



# Variabilidad espacial de propiedades físicas del suelo y respuesta inicial del banano (*Musa AAA* cv. Williams) en Urabá, Colombia

## Spatial Variability of Soil Physical Properties and Initial Response of Banana (*Musa AAA* cv. Williams) in Urabá, Colombia

Ramiro Ramírez Pisco<sup>1✉</sup>, Edna Ivonne Leiva Rojas<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.



Vol. 54 (1 y 2) de 2024 | pp: 77 - 83 | ISSN 0562-5351 E-ISSN 2665-6558 | REC.: 19/03/2026 - ACEP.: 28/03/2026

### RESUMEN

En la región de Urabá, Colombia, el cultivo de banano es un pilar fundamental de la economía local. Sin embargo, su producción enfrenta desafíos entre ellos el rendimiento asociado a la baja fertilidad del suelo, la alta incidencia de problemas patológicos y en general a un manejo standard de la nutrición del cultivo, sin considerar las particularidades de cada finca, lo que ha desembocado en dificultades económicas del sistema bananero. Para abordar el manejo integral del suelo, que es un aspecto fundamental, donde se analizan las relaciones hídricas, físicas y químicas con la nutrición del cultivo, se propone el estudio integral de los factores mencionados, desde una perspectiva espacio temporal, para encontrar una alternativa que estimule el crecimiento y la producción del banano con principios sostenibles mediante la implementación de sistemas de manejo de producción agrícola 3M, que es potenciador vegetal, con bioestimulante orgánico, enriquecido con los nutrientes requeridos en cada condición de suelo y cultivo.

**Palabras claves:** Cobertura vegetal, diversidad, oligoquetos, propiedades físicas del suelo.

### ABSTRACT

In the Urabá region of Colombia, banana production is a cornerstone of the local economy. However, its productivity faces several challenges, including yield limitations associated with low soil fertility, a high incidence of pathological problems, and, in general, the use of standardized crop nutrition practices that do not account for farm-specific conditions. This has led to economic constraints within the banana production system. To address integrated soil management—an essential aspect involving the interaction of soil water, physical, and chemical properties with crop nutrition—this study proposes a comprehensive assessment of these factors from a spatiotemporal perspective. The aim is to identify management alternatives that enhance banana growth and productivity under sustainable principles. This includes the implementation of 3M agricultural production management systems, consisting of a plant-enhancing approach based on organic biostimulants enriched with nutrients tailored to specific soil and crop conditions.

**Keywords:** Vegetation cover, diversity, oligochaetes, physical properties of the soil.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano (*Musa AAA cv. Williams*) en la región de Urabá, Colombia, constituye uno de los principales pilares de la economía regional y de las exportaciones agrícolas del país. Su sostenibilidad productiva enfrenta limitaciones asociadas a las condiciones físicas y químicas del suelo, las cuales restringen la dinámica del agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes, afectando directamente el crecimiento radical y el rendimiento del cultivo. Propiedades como la densidad aparente, la estabilidad estructural y la conductividad hidráulica han sido identificadas como determinantes en sistemas tropicales intensivos (Lal, 2004; Bronick & Lal, 2005; Bünemann et al., 2018).

El manejo del suelo en sistemas bananeros ha estado históricamente basado en esquemas generalizados de fertilización y prácticas agronómicas estandarizadas derivadas del avance tecnológico del cultivo. Estos enfoques no incorporan la variabilidad espacial de las propiedades del suelo ni las condiciones particulares de cada finca o lote, lo que limita la eficiencia en el uso de nutrientes y compromete la sostenibilidad del sistema productivo (Robertson et al., 2013; Zhang et al., 2002).

El manejo sitio-específico y la agricultura de precisión permiten optimizar el uso de insumos y mejorar la productividad mediante la integración de información espacial y temporal del suelo. La variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas influye en la dinámica del agua y en la disponibilidad de nutrientes, condicionando la respuesta del cultivo (Cambardella et al., 1994; Goovaerts, 1998; McBratney et al., 2005; Mulla, 2013).

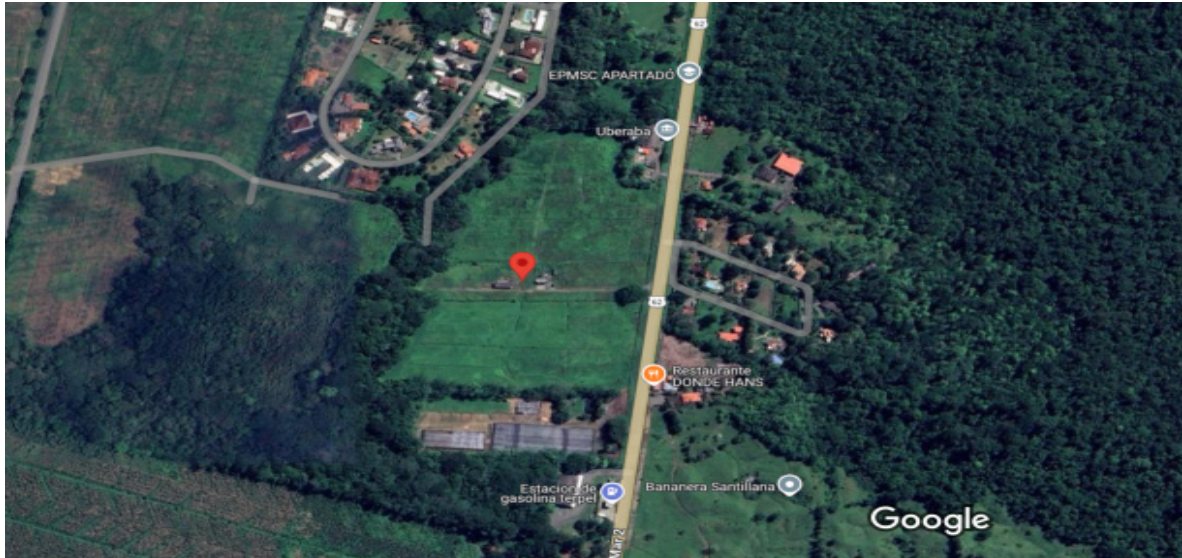
El manejo integral del suelo, entendido como la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, constituye un elemento

clave para mejorar la eficiencia de los sistemas productivos (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020). En cultivos como el banano, donde el sistema radical depende de condiciones adecuadas de estructura, porosidad y disponibilidad hídrica, resulta fundamental comprender estas interacciones para diseñar estrategias de manejo más eficientes (Robinson & Galán Saúco, 2010).

La generación de información espacial detallada de los suelos permite sustentar la implementación de prácticas de manejo diferenciadas orientadas a optimizar el uso de recursos y mejorar la productividad del cultivo. La evaluación de enmiendas orgánicas enriquecidas con bioestimulantes, como Terra-Xue, se plantea como una alternativa para mejorar las propiedades físicas del suelo, estimular la actividad biológica y favorecer la disponibilidad de nutrientes en función de las condiciones específicas de cada sitio (du Jardin, 2015; Calvo et al., 2014). Este enfoque contribuye al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles, basados en la comprensión de la variabilidad espacial del suelo y su relación con la respuesta del cultivo, promoviendo una agricultura más eficiente y adaptada a las condiciones locales.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló en la región de Urabá, departamento de Antioquia, Colombia, en el Centro Experimental de Fitoplant, ubicado en el municipio de Apartadó (7°48'58.4" N, 76°39'05.2" W) en una área destinada para la producción de banano, en el cual se establecieron puntos de muestreo distribuidos en la zona de interés, con el fin de garantizar la representatividad en la recolección de muestras y la toma de datos de suelo en campo (Figura 1).

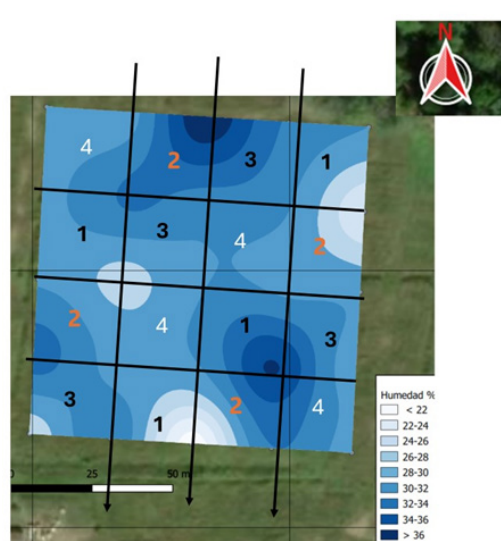


**Figura 1.** Zona de estudio, municipio de Carepa, Urabá Antioqueño.

Con base en los mapas de nivel freático y contenido de humedad del suelo, y considerando la ubicación de los canales de drenaje, se definió un espaciamiento de 25 m entre estos. Dentro de las parcelas se trazaron canales alternos para facilitar la evacuación del agua.

La preparación del suelo se realizó en cada sitio de siembra del cultivo de banano, donde se aplicó Terraxue en la dosis correspondiente según el tratamiento. Los tratamientos

evaluados fueron: T1 (300 g de cal + 60 g de sulfato de amonio + 1 kg de materia orgánica de palma), T2 (240 g de cal + 48 g de sulfato de amonio + 2 kg de Terraxue + 800 g de materia orgánica de palma), T3 (210 g de cal + 42 g de sulfato de amonio + 3 kg de Terraxue + 700 g de materia orgánica de palma) y T4 (150 g de cal + 30 g de sulfato de amonio + 5 kg de Terraxue + 500 g de materia orgánica de palma). Estos tratamientos correspondieron a niveles de fertilización convencional del 100 %, 80 %, 70 % y 60 %, respectivamente.



**Figura 2.** Distribución de tratamientos, con base en mapas de campo (Los números corresponden con el tratamiento aplicado).

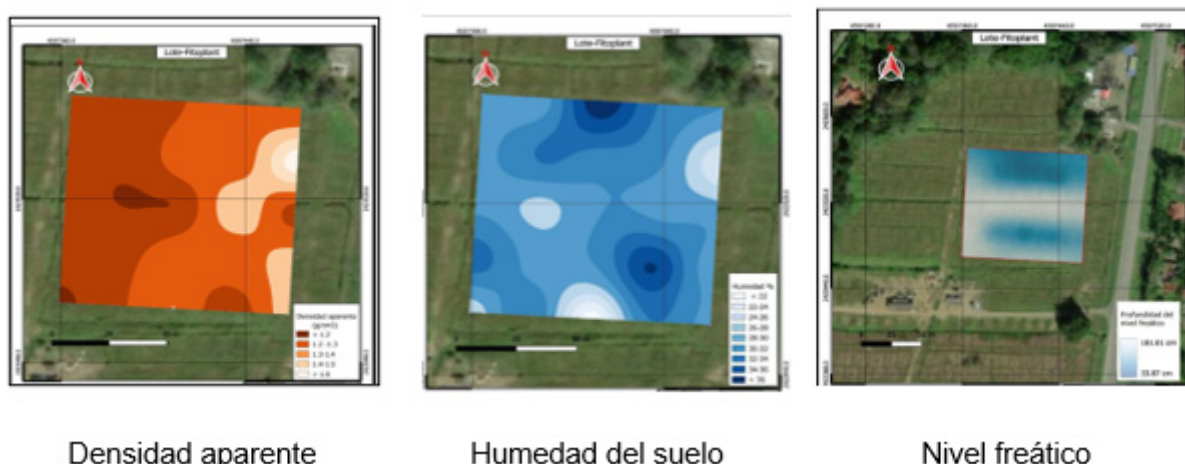
Los tratamientos se dispusieron en un diseño experimental de bloques grecolatinos correspondientes a 4 tratamientos con cuatro repeticiones (Figura 2). Cada parcela estuvo conformada por 50 plantas de banano, para un total de 800 plantas en el experimento.

La caracterización física del suelo incluyó la determinación de densidad aparente mediante el método del cilindro y densidad real por el método del picnómetro. La estabilidad de agregados se evaluó mediante el método de De Leenheer y De Boodt, modificado por Ramírez (2020). La porosidad total se estimó

como  $(1 - (da/dr)) \times 100$ . La conductividad hidráulica se determinó mediante el método de laboratorio de cabeza constante. El coeficiente de expansión lineal (COEL) se determinó siguiendo la metodología del IGAC (2002) y la impedancia mecánica se evaluó utilizando un penetrómetro Eijkelkamp.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyeron los mapas de variabilidad espacial de densidad aparente (escala 1:750), humedad del suelo (escala 1:750) y nivel freático (escala 1:1500) (Figura 3).



**Figura 3.** Mapas de variabilidad espacial de densidad aparente (escala 1:750), humedad del suelo (escala 1:750) y nivel freático (1:1500).

Con base en los datos de distribución de esta variables se procedió al establecimiento del diseño experimental en campo.

La brotación del banano inició aproximadamente a los 40 días después de la siembra, y la emergencia fue evaluada a los 45 días. Se observó una menor brotación en los bloques 2, 3 y 4, lo que sugiere variabilidad espacial en las condiciones del ensayo (Tabla 1).

El tratamiento T4 presentó el mayor porcentaje promedio de brotación (63,5 %), seguido por T3 (62,0 %) y T1 (61,5 %), mientras

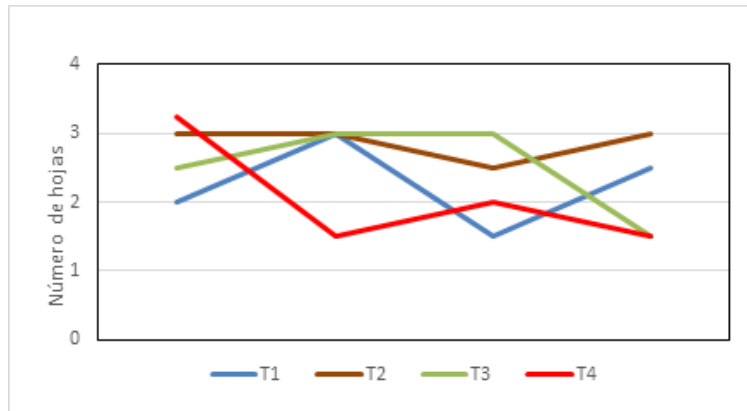
que T2 registró el valor más bajo (49,5 %). No obstante, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1). La desviación estándar evidenció una variabilidad moderada a alta, particularmente en T3 y T4, indicando una respuesta heterogénea entre repeticiones

### Numero de hojas

El número de hojas por planta osciló entre 2 y 3 hojas en promedio, sin diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, el tratamiento T2 presentó menor variabilidad, lo que indica una mayor uniformidad en el desarrollo foliar (Figura 4).

**Tabla 1.** Porcentaje de brotación de banano Williams en cada tratamiento

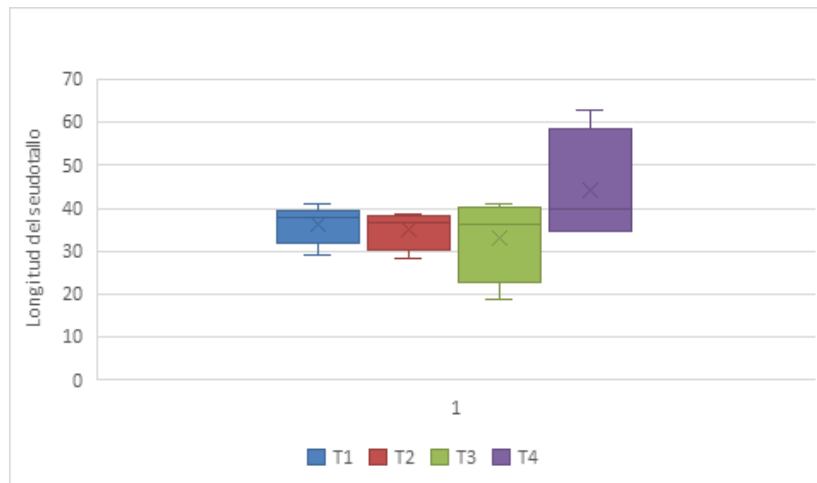
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
	58	48	92	50
	86	58	54	54
	46	44	44	90
	56	48	58	60
Promedio	61,5	49,5	62	63,5
Dev Stdar	14,86	5,17	18,06	15,71



**Figura 4.** Distribución de tamaño de hojas durante la primera fase de crecimiento del banano

La longitud del seudotallo varió entre 19 y 67 cm. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas, este parámetro tiene alta relevancia agronómica, dado que el seudotallo constituye una reserva fundamental de foto asimilados para el desarrollo del

racimo. El valor máximo (67 cm) se registró en el tratamiento T4, evidenciando una respuesta destacada en este tratamiento, mientras que el tratamiento T2 mostró una tendencia a mayor uniformidad en el crecimiento (Figura 5).



**Figura 5.** Distribución de la longitud del tallo durante su primera fase de crecimiento del banano

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los mapas de variabilidad espacial evidenciaron heterogeneidad en densidad aparente, humedad del suelo y nivel freático, condiciones que influyeron en la respuesta inicial del cultivo, particularmente en la brotación diferenciada entre bloques. Este comportamiento coincide con lo reportado por Cambardella et al. (1994), quienes destacan el efecto de la variabilidad edáfica sobre procesos biológicos y productivos a escala de campo.

Aunque no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, el tratamiento T4 mostró una tendencia consistente a mayores valores de brotación (63,5 %) y longitud de seudotallo (67 cm), lo que sugiere condiciones más favorables para el establecimiento inicial. En contraste, T2 presentó menor variabilidad, indicando mayor uniformidad en el desarrollo, aspecto relevante para el manejo agronómico. La ausencia de diferencias significativas puede atribuirse a la etapa temprana del cultivo, donde la influencia de las propiedades físicas del suelo suele ser más determinante que los efectos de los tratamientos, especialmente en sistemas con alta variabilidad espacial (Bronick & Lal, 2005). Asimismo, la relación entre condiciones físicas del suelo y desarrollo del banano resalta la importancia de la estructura y disponibilidad hídrica en el crecimiento inicial del cultivo (Robinson & Galán Saúco, 2010). Estos resultados refuerzan la necesidad de implementar estrategias de manejo sitio-específico basadas en la variabilidad del suelo para optimizar el desempeño del cultivo.

## CONCLUSIONES

La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, humedad y nivel freático) condicionó el establecimiento inicial del cultivo de banano, evidenciando

diferencias en la brotación entre bloques y confirmando la influencia de las condiciones edáficas a escala de lote.

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las variables evaluadas durante la fase inicial; sin embargo, se identificaron tendencias agronómicas relevantes. El tratamiento T4 presentó los mayores valores de brotación y longitud de seudotallo, sugiriendo un efecto positivo sobre el crecimiento inicial, mientras que el tratamiento T2 mostró mayor uniformidad en el desarrollo, característica clave para la gestión agronómica.

La implementación de estrategias de manejo sitio-específico se plantea como una alternativa para optimizar la productividad y mejorar la eficiencia del sistema bananero en condiciones de alta variabilidad edáfica.

## BIBLIOGRAFIA

- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1–2), 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Goovaerts, P. (1998). Geostatistics in soil science: State-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1–2), 1–45. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00078-0)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2002). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. IGAC.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- McBratney, A. B., Whelan, B. M., Aneev, T., & Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.001>
- Ramírez, R. (2016). Fertilidad integral: Actualización de la fertilidad del suelo. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (Ed.), *Fertilidad integral* (pp. 41–56). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. ISBN: 978-958-8598-13-0
- Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2010). *Bananas and plantains* (2nd ed.). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845936587.0000>
- Robertson, M. J., Llewellyn, R. S., Mandel, R., Lawes, R., Bramley, R. G. V., Swift, L., Metz, N., & O'Callaghan, C. (2013). Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry. *Field Crops Research*, 143, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.12.014>
- Rosales, F. E., Pocasangre, L. E., Trejos, J., Serrano, E., Acuña, O., Segura, A., Delgado, E., Pattison, T., Rodríguez, W., & Staver, C. (2006). Guía para el diagnóstico de la calidad y la salud de suelos bananeros. En *Memorias XVII Reunión ACORBAT* (pp. 198–206).
- Vargas Castaño, Á. (2024). Efecto de las prácticas agronómicas del cultivo de banano (*Musa AAA*) sobre los indicadores de calidad y salud de los suelos en la región del Urabá antioqueño [Trabajo de grado]. Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/8064>
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)