

Entre las causas de la pérdida de fertilidad se encuentran la extracción continua de nutrientes por el cultivo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos que pueden alterar el equilibrio natural del suelo, y las prácticas de manejo inapropiado como la deforestación o la falta de rotación de cultivos. El drenaje de tierras aluviales, una práctica común en la zona, puede también contribuir a la alteración de la estructura del suelo, lo que reduce su capacidad para retener agua y nutrientes de manera efectiva (Nie et al., 2019). La pérdida de fertilidad disminuye el rendimiento y la calidad del banano, aumenta la dependencia de fertilizantes, eleva los costos y provoca contaminación ambiental por lavado de nutrientes. La degradación del suelo amenaza la sostenibilidad agrícola, impulsando la expansión agrícola y la deforestación; por lo que, se requiere un enfoque integral para restaurar y conservar la calidad del suelo en la región de Urabá.

En este contexto, analizar las necesidades nutricionales de un cultivo requiere de las variables locales que afectan la disponibilidad y proporción de elementos esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas. Es necesario comprender los mecanismos de almacenamiento de cationes e identificar las propiedades físicas del suelo que favorecen su disponibilidad efectiva (Herrera et al., 2021). También es necesario evaluar la calidad del agua empleada para el riego, examinar el programa de fertilización actualmente implementado y determinar los efectos específicos que, en cada lugar, reflejan el déficit y el desbalance de los nutrientes. Según Babu et al. (2023), la adopción de prácticas de conservación del suelo y el agua depende de factores socioeconómicos, culturales y ambientales. La educación, los recursos financieros, el acceso a información técnica y el apoyo gubernamental son claves para su implementación. Además, las características del terreno y las tradiciones culturales influyen en las decisiones. Estos factores interactúan según el contexto local, afectando la viabilidad y eficacia de las estrategias de conservación.

Un estudio comparativo entre el manejo convencional (CO), basado en fertilización inorgánica y la intensificación ecológica (EI), que integra residuos orgánicos y labranza, evidenció que el enfoque ecológico mejora la fertilidad del suelo al incrementar la diversidad y funcionalidad de las comunidades microbianas, sin comprometer la productividad agrícola. Este método optimizó procesos esenciales como la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y el crecimiento vegetal (Ortega et al., 2024). Estos hallazgos resaltan que las prácticas de manejo agrícola desempeñan un papel determinante en la conservación o degradación de la fertilidad del suelo.

La pérdida de fertilidad del suelo en cultivos de banano está asociada con prácticas agrícolas intensivas y deficientes que deterioran la capacidad productiva y la sostenibilidad del suelo. Este estudio analiza los conceptos clave que influyen en esta problemática, destacando aspectos como el manejo nutricional, la gestión del agua, la distribución de nutrientes y las propiedades físicas del suelo.

García Guzmán et al. (2019) consideran que el uso de fertilizantes se realiza frecuentemente en paquetes predefinidos que no consideran las condiciones específicas del suelo, lo que produce desequilibrios nutricionales que limitan la productividad. Marschner (2011) enfatiza en la necesidad de adaptar la fertilización a las características locales para optimizar el suministro de nutrientes y ralentizar la degradación.

Chikopela et al. (2024) proponen prácticas sostenibles como el uso de compost, estiércol, barbecho mejorado y labranza mínima. Además, destacan la necesidad de diseñar políticas adaptadas a las condiciones locales para fortalecer estrategias agrícolas sostenibles, integrando educación y organización comunitaria.

La cantidad y calidad del agua de riego son determinantes para la fertilidad. Un exceso de agua puede generar salinización, afectando la estructura del suelo y reduciendo su capacidad para retener nutrientes (Castro & Figueroa, 1990). De manera similar, el déficit hídrico compromete el desarrollo de los cultivos, exacerbando la degradación. Por lo tanto, es esencial gestionar adecuadamente el riego para evitar impactos negativos acumulativos.

La fertilización debe considerar las variaciones espaciales en la disponibilidad de nutrientes. Do et al. (2025) encontraron que los nutrientes tienden a concentrarse en las partes ascendentes de las hileras de cultivos, resaltando la necesidad de ajustar las estrategias de fertilización a las condiciones topográficas para evitar desequilibrios nutricionales y mejorar la eficiencia.

Evaluaciones basadas en mapas cartográficos ofrecen información general sobre el suelo, aunque su efectividad depende de observaciones precisas en campo. Programas de fertilización más específicos, guiados por análisis detallados del suelo, son fundamentales para mantener la fertilidad a largo plazo.

La compactación y erosión afectan las propiedades físicas del suelo, reduciendo la retención de humedad y el transporte de nutrientes esenciales. Yong Wang et al. (2024) identificaron que la labranza intensiva degrada la fertilidad, especialmente en pendientes pronunciadas, mientras que, en zonas bajas, la deposición de sedimentos puede mejorar temporalmente las condiciones. Sin embargo, esta dinámica conduce a la pérdida progresiva de nutrientes en capas profundas, afectando la productividad agrícola.

En el contexto de la agricultura migratoria o el uso de tierras en descanso, la fertilidad del suelo experimenta una mejora temporal debido al período de inactividad. Sin embargo, la práctica de la quema de vegetación, comúnmente utilizada para limpiar el terreno, tiene efectos destructivos a largo plazo (Certini, 2005) ya que favorece la erosión, la lixiviación de nutrientes y la absorción excesiva de los cultivos, lo que contribuye a la degradación del suelo (Neary, et al, 1999). En suelos tropicales, las lluvias intensas agravan aún más esta problemática al eliminar la capa superficial rica en nutrientes, acelerando la pérdida de fertilidad (Vanacker et al, 2005). Aunque la descomposición de la materia orgánica en un primer momento libera algunos nutrientes, este proceso no es suficiente para contrarrestar las pérdidas, lo que resulta en una aceleración de la degradación de la fertilidad del suelo. Tal como señalan Thepparit et al. (1985), este ciclo negativo de degradación se ve intensificado por las condiciones ambientales de los trópicos, lo que resalta la necesidad de prácticas agrícolas más sostenibles para preservar la calidad del suelo a largo plazo.

La fertilidad del suelo depende de un manejo equilibrado de nutrientes, propiedades físicas como la textura y la compactación, y prácticas agrícolas sostenibles. El exceso de fertilización puede alterar la porosidad del suelo, incrementando la susceptibilidad a la erosión. Sin embargo, la formación de microagregados grandes favorece el secuestro de carbono, preservando la fertilidad (Zhao et al., 2024). Estos procesos resaltan la importancia de mantener prácticas de fertilización adaptadas para evitar desequilibrios nutricionales y degradación estructural.

En cuanto a la importancia del equilibrio nutricional la fertilización prolongada puede reducir la diversidad vegetal, afectando la microestructura del suelo y comprometiendo su capacidad de retención de nutrientes (Zhao et al., 2024). Un balance adecuado de nutrientes es esencial, ya que tanto los excesos como las deficiencias generan impactos negativos. El exceso de sales solubles, por ejemplo, dificulta la absorción de agua por las raíces, mientras que las deficiencias limitan el crecimiento vegetativo y reducen la resistencia a plagas y enfermedades (Gutiérrez y Castañeda, 2009; Navarro y Navarro, 2013). La implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (GLOBALGAP) promueve un manejo responsable del suelo, garantizando tanto la calidad del producto como la sostenibilidad del sistema agrícola. Estas prácticas incluyen la evaluación visual de hojas y frutos como indicadores de deficiencias nutricionales, ayudando a cumplir los estándares internacionales de exportación.

En cuanto a las características físicas del suelo la textura del suelo (contenido de arcilla, limo y arena) influye en la capacidad de retención de agua y nutrientes, así como en la formación de agregados y la distribución de la porosidad. Suelos arenosos favorecen el drenaje rápido, lo que reduce la retención de nutrientes, mientras que los suelos arcillosos pueden presentar compactación y baja infiltración de agua, limitando la disponibilidad de nutrientes (Yong Wang et al., 2024).

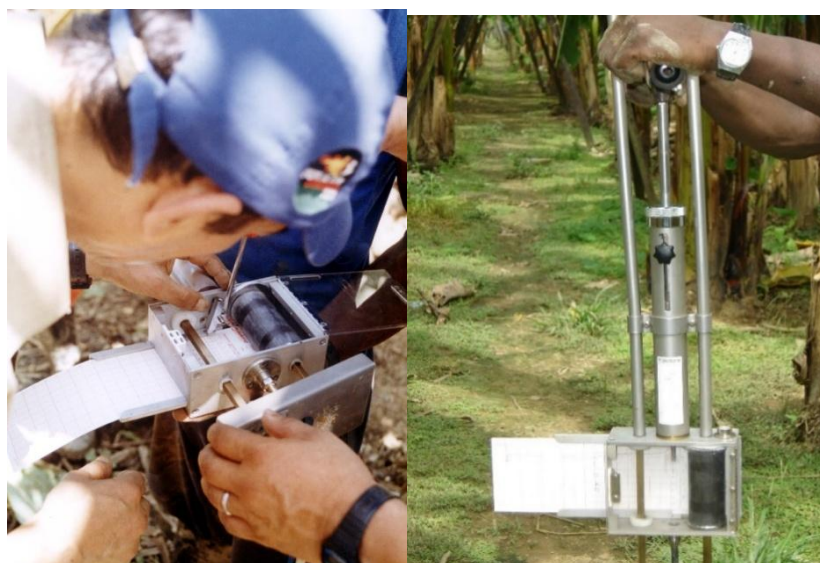


Además, la textura afecta la actividad biológica, ya que los microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica requieren estructuras porosas para funcionar de manera eficiente. Un manejo adecuado de la textura facilita el almacenamiento de agua y nutrientes esenciales, optimizando el crecimiento vegetal.

La compactación del suelo, inducida por la mecanización agrícola en condiciones de humedad inadecuadas, reduce la porosidad, la infiltración de agua y la aireación, limitando el movimiento de nutrientes y el oxígeno hacia las raíces, lo que afecta negativamente el desarrollo radicular y la productividad de cultivos como el banano (Lal, 1997; Hillel, 2003; Batey, 2009). Su evaluación necesita ser realizada mediante herramientas como el penetrógrafo, que detecta capas con alta resistencia a la penetración, y medidores de densidad aparente y porosidad, facilitando decisiones para mitigar los efectos adversos de la compactación (ver Figura 1).

### Figura 1

*Penetrógrafo utilizado para medir el grado de compactación en cultivos de banano.*



La degradación del suelo, impulsada por la deforestación, el trabajo en pendientes, el uso excesivo de herbicidas y la intensificación agrícola, provoca erosión severa, pérdida de materia orgánica y reducción de arcillas esenciales para el intercambio iónico y el transporte de nutrientes. Estos procesos comprometen la fertilidad del suelo, afectando la productividad agrícola y la sostenibilidad a largo plazo (Osorio-Vega, 2009; Ríos, 2021).

Las prácticas agrícolas alteran los microbiomas del suelo, influyendo en su biodiversidad y funcionalidad. Mientras que los sistemas orgánicos favorecen comunidades microbianas resilientes, los métodos convencionales promueven organismos parasitarios, deteriorando la salud del suelo (Bier et al., 2024).

La pérdida de materia orgánica debilita la estructura del suelo y reduce su capacidad para retener agua, aumentando la vulnerabilidad a la erosión hídrica y eólica, especialmente en terrenos inclinados. Además, la reducción de arcillas limita la disponibilidad de nutrientes, afectando el crecimiento de los cultivos y la estabilidad de los ecosistemas agrícolas. Por lo tanto, las prácticas sostenibles son necesarias para preservar la fertilidad del suelo, mitigar la erosión y mantener la productividad agrícola.

Pengue (2021) destaca la degradación de la fertilidad del suelo por el agotamiento de nutrientes en monocultivos, subrayando la urgencia de implementar prácticas agrícolas sostenibles para su preservación. La expansión agrícola en América Latina, denominada "pampeanización" por Pengue (2017) transforma biomas

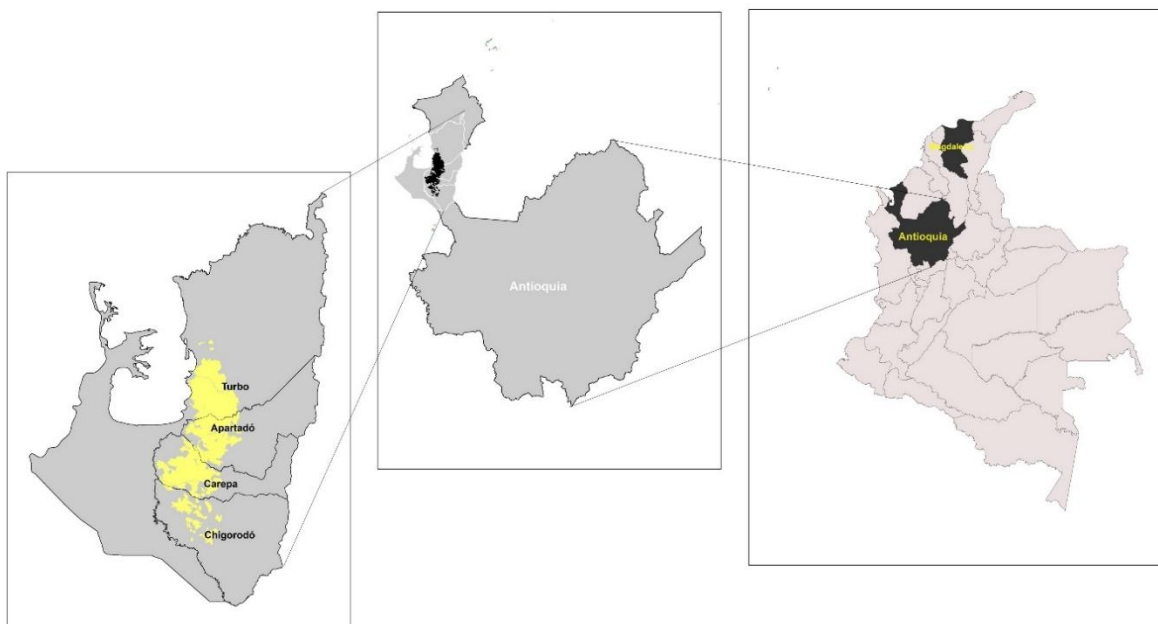
como el Chaco y la Selva en áreas de cultivo. Este proceso implica pérdida de biodiversidad, alteración de servicios ecosistémicos y desplazamiento de comunidades locales.

La región de Urabá, Colombia, es un importante centro de producción bananera destinado a la exportación, especialmente hacia Europa (Figura 2). Sin embargo, enfrenta serios desafíos debido a la degradación del suelo causada por prácticas agrícolas intensivas y no sostenibles, lo que ha generado erosión, pérdida de biodiversidad y una disminución en la productividad. Esta problemática también afecta otras zonas clave como Magdalena y Antioquia, donde se concentran los cultivos para el mercado internacional.

La zona bananera de Urabá, debido a su vasta extensión, constituye el núcleo central de esta investigación. Geográficamente, el área de estudio se extiende desde las coordenadas 76°41'52.929"W y 8°03'55.825"N en el extremo norte, correspondiente al municipio de Turbo, hasta las coordenadas 76°40'38.544"W y 7°36'27.913"N en el extremo sur, que pertenece al municipio de Chigorodó (ver Figura 2). Esta delimitación geográfica resalta la importancia estratégica de Urabá en la producción bananera colombiana y proporciona un marco espacial claro para el análisis de la pérdida de la fertilidad del suelo en la región.

## Figura 2

*Localización del enclave bananero en el Urabá antioqueño en Colombia*



La principal característica climática de la región es una temperatura media anual que oscila entre 27,4°C y 27,5°C, ya que se encuentra dentro de la zona morfoclimática del Caribe Occidental. Esta área presenta un gradiente de temperatura de 0,56°C por cada 100 metros de elevación hacia la vertiente montañosa (Agualimpia & Castro, 2016). En Turbo predomina un clima cálido y húmedo, mientras que en Chigorodó el clima es cálido y muy húmedo. Las precipitaciones promedio multianuales en esta región varían espacialmente entre 2282 y 3529 mm/año.

Existen pocas investigaciones sobre la pérdida de fertilidad del suelo. Los enfoques productivos predominantes se centran en identificar las necesidades de fertilizantes de los cultivos y en determinar los elementos nutritivos requeridos para obtener productos de calidad destinados a la exportación. Sin embargo, son escasos los

enfoques orientados a la conservación de los recursos productivos para las generaciones futuras. Además, persiste una falta de conciencia ambiental que motiva a los investigadores a estudiar los suelos y las tierras como recursos finitos, susceptibles a la degradación. Su uso intensivo no solo compromete la sostenibilidad agrícola, sino que también puede amenazar la biodiversidad y de manera más intensiva la vida misma.

El objetivo de esta investigación es analizar las interacciones entre los diferentes componentes del sistema agrícola, mediante la integración de datos cualitativos históricos y cuantitativos, y su impacto en la pérdida de fertilidad en las plantaciones de banano en Urabá, Colombia.

## 2. MÉTODO

En esta investigación se propuso realizar un análisis documental e histórico exhaustivo de los datos sobre suelos de la zona bananera, complementados con consultas a expertos en cultivos de banano y la aplicación de un enfoque metodológico mixto (Hurtado, 2000). Este enfoque integró tanto datos cualitativos como cuantitativos para evaluar los factores que influyeron en la fertilidad natural de los suelos.

Se examinó específicamente los procesos morfogénicos depositacionales, es decir, los suelos derivados de la acumulación de sedimentos con diferentes características granulométricas, los cuales se consideraron en la definición de Tierras Agrícolas como zonas de alto potencial productivo debido a sus propiedades físicas y químicas (Torres et al., 2017). Además, se investigó la relación entre estos suelos y los niveles freáticos altos, considerándolo como factor relevante en la productividad agrícola de la región.

En el contexto de la geografía crítica, se establece que Colombia con 13,3% de tierras con uso potencial agropecuario (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2016), no es un país eminentemente agrícola y las tierras destinadas desde hace más de 50 años fueron adecuadas para el cultivo de banano, hoy en día estos espacios han disminuido su producción y se requiere conocer la causa, por tal razón se explora la pérdida de fertilidad como la opción más importante.

El primer paso para examinar el estado de estas tierras fue realizar una consulta a expertos (cuatro) en degradación de tierras en Latinoamérica para obtener una primera impresión sobre los efectos de los usos agrícolas intensivos producto de la globalización de la economía. Para cumplir con ese propósito se diseñó un instrumento de encuesta en Google Drive con criterios de selección implícitos en el formato, en el cual cada encuestado se identificaba en un nivel de conocimiento y de acuerdo con esa posición, resolvía la encuesta con interrogantes sobre los efectos de los usos agrícolas intensivos propios del nivel profesional, técnico, campesino o ancestral (Castro, 2023b). El objetivo inicial fue identificar las características que tienen las tierras que se degradaron por el cambio de uso. Es importante destacar que cuando se habla de adecuación de tierras se piensa en mejorar una condición adversa para el desarrollo de un cultivo, este es el caso de la zona de estudio. Se identificaron elementos que conllevan a la pérdida de fertilidad que fueron complementados por dos vías, una mediante consultas relacionadas en grupos de investigación en Argentina, Brasil, México, Ecuador y Colombia en el tema de la degradación de tierras y otra con la consulta específica en el cultivo de banano con los técnicos que trabajan en cultivos de banano

Un segundo criterio aplicado a los técnicos agrícolas era el que llevaran más de cinco años trabajando en fincas bananeras y que conocieran las prácticas agronómicas que se aplican en el cultivo de banano. La técnica aplicada para obtener esa información fue la de entrevista libre y abierta con el fin de conocer ampliamente la problemática ambiental y productiva de las plantaciones de banano. Las perspectivas teóricas y prácticas fueron enriquecidas

conceptualmente con la información procedente de encuestas que dieron información sobre el tema central que es la pérdida de fertilidad.

En otro contexto espacial, se utilizó la Cartografía de suelos realizada en cuatro levantamientos realizados en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2005 y 2007) fue necesario integrar las Unidades Cartográficas de suelos con sus análisis físicos (granulometría, infiltraciones, conductividad hidráulica, sortividad, retención de humedad) y químicos (pH, Capacidad de Cambio catiónico, fósforo, bases totales, pH, Saturación de aluminio, potasio, Calcio, Magnesio, Sodio y elementos menores Boro, Hierro, Azufre, Manganeso).

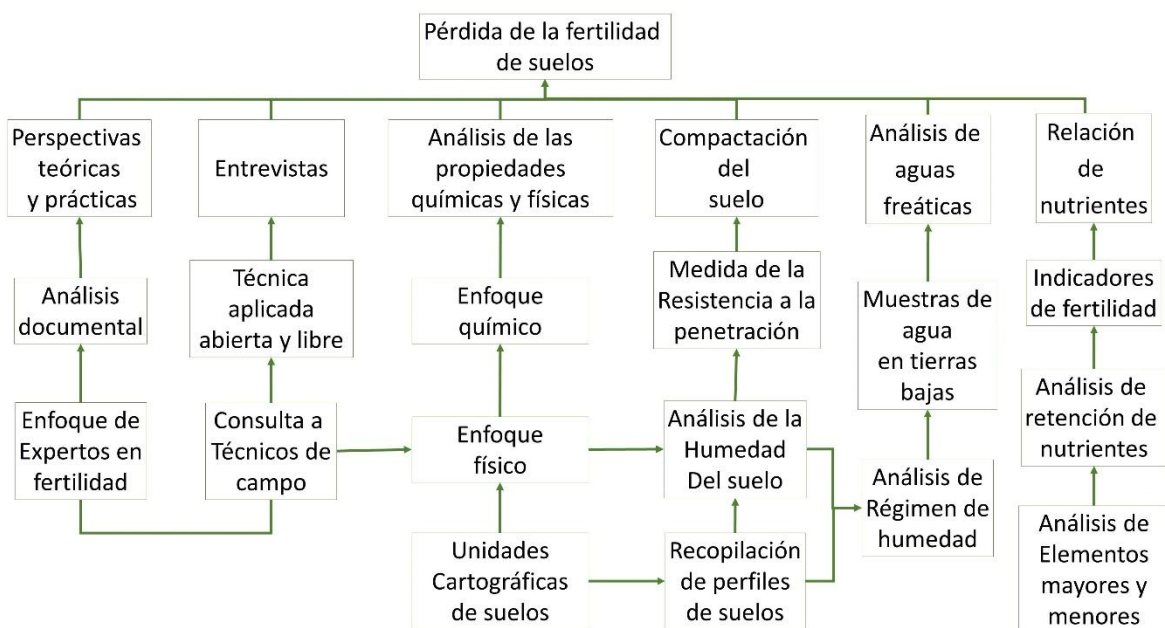
A partir de las unidades cartográficas de suelos se obtuvo información de los perfiles de suelos modales y la identificación de los regímenes de humedad (Schoeneberger et al., 2002). con el fin de conocer el estado actual de los niveles freáticos de suelos y el soporte teórico y práctico de la compactación de los suelos causado por la reseca del suelo ocasionado por el patrón de canales de drenaje de estas tierras durante el proceso de adecuación de las tierras para el cultivo de banano.

La humedad del suelo principalmente la que corresponde a suelos con regímenes de humedad Aquico, es decir, suelos con drenaje natural pobre y muy pobre y con niveles freáticos altos, se obtuvieron muestras de agua que fueron analizadas en el laboratorio Nacional de Suelos para conocer la incidencia de aguas salobres (Báez, 1999) y establecer si hay influencia del agua en la pérdida de fertilidad de las tierras, dado que la acumulación de sales solubles afecta la absorción de nutrientes por parte de las plantas de banano (Galiano, 1991).

Concluye la investigación a partir del análisis de la relación de nutrientes obtenidos a partir del enfoque cuantitativo de relaciones de nutrientes mediante la aplicación de índices de potasio y análisis de la proporcionalidad en la que se encuentran los nutrientes esenciales y los elementos menores requeridos por el cultivo de banano (Castro, 2024). La Figura 3 sintetiza el proceso metodológico antes comentado.

**Figura 3**

*Esquema general del proceso aplicado para identificar la pérdida de fertilidad del suelo en la zona bananera de Urabá, en Antioquia, Colombia*





De acuerdo con la Figura 3 se entiende que el mayor peso conceptual y colaborativo lo tienen los análisis de propiedades físicas y químicas que tiene una interacción directa con los análisis de compactación del suelo y calidad del agua por ser más influyentes en el proceso de pérdida de fertilidad. De otra manera la perspectiva teórica y práctica basada en el conocimiento experto y en el conocimiento técnico del manejo, cumple una función colaborativa a través del enfoque físico, mientras que el análisis de la relación de nutrientes refuerza los resultados de las demás interacciones a través de la denominación de las clases de fertilidad que se identifican después de 50 años de uso de la tierra y el balance de nutrientes que resulta de la planificación agrícola que sigue el productor. Este último no se incluye dado que el manejo de la fertilidad que aplican estas compañías es unificado y siguen el mismo paquete tecnológico, lo cual lo hace visible solo cuando se analiza el balance de nutrientes en el terreno.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Enfoque de expertos

El uso de las tierras en América Latina está estrechamente vinculado a las políticas globales y a la capacidad de estas tierras para sostener procesos productivos intensivos. Comprender las investigaciones realizadas por expertos constituyó un primer paso fundamental para abordar la problemática de la pérdida de fertilidad en el Urabá antioqueño, un asunto que aún no ha sido plenamente incorporado en la agenda de discusiones.

El enfoque de expertos en fertilidad ofreció una perspectiva científica sobre el estado actual del suelo; no obstante, resultó insuficiente sin la participación de expertos empíricos directamente involucrados en los procesos agrícolas. Su experiencia es fundamental para enriquecer el análisis y contribuir a la co-creación de conocimientos sobre esta problemática.

Se recopiló información valiosa a partir de entrevistas con técnicos que acumulan más de veinte años de experiencia en las plantaciones de banano en los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó. Estos expertos compartieron detalles sobre las prácticas de manejo implementadas en las fincas, así como su percepción sobre los problemas visibles relacionados con la pérdida de fertilidad de los suelos.

Uno de los aspectos destacados fue el impacto de las prácticas agrícolas sostenidas durante más de cincuenta años, particularmente en la incidencia de los vientos que volcaban las plantas (Larrosa Arnal, 2024). Como solución a este problema, se adoptó el amarre de las plantas con nylon. Sin embargo, con el tiempo, este material se fue acumulando en los suelos, provocando la ruptura de raíces y el ahogamiento de las plantas, lo que afectó negativamente la productividad.

Asimismo, se resaltó la importancia de una práctica agronómica poco visible pero fundamental: el trabajo del desmachador. Esta labor consiste en seleccionar la planta que dará origen a la nueva generación de cultivos y facilitará la migración del cultivo en una dirección específica. Este proceso permitió mantener la distancia adecuada entre las plántulas, optimizando así el desarrollo y la sostenibilidad del cultivo a largo plazo.

#### Perspectivas teóricas y prácticas

De acuerdo con la consulta realizada a 42 expertos en degradación de suelos procedentes de países como Argentina, Brasil, Ecuador, Guatemala, México, Honduras y Colombia y el análisis documental de actividades agronómicas se produjo una integración conceptual sobre teoría y práctica específicamente relacionada con el



cultivo de banano. Se generó una guía general de los diferentes aspectos relacionados con la pérdida de fertilidad de los suelos en la zona bananera de Urabá.

La Figura 3 destaca los enfoques disciplinarios de la química y la física del suelo como ejes centrales para el análisis de la pérdida de la fertilidad. Este diagnóstico está influenciado por las políticas gubernamentales en América Latina, particularmente a través de programas de nutrición que promueven paquetes tecnológicos para los cultivos, incluyendo semillas, fertilizantes y agroquímicos (Pengue, 2021). Además, se llegó a la conclusión que, factores como la calidad de las aguas de riego o freáticas, la infiltración, la conductividad hidráulica y la sortividad del suelo, junto con la profundidad del nivel freático y la eficiencia de los drenajes establecidos en planicies aluviales, afectaron directamente las propiedades físicas del suelo.

#### Figura 4

Diagrama que representa la pérdida de la fertilidad de los suelos desde la perspectiva holística



*Nota.* Adaptado de *El diagnóstico de la fertilidad de los suelos: desde la visión agrológica* (p. 285), por C.E. Castro, 2024, Editorial Académica Española.

La química y la física de suelos fueron las disciplinas clave para caracterizar la fertilidad natural en la zona de Urabá, Antioquia, desempeñando un papel complementario en esta investigación. Factores como la variabilidad espacial en la calidad del agua utilizada para riego y los programas de fertilización implementados entre 1999 y 2005 también influyeron significativamente en el desequilibrio de la fertilidad.

El análisis visual, respaldado por la experiencia del técnico de campo, permitió identificar deficiencias en elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Estas observaciones se contrastaron con los resultados químicos del muestreo de suelos y las limitaciones físicas del terreno.

Se observó que este ecosistema agrícola presenta un desequilibrio sutil, atribuido principalmente a la intervención del propietario de la plantación de banano, quien ajusta o modifica el programa de fertilización. Estas decisiones han generado, a nivel local, un equilibrio o desequilibrio de nutrientes en el suelo, contribuyendo, en términos generales, a la degradación.

## Entrevistas

Las cuatro entrevistas se realizaron en el formato semiestructurado (Díaz-Bravo et al., 2013) e iniciaban con preguntas generales sobre el desarrollo de la productividad en estas tierras, estaban dirigidas a profesionales técnicos que participaron directamente en el proceso de seguimiento de los cultivos de banano por cerca de 20 años en la compañía bananera más antigua del Urabá antioqueño UNIBAN LTDA y el acercamiento a los grupos Sara Palma, Veinte y Santa María. Luego de obtener información principalmente relacionada con los problemas de disminución de la productividad y sus posibles causas en una entrevista de una hora, se escaló a la de dos asesores e investigadores que se involucraron en la región como solucionadores de problemas institucionales del conocimiento en degradación de tierras por salinización (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) o de carácter privado en el mejoramiento de la productividad de banano (Cenibanano, 2010) y a través de preguntas específicas relacionadas con los temas de manejo del suelo y evidencias de la salinización, se concluyó un panorama de como los productores de banano de Urabá, descuidaron el programa de fertilización que se seguía y solo son controladas sus acciones agronómicas mediante la norma Globalgap, que solo exige un muestreo de control de la fertilidad cada dos años y a veces hasta cinco años.

Las entrevistas proporcionaron información de apoyo teórico y práctico y representan la información que es muy difícil de obtener con las compañías bananeras. Consiste en el tiempo del profesional y del trabajador que concientiza el efecto social de los cultivos intensivos.

El enfoque de análisis de la fertilidad del suelo se alinea con el marco teórico propuesto por investigadores argentinos del grupo Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA, 2008), quienes han acumulado experiencias en la comprensión de la pérdida de la fertilidad natural. Este proceso, a menudo imperceptible, se hizo evidente únicamente cuando emergen los horizontes o las capas subsuperficiales del suelo.

Identificar y alertar sobre el deterioro del suelo constituyó una aplicación esencial de una geografía orientada hacia la sostenibilidad y la vida. En Colombia, donde las mejores tierras están destinadas a una agricultura intensiva, es fundamental implementar protocolos de monitoreo de la degradación. Estos protocolos deben enfocarse en evaluar no solo los impactos en la calidad del suelo, sino también los efectos socioambientales, incluso en áreas utilizadas de acuerdo con su vocación de uso.

El enfoque químico, desarrollado en colaboración con expertos en fertilidad de suelos, se basó en estudios de la década de 1980 que evidenciaban un alto potencial de fertilidad en estas tierras. Sin embargo, surgió la necesidad de implementar una metodología más eficiente para detectar desequilibrios nutricionales. Para ello, se establecieron 52 índices críticos específicos para elementos mayores, secundarios, microelementos, así como para propiedades relacionadas con la reacción química y el intercambio de nutrientes en el suelo (Castro, 2024).

La clasificación de la fertilidad se realizó de acuerdo con un análisis comparativo entre la oferta edáfica y los requerimientos del cultivo basados en niveles críticos, que es cuando se manifiestan las deficiencias de manera visual en los cultivos. Se describen los resultados obtenidos de acuerdo con una letra para cada categoría de fertilidad natural en su estado de degradación.

Las clases de fertilidad natural se definieron de acuerdo con la comparación de la cuantificación de elementos nutritivos del suelo que se encuentra en cantidades menores o iguales al nivel crítico requerido por el cultivo

de banano. De acuerdo con la cantidad de elementos que se encuentran en esas bajas concentraciones se generaron las siguientes clases:

- Clase A presentan condiciones químicas óptimas para el manejo de fertilizantes, con niveles adecuados de nutrientes y relaciones ideales que favorecen el desarrollo del cultivo de banano. La fertilización intensiva y bien manejada asegura un estado óptimo para el cultivo de banano.
- Clase B las tierras presentan buenas características químicas, pero con deficiencias puntuales, principalmente de potasio o fósforo, así como limitantes relacionadas con la acidez y bajos niveles de azufre y boro.
- Clase C incluye tierras de fertilidad moderada que requieren aplicaciones fraccionadas de fertilizantes y correctivos para la acidez del suelo. Presentan dos elementos por debajo de los niveles críticos, generalmente combinaciones de potasio, fósforo, boro, pH o manganeso y pH.
- Clase D incluye suelos con fuertes restricciones químicas que requieren programas de fertilización específicos. Estas limitaciones, causadas principalmente por el manejo inadecuado de residuos de cosecha, han alterado temporalmente la acidez del suelo, esta condición causa la inmovilización o la solubilización de elementos menores. Presentan tres elementos por debajo de los niveles críticos, generalmente combinaciones de pH, saturación de aluminio, boro, fósforo, manganeso o azufre.
- Clase E presenta de cuatro a seis limitantes químicas, generalmente relacionadas con pH, fósforo, aluminio intercambiable, manganeso, zinc y boro. Requiere aplicaciones de elementos menores y enclamiento. Son tierras con restricciones químicas severas para el cultivo de banano.

En contraste con los resultados Gauggel et al. (2003) consideran que las malas prácticas de manejo del cultivo deterioran las raíces del banano. Un riego inadecuado, ya sea excesivo o insuficiente, provoca saturación del suelo, estrés hídrico y pudrición radicular. El drenaje deficiente agrava estos problemas al generar condiciones anaeróbicas. La falta de control efectivo de plagas y enfermedades, como nematodos, daña las raíces, reduciendo su capacidad para absorber agua y nutrientes. Además, prácticas agrícolas mal implementadas, como el uso excesivo de fertilizantes, compactación del suelo por maquinaria pesada y acumulación de sales, degradan las propiedades del suelo, afectando gravemente el sistema radical.

Esta visión de la zona bananera de Urabá analizada por expertos en el cultivo del banano, se centró en el cuidado de las raíces, sin plantear una visión holística que permita el análisis de variables que incidan en la disminución de la producción.

### **Análisis de las propiedades químicas y físicas**

El análisis de niveles críticos reveló que el 44,7% de los suelos clasificados en las clases A y B tienen buenas condiciones para el manejo de la fertilidad, requiriendo generalmente la aplicación de un elemento en mayores cantidades y, ocasionalmente, la adición de un nutriente no incluido en la práctica de manejo actual.

El 45,1% de los suelos de la zona bananera presentó desequilibrios moderados, requiriendo la adición de hasta tres nutrientes mayores, secundarios o macroelementos en los planos de manejo, debido a aplicaciones insuficientes o la ausencia de ciertos nutrientes.



El 10,2% de los suelos mostró una grave pérdida de la fertilidad, con baja productividad y costos elevados e ineficientes en fertilización. Estos casos requieren un análisis detallado del fraccionamiento de fertilizantes, la viabilidad económica y los rendimientos del cultivo. Se recomienda destinar estas tierras a recuperación para prevenir la erosión y la desertificación.

El análisis visual realizado por los técnicos se abordó desde diversas escalas. A nivel de sitio, permitió identificar áreas específicas dentro de los lotes donde era necesario aplicar fertilizantes de manera focalizada. Por otro lado, al considerar la morfología de las raíces, se observó que, en suelos con problemas asociados a niveles freáticos altos, particularmente en terrenos con morfologías plano cóncavas, las plantas mostrarán un fenómeno de "embalconamiento", donde las raíces emergían del suelo. Ante esta situación, los técnicos de campo implementaron la construcción de canaletas superficiales.

Un análisis visual a mayor escala reveló que la incidencia de enfermedades como la sigatoka negra y el uso de insecticidas aumentaban hacia el interior del área de estudio, especialmente en zonas con mayores precipitaciones de norte a sur. Las áreas de Chigorodó, con mayor susceptibilidad a la sigatoka negra, fueron destinadas al cambio de cultivo, reemplazando el plátano por palma africana.

Las áreas de producción de banano con las condiciones climáticas más favorables para la sanidad vegetal se encuentran ubicadas en el municipio de Apartadó. En contraste, el municipio de Turbo presenta una disminución en las precipitaciones y una mayor incidencia de vientos (Larrosa Arnal, 2024).

Desde un enfoque basado en la física de suelos, se identificó que las tierras destinadas al cultivo de banano en el Urabá antioqueño provienen de depósitos aluviales con orígenes y composiciones variables, lo que resalta la necesidad de un análisis detallado de estas características para optimizar

En el Urabá antioqueño, a lo largo de cuatro campañas de campo realizadas (IGAC, 1999, 2005 y 2007), se identificaron nueve subclases que combinaban los diferentes tipos de grupos texturales superficiales (0-25 cm) y subsuperficiales (25- 50 centímetros). Estas combinaciones incluyeron texturas arcillosas (C, por sus siglas en inglés: Clay), francas o medias (L: Loam) y arenosas (S: Sand). Los porcentajes aproximados de tierras bananeras correspondientes a estas subclases se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Tipos y subtipos Buol*

| Tipo      | Subtipo   | Subclase | %     |
|-----------|-----------|----------|-------|
| Arcilloso | Arcilloso | C        | 35,0  |
| Arcilloso | Franco    | C/L      | 24,5  |
| Franco    | Franco    | L        | 21,0  |
| Franco    | Arenoso   | L/S      | 8,3   |
| Franco    | Arcilloso | L/C      | 7,2   |
| Arenoso   | Arenoso   | S        | 1,2   |
| Arenoso   | Arcilloso | S/C      | 0,1   |
| Arenoso   | Franco    | S/L      | 1,2   |
| Arcilloso | Arenoso   | C/S      | 1,5   |
| Total     |           |          | 100,0 |

*Nota.* Análisis de documentos IGAC (1999 – 2007).

El 59% del territorio del Urabá antioqueño está compuesto por suelos arcillosos, resultado de una dinámica fluvial asociada a planicies aluviales de sedimentación tranquila y alejada del río, que funcionaron como cuencas para acumular depósitos de nutrientes ahora utilizados en la producción de banano de exportación. Estas requieren adaptación mediante sistemas de drenaje de tierras conocidos como "espinas de pescado", compuestos por redes de canales primarios, secundarios y terciarios, y en ocasiones, canales superficiales para eliminar el exceso de agua. Este sistema es clave para regular los niveles freáticos y favorecer la oxigenación y el desarrollo radicular del cultivo de banano.

### Compactación del suelo

Con el propósito de evaluar la humedad actual de los suelos y la compactación generada por la interacción entre los grupos texturales y la consistencia en estado húmedo, se llevaron a cabo mediciones utilizando un penetrógrafo en un centenar perfiles de suelo representativos de todas las unidades cartográficas de la zona bananera de Urabá. Estos perfiles, registrados a una escala detallada de 1:10.000, proporcionaron información importante para el manejo del suelo en la región y actualmente se encuentran bajo custodia de las compañías bananeras (Figura 5).

**Figura 5**

*Registro de resistencia a la penetración de raíces de acuerdo con los índices de humedad*

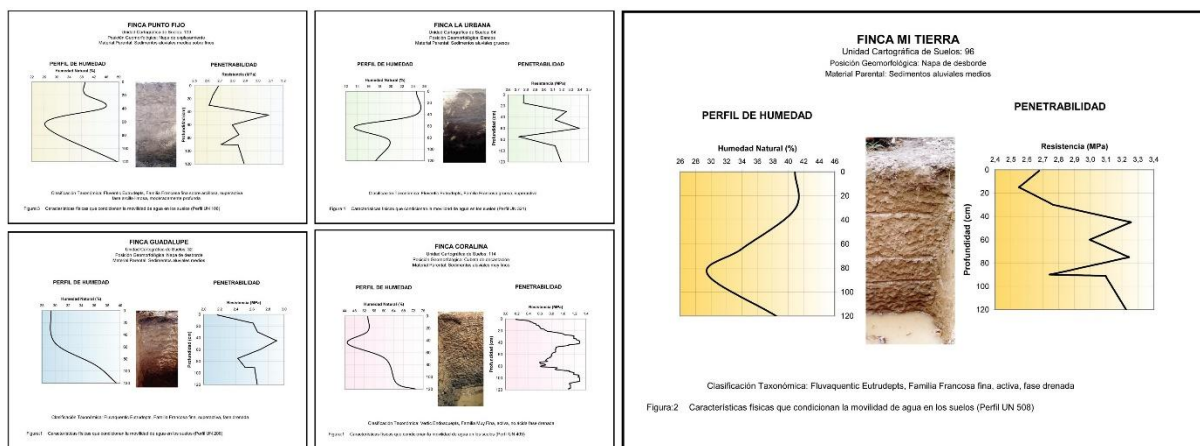


Figura 2 Características físicas que condicionan la movilidad de agua en los suelos (Perfil UN 508)

*Nota.* Adaptado de *Estudio detallado de suelos de fincas bananeras localizadas en el Urabá Antioqueño*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005,

El análisis de la compactación y el índice de humedad de las tierras cultivadas con banano en el Urabá antioqueño reveló que el 50,5% de estas no presentaron restricciones hasta una profundidad de 90 cm; sin embargo, entre 90 y 100 cm, los suelos comienzan a compactarse debido al déficit de humedad y al incremento en el contenido de arcilla, lo que genera una resistencia a la penetración de las raíces del cultivo.

El 33% de las tierras presentó alta resistencia a la penetración radicular desde los 25 cm de profundidad, debido a la disminución de la porosidad y el aumento de la densidad aparente en capas arcillosas o con gravillas, lo que limitó el desarrollo de las raíces. Además, el 8% de los suelos mostró compactación entre 50 y 90 cm,

permitiendo un anclaje radicular mínimo que, aunque restrinja los rendimientos óptimos, puede ser suficiente cuando los nutrientes se encuentren en cantidades óptimas.

Los índices de compactación del suelo analizados en esta investigación se basaron en la interpretación de variables obtenidas a partir de los levantamientos de suelos realizados por el IGAC durante las campañas de 1999, 2005 y 2007 en la zona.

### **Análisis de aguas freáticas**

El análisis de las aguas freáticas, basado en muestreos realizados en 103 puntos, reveló que el 84,7% de las muestras se clasifican como moderadamente salinas. Los valores de pH oscilaron entre 5,7 y 7,9, mientras que el 13,7% de las muestras presentaron baja salinidad. Solo el 1,9% de las aguas se identifican como altamente salinas, asociadas a cuñas salinas que se extienden aproximadamente un kilómetro desde el borde del golfo de Urabá hacia las fincas bananeras (IGAC, 2005 y 2006).

Las aguas salinas presentaron bajos niveles de sodio, pero el ascenso del nivel freático debido a las lluvias puede reducir la productividad agrícola, requiriendo prácticas especiales para el manejo de la salinidad y la profundización de canales en suelos con drenaje deficiente. Una visión integral, que combinó disciplinas científicas y el conocimiento local de los actores productivos, permitió identificar la pérdida de la fertilidad en área del municipio de Turbo en Antioquia.

Con base en el análisis integral de la fertilidad natural se obtuvieron los siguientes resultados: 45% de las tierras presenta necesidades moderadas de fertilizantes, evidenciando una extracción continua y un desequilibrio en la concentración de elementos nutritivos. Según los datos recolectados entre 1998 y 2007, el 10,2% del área mostró procesos erosivos y una pérdida severa de la fertilidad, atribuible tanto a la inadecuada aptitud de estas tierras para el cultivo intensivo de banano como a su baja resiliencia frente al uso agrícola intensivo.

La disminución de la fertilidad natural de los suelos se ha asociado al aumento en su compactación, evidenciado mediante mediciones de resistencia a la penetración de raíces. Se determinó que el 41% de las tierras presenta capas compactadas, originadas principalmente por variaciones en la humedad y la interacción entre esta y los elevados contenidos de arcilla. Esta compactación ha resultado en una reducción de la profundidad efectiva del suelo, lo que limita significativamente la disponibilidad de nutrientes.

Luego de cinco décadas de cultivo intensivo de banano en la región de Urabá, una zona históricamente marcada por conflictos sociales, se identificó un panorama alarmante relacionado con la pérdida de la fertilidad del suelo. Entre las principales posibles causas se destacan:

El descenso del nivel freático causado por la sobreexplotación de agua para el riego en los cultivos de banano y su consecuente disminución significativa en la altura del agua subsuperficial, según los registros de la red freática en las fincas bananeras. Este fenómeno ha reducido la disponibilidad hídrica para las plantas y alterado el equilibrio del ecosistema hidrológico local.

La compactación del suelo en ciertas fincas se atribuyó al tránsito frecuente del personal de campo y el pisoteo constante durante las actividades agrícolas, realizados bajo condiciones de humedad no óptimas, han ocasionado una compactación superficial del suelo. Este proceso ha disminuido la porosidad, limitando el intercambio de el intercambio gaseoso y la penetración. de las raíces.

## Relación de nutrientes

El desequilibrio nutricional se debe a la aplicación intensiva de fertilizantes, junto con la ausencia de prácticas de rotación de cultivos, lo que provocó una alteración en la disponibilidad de nutrientes del suelo, y esto impactó de manera adversa la salud y productividad

El exceso de magnesio en los suelos de la zona bananera de Urabá se ha atribuido al uso prolongado de ciertos fertilizantes, lo que ha incrementado significativamente sus niveles. Este desequilibrio ha interferido en la absorción de otros nutrientes esenciales por parte de las plantas, impactando negativamente su desarrollo.

La acidificación de los suelos causada por la liberación de ácidos orgánicos y por la lixiviación de nutrientes, es una consecuencia lógica generada por las prácticas agrícolas inadecuadas. Este proceso redujo la disponibilidad de nutrientes esenciales, afectando negativamente el desarrollo del cultivo de banano.

En este contexto, la resiliencia se definió como la capacidad de un socio ecosistema para enfrentar eventos peligrosos o perturbaciones (Holling, 1973). Esto incluyó un análisis sobre la capacidad de reorganizarse de manera que se conserve su función, identidad y estructura esencial, fortaleciendo su adaptabilidad, aprendizaje y capacidad de transformación. En la región, la mayoría de las tierras han sido drenadas, lo que provoca que durante las épocas secas se presenten altos niveles de compactación, mientras que en temporadas de lluvia los niveles freáticos se elevan. En algunas fincas ubicadas en los planos de inundación de los ríos, esta situación ha ocasionado inundaciones prolongadas.

Diversas interpretaciones sobre la resiliencia frente al cambio en el uso de la tierra fueron analizadas en relación con la degradación del suelo (Lal, 2018; Castro, 2023a), el cambio climático y la desertificación (Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación [UNCCD], 2014), así como con políticas orientadas a la conservación de la biodiversidad (Muñoz-Rojas et al, 2021). Sin embargo, ninguna de estas perspectivas ha abordado de manera explícita la relación entre la pérdida de la fertilidad del suelo y el impacto generado por los monocultivos en las sabanas naturales o en las tierras agrícolas.

## 4. CONCLUSIONES

La pérdida de fertilidad en las regiones bananeras se debe al desequilibrio químico, como el exceso de magnesio y la acidificación, junto con la compactación del suelo, la pérdida de materia orgánica y la sobreaplicación de fertilizantes. Estas problemáticas resultan de prácticas agrícolas intensivas y monocultivos sin manejo sostenible. Además, están vinculadas a políticas de colonización que impulsaron cultivos en suelos inapropiados, como zonas inundables. Dichas decisiones, guiadas por intereses económicos, ignoraron las características del suelo, lo que aceleró su deterioro y afectó la cohesión social.

Por otro lado, la intensificación agrícola sin prácticas sostenibles ha exacerbado la pérdida de fertilidad. Esto se debe a que el drenaje excesivo y la aplicación desequilibrada de fertilizantes han acidificado y compactado el suelo, reduciendo su capacidad para liberar nutrientes esenciales. A ello se suma la proliferación de enfermedades y plagas, favorecida por el monocultivo, lo que incrementa la vulnerabilidad del sistema agrícola ante fenómenos climáticos extremos y acelera su degradación.



Para abordar eficazmente esta problemática, es necesario un enfoque holístico que integre aspectos técnicos, socioeconómicos y culturales. En este sentido, la diversificación de cultivos, el monitoreo constante de los suelos y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles son esenciales para restaurar la fertilidad. Asimismo, se requiere revisar las políticas públicas para promover la conservación ambiental y la protección de recursos naturales, involucrando activamente a las comunidades en la toma de decisiones.

**Conflicto de intereses / Competing interests:**

Los autores declaran que no incurrieron en conflictos de intereses.

**Rol de los autores / Authors Roles:**

Carlos Castro: conceptualización, curación, análisis formal de los datos, investigación, metodología, redacción, administración del proyecto y redacción-revisión y edición.

Yolima Agualimpia: recursos materiales, supervisión, validación, redacción-borrador original, revisión y edición.

**Fuentes de financiamiento / Funding:**

Los autores declaran que no recibieron financiamiento para la realización de la investigación.

**Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:**

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

## REFERENCIAS

- Agualimpia, Y., & Castro, C. (2016). *Propuesta metodológica para la zonificación climática a diferentes escalas en Colombia, con fines de manejo sostenible del territorio. Fase I*. Centro de Investigaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (CIUD).
- Babu, M., Gezahegn, M., & Ndemo, E. (2023). Determinants of soil and water conservation practices in the West Hararghe zone of Eastern Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 9(2), 2267274. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2267274>
- Báez, A. (1999). *Efecto de la calidad de agua en el riego sobre las propiedades del suelo* [Monografía para especialista en producción vegetal]. UNMP – INTA Balcarce.
- Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – A review. *Soil Use and Management*, 25(4), 335–345. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- Bier, R. L., Daniels, M., Oviedo-Vargas, D., Peipoch, M., Price, J. R., Omondi, E., Smith, A., & Kan, J. (2024). Agricultural soil microbiomes differentiate in soil profiles with fertility source, tillage, and cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 368, 109002. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109002>
- Cenibanano. (2010). Análisis de la distribución espacial de los suelos en una finca bananera. *Congreso ACORBAT*.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Castro, C. E. (2023a). *Degradación de tierras y usos agrícolas intensivos en sector Tillavá – Los Kioscos en la Sabana estacional de Puerto Gaitán, Meta, Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio Institucional UPTC. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9649>



- Castro, C. E. (2023b). *Consulta a expertos en degradación de tierras en Latinoamérica* [Instrumento para recoger información]. <https://goo.su/Jjq0Uzj>
- Castro, C. E. (2024). *El diagnóstico de la fertilidad de los suelos desde la visión agrológica*. Editorial Académica Española.
- Castro, C. E., & Figueroa, E. (1990). *Simulación agua-Producción para el manejo óptimo del agua en cuatro variedades de papa* [Trabajo de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].
- Chikopela, L., Kalinda, T. H., Ng'ombe, J. N., & Kuntashula, E. (2024). Cultivating sustainability: Adoption and intensity of soil fertility management technologies among rural farms in Zambia. *World Development Sustainability*, 5, 100174. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100174>
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162–167. <https://goo.su/DJEo>
- Do, V. H., Oborn, I., La, N., Bergkvist, G., Dahlin, A. S., & Mulia, R. (2025). Spatial and temporal variation in crop productivity and relation with soil fertility within upland agroforestry. *Field Crops Research*. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109675>
- Encuentro Internacional de Expertos en Suelos. (18 de junio de 2021a). *Productividad, ambiente y sociedad* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JXLFqppSZIk>
- Encuentro Internacional de Expertos en Suelos. (18 de junio de 2021b). *Productividad, ambiente y sociedad* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kZncOYeF5sw>
- Encuentro Internacional de Expertos en Suelos. (10 de diciembre de 2021c). *Datos, información, conocimiento y escala* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=YW1Bu9wSnxg>
- Encuentro Internacional de Expertos en Suelos. (10 de diciembre de 2021d). *Datos, información, conocimiento y escala* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ROzXrr70AQM>
- Galiano, F. (1991). Capacidad de intercambio catiónico y aniónico, bases de cambio y saturaciones. En *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego* (pp. 164–185). SCCS.
- García Guzmán, S. D., Bautista-Montealegre, L. G., & Bolaños-Benavides, M. M. (2019). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de cuatro municipios de Cundinamarca (Colombia) para la producción de plátano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192>
- Gauggel, C. A., Sierra, F., & Arévalo, G. (2003). The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience. En *Banana Root System: Towards a Better Understanding for Its Productive Management* (pp. 3–5). CGIAR. <https://acortar.link/NipVzU>
- Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente. (2008). *La apropiación y el saqueo de la naturaleza: Conflictos ecológicos distribuidos en la Argentina del Bicentenario*. Lugar Editorial.
- Gutiérrez, H. J. C. y Castañeda, S. D. (2009). *Metodología para el manejo y uso del suelo por sitio específico en el cultivo de banano*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.



- Herrera, J. A., Ramírez, L. F., Guzmán, R., & Gordon, H. (2021). *Evaluación de la fertilidad del suelo y de nutrición de los cultivos*. Editorial Científica RUTH.
- Hillel, D. (2003). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística* (3ª ed.). Sypal.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Estudio Nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. IDEAM. <https://acortar.link/r5DW3t>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1999). *Estudio detallado de suelos de fincas bananeras localizadas en el Urabá Antioqueño proyecto MOFER (Modelo de fertilidad)*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2005). *Estudio detallado de suelos de fincas bananeras localizadas en el Urabá Antioqueño*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Estudio detallado de suelos de 35 fincas bananeras localizadas en el Urabá Antioqueño*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2007). *Levantamiento semidetallado de suelos en áreas potencialmente agrícolas subregión de Urabá*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). *Suelos y tierras de Colombia* (Tomo 1 y 2).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2018). *Descripción y muestreo de suelos*. <https://goo.su/DoHT>
- Lal, R. (1997). Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352(1356), 997–1010.
- Lal, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, 24(8), 3285–3301. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>
- Larrosa Arnal, J. (15 de julio de 2024). *Cómo influye el viento en la agricultura*. <https://www.larrosa-arnal.com/blog/como-influye-el-viento-en-la-agricultura/>
- Marschner, P. (2011). *Mineral nutrition of higher plants* (3ª ed.). Academic Press.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5ª ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo, M., & Lucas-Borja, M. E. (2021). La biodiversidad y el carbono orgánico del suelo son esenciales para revertir la desertificación. *Ecosistemas*, 30(3), 2238. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2238>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Química agrícola. Química del suelo y los nutrientes esenciales para las plantas*. Mundi-Prensa.
- Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122(1-2), 51–71. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00032-8)

- Nie, A., Zhang, X., Wang, Y., & Chen, X. (2019). Soil structure and hydraulic properties affected by drainage management practices in farmland. *Agricultural Water Management*, 218, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.044>
- Ortega, R., Miralles, I., Domene, M. A., Meca, D., & del Moral, F. (2024). Ecological practices increase soil fertility and microbial diversity under intensive farming. *Science of The Total Environment*, 954, 176777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176777>
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43–71). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0003\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0003_3)
- Pengue, W. (2017). *El vaciamiento de las Pampas. La exportación de nutrientes y el final del granero del mundo*. Fundación Heinrich Böll. <https://cl.boell.org/sites/default/files/libro-el-vaciamiento-de-las-pampas.pdf>
- Pengue, W. (2021, 10 de diciembre). Metabolismo rural, flujo de nutrientes e intangibles en la agricultura ¿Vamos hacia el vaciamiento de las Pampas? *Segundo Encuentro Internacional de Expertos en Suelos. Datos, información, conocimiento y escala*.
- Ríos, R. (18 de junio de 2021). *Determinación y efecto del uso del suelo en la actividad de microorganismos edáficos* [Video]. Encuentro Internacional de Expertos en Suelos: Productividad, ambiente y sociedad. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kZncOYeF5sw>
- Thepparit, T., Pairintra, C., & Kyuma, K. (1985). Changes in soil fertility and tilth under shifting cultivation. *Soil Science and Plant Nutrition*, 31(2), 239–249. <https://doi.org/10.1080/00380768.1985.10557430>
- Torres, D., Álvarez, J., Contreras, J., Henríquez, M., Hernández, W., Lorbes, J., & Mogollón, J. P. (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(3), 207–218. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612017000300006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000300006)
- Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación. (2014). *Adaptación y resiliencia basada en la tierra. Impulsadas por la naturaleza* (2ª ed.). UNCCD. [https://catalogue.unccd.int/856\\_Land\\_Based\\_Adaptation\\_SPA.pdf](https://catalogue.unccd.int/856_Land_Based_Adaptation_SPA.pdf)
- Schoeneberger (ed.), P., Wysocki (ed.), D., Benham (ed.), E., & Broderson (ed.), W. (2002). *Guía de campo para el muestreo y descripción de perfiles de suelo*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/field-book-spanish.pdf>
- Vanacker, V., Molina, A., Govers, G., Poesen, J., Dercon, G., & Deckers, J. (2005). Erosion and sediment yield in a tropical mountain catchment in the Ecuadorian Andes. *Geomorphology*, 72(1-4), 207–223. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.05.011>
- Wang, Y., Zhang, Y., Xian, Y., Zhang, J., Tan, B., & Zhang, Y. (2024). Horizontal and vertical variations in soil fertility in response to soil translocation due to tillage-induced erosion on sloping cropland. *Catena*, 242, 108089. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108089>
- White, P. J., & Brown, P. H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, 105(7), 1073–1080. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq085>

Zhao, Z., Zhou, H., Chen, W., Wu, Y., Liu, G., & Xue, S. (2024). Response of soil structure and fertility to long-term fertilization in alpine grasslands revealed based on fractal theory. *Soil & Tillage Research*, 242, 106167. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106167>

