

Variación fisicoquímica en suelos bananeros de Urabá Colombia: Comparación entre dos décadas

Physicochemical variation in banana soils of Urabá Colombia: Comparison between two decades

Miguel Ángel Bernal-Monterrosa*¹; Laura Delgado-Bejarano²; Fabian Fonseca-Mercado³

Recibido para publicación: 05 de octubre de 2024 - Aceptado para publicación: 30 de octubre de 2024

RESUMEN

La implementación del monocultivo y la alteración de propiedades fisicoquímicas del suelo por efecto antrópico genera dinámicas y variaciones de las propiedades que son pobremente entendidas al igual que los efectos que ocasionan sobre el desarrollo del cultivo, lo que puede estar asociado con la disminución de la productividad. El objetivo de este análisis fue Identificar la variación de propiedades fisicoquímicas de suelos dedicados a producción de banano en dos décadas de uso en Urabá, Colombia. Se realizó compilación de información correspondiente a 484 calicatas y 1449 análisis de suelos comprendidos entre los periodos de 1999 y 2020-2022 de fincas distribuidas en el eje bananero en Urabá, Colombia. Los resultados se analizaron mediante el análisis de varianza y un análisis de comparación de medias mediante LSD test con un nivel de confianza del 95%. Existen diferencias estadísticas entre ambos periodos, evidenciado por una variación de -5,6 cm en el estrato superficial del suelo, densidad aparente en +0,2 g cm⁻³, porosidad en un -3,9 %, pH de -0,6 unidades, materia orgánica de -0,4 %, calcio de -2,5 cmol kg⁻¹, magnesio de -1,4 cmol kg⁻¹, CICE de -3,8 cmol kg⁻¹, potasio de +0,91 cmol kg⁻¹ y niveles en fosforo de +3,6 ppm. Este comportamiento se asocia con la pérdida de fertilidad en el suelo por dinámicas de erosión con tendencia a la degradación debido a la influencia de la actividad antrópica, lo que conlleva a la adopción de un enfoque basado en prácticas de conservación, recuperación de fertilidad y sostenibilidad de suelos.

Palabras clave: Dinámica nutricional; Erosión de suelo; Pérdida de fertilidad; Disminución de productividad.

¹Departamento servicios técnicos Grupo Agrovid, Santa Marta - Colombia.

²Augura - Cenibanano, Colombia.

³Director de producción C.I. Uniban – Colombia.

*Autor para correspondencia: Miguel Angel Bernal Monterrosa
E-mail: mbernal@grupoagrovid.com

ABSTRACT

The implementation of crop monoculture and alteration of physicochemical properties of the soil due to anthropic effects generate dynamics and variations on soil properties that are poorly understood, as well as the effects they cause on crop development, which may be associated with decrease in productivity. The objective of this study was to identify the variation in physicochemical properties of soils used on banana crops in two decades in Urabá, Colombia. Data consisted of 484 pits test and 1449 soil samples collected and analyzed between the 1999 and 2020-2022 period in farms distributed in the banana axe in Urabá, Colombia. Results were analyzed with an ANOVA and means compared with an LSD test at 95% confidence level. Statistical differences were detected between periods evidenced by a -5.6 cm variation in the superficial soil layer, apparent density +0.2 g cm⁻³, porosity -3.9 %, pH -0.6 units, organic matter -0.4 %, calcium -2.5 cmol kg⁻¹, magnesium -1.4 cmol kg⁻¹, CICE -3.8 cmol kg⁻¹, potassium +0.91 cmol kg⁻¹ and phosphorus levels +3.6 ppm. The patterns are associated with soil and fertility loss due to erosion with trends to degradation due to anthropic influence. These results suggest the implementation of conservation practices to promote fertility recovery and soil sustainability.

Key words: Nutritional dynamics; Soil erosion; Loss of fertility; Decrease in productivity.

Cómo citar

Bernal-Monterrosa, M. Á., Delgado-Bejarano, L. y Fonseca-Mercado, F. 2024. Variación fisicoquímica en suelos bananeros de Urabá, Colombia: Comparación entre dos décadas. *Temas Agrarios* 29(2): 188–199. <https://doi.org/10.21897/jfbz8t94>



Temas Agrarios 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

Temas Agrarios. Julio-Diciembre 2024; Vol. 29. No. 2 pp. 188-190 | ISSNe 2389-9182 | <https://doi.org/10.21897/jfbz8t94>

INTRODUCCIÓN

Los bananos son el primer producto globalizado del mundo moderno y mantienen una estabilidad como una de las frutas más exportadas, consumidas y uno de los principales productos que conforman el movimiento diario en el mercado internacional (Martínez-Solórzano & Rey-Brina, 2021; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2023). Son considerados como cultivos estratégicos en la seguridad alimentaria de muchos países debido a sus cualidades alimenticias (Martínez-Solórzano *et al.*, 2019). En Urabá, el cultivo enfrenta una situación difícil a causa de la disminución progresiva de la productividad, donde el rendimiento del cultivo se ve influenciado por factores físicos, químicos y biológicos (Bernal-Monterrosa y Cabrales-Herrera, 2022; Contreras-Santos *et al.*, 2020; Sepúlveda Vargas, 2020).

Para el óptimo desarrollo del cultivo se requiere suelos que presenten texturas francas, con alta fertilidad, permeables, profundos (1,2 – 1,5 m), bien drenados, ricos especialmente en materiales orgánicos, susceptibles de riego en verano, pero que no retengan agua en invierno (Martínez-Herrera *et al.* 2016). Variables como textura, compactación, pH y el drenaje son las propiedades del suelo que tienen mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta, esto hace necesario realizar la caracterización de los suelos para comprender mejor la relación suelo-planta-ambiente (Castañeda *et al.*, 2014). En la región del Urabá, la variabilidad y dinámicas de las propiedades de suelo son pobremente estudiadas al igual que los efectos que ocasionan sobre los componentes de rendimiento del cultivo (Sánchez Torres y Mira Castillo, 2013).

La implementación del monocultivo durante más de seis décadas en Urabá, como

consecuencia del uso intensivo de la tierra para actividades agrícolas, sin duda, han alterado las características originales de los suelos. Esto ha implicado una clara degradación ambiental por medio de la intensificación de los procesos erosivos lineales y laminares lo que conlleva al desprendimiento y pérdida de la capa superior del suelo que posee la mayor cantidad de materia orgánica. Esto afecta la actividad microbiana (Salcedo-Mayta *et al.*, 2022), pérdida de biodiversidad (Figueroa *et al.*, 2022), disminución de fertilidad y la capacidad de infiltración de agua en la tierra (Gusman *et al.*, 2023).

La erosión del suelo podría ocasionar una disminución de hasta 50 % el rendimiento, para mitigar este efecto, es necesario implementar agricultura de conservación para protección del suelo lo que mejora la calidad física, química y biológica (Salcedo-Mayta *et al.*, 2022). En este sentido, debido a las condiciones edafoclimáticas y la susceptibilidad a pérdida de suelos por escorrentía en la zona de Urabá, es importante conocer el impacto que ha tenido el uso del monocultivo durante las décadas de producción. El objetivo de esta investigación fue identificar la variación de propiedades fisicoquímicas de suelos dedicados a producción de banano en dos décadas de uso en Urabá, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y época

Se realizó compilación de información en fincas productoras de banano distribuidas en los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó; en el departamento de Antioquia-Colombia. Se analizaron variables fisicoquímicas de bases de datos de 1999 para la respectiva comparación con los datos actuales con un periodo comprendido entre 2020-2022. Las metodologías usadas en ambos periodos corresponden a las establecidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], (2006).

La zonificación climática que caracteriza a la zona es de “Clima cálido húmedo”, esparcida en el centro de la región de Urabá, esta zona presenta las siguientes características agroclimáticas: 2660 mm anuales, temperatura promedio de 28 °C, altitud de 31 m.s.n.m. y una evapotranspiración de 1300 mm anuales en promedio (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2022).

VARIABLES ANALIZADAS

Las propiedades físicas se analizaron mediante la revisión de 294 calicatas con del año 1999 y 193 calicatas del periodo 2020-2022 para un total de 484 calicatas, seleccionadas en un punto representativo de la finca, se midió longitud del estrato superficial en centímetros (cm), densidad aparente (D_a) en g cm^{-3} (Ecuación 1) y porosidad total en porcentaje (%) (Ecuación 2).

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_{ss}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde D_a es densidad aparente, m_{ss} es masa del suelo seco a 105 °C durante 24 horas y v_{ss} el volumen del suelo seco.

Donde D_a es densidad aparente y D_r la densidad real del suelo.

$$\text{Porosidad total} = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) * 100\% \quad \text{Ecuación 2}$$

En propiedades químicas fueron compilados 299 análisis de suelos del año 1999 y 1150 del periodo 2020-2022, para un total de 1449 análisis de suelos, para la determinación se usaron los métodos analíticos del IGAC (2006): para pH se utilizó potenciometría relación suelo-agua de 1:1, materia orgánica (M.O.) se hizo por el método Walkley-Black, el P mediante Bray II y bases (calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)) mediante extracción con acetato de NH_4 [1M] y pH 7.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un diseño experimental anidado, los análisis estadísticos se ejecutaron mediante el

software R4.2.1 (R Core Team, 2022). Para esto se verificó el principio de normalidad mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov, dado que no se presentó normalidad en ninguno de los parámetros, se evaluó la homocedasticidad con un test de Levene y se ejecutaron análisis de varianza mediante un test de Kruskal-Wallis y Yuen en caso de datos homogéneos y heterogéneos respectivamente, los análisis de post-hoc se ejecutaron mediante un test de diferencia menos significativa de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95%, para esto se implementaron las librerías *agricolae*, *nortest*, *WRS82*, *ggplot2*, *car*, *patchwork* (de Mendiburu, 2021; Fox y Weisberg, 2019; Gross y Ligges, 2015; Lin Pedersen, 2022; Mair y Wilcox, 2020; Wickham, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espesor del primer horizonte presentó diferencias estadísticas para el año de evaluación (Kruskal-Wallis; $X^2=20,842$; 1; $p\text{-value}=4,988e^{-6}$; Figura 1.A), donde se visualiza una disminución del espesor del primer horizonte, el cual varió de 15,91 cm \pm 9,39 cm en el año 1999 a 10,39 cm \pm 8,81 cm en el periodo actual. En el análisis de la porosidad total se encontraron diferencias mediante un análisis t de Yuen ($t(141,47)=7,1659$; $p\text{-value}=0$; Figura 1.B), en las dos décadas de uso se observa una disminución del espacio poroso total en los suelos de Urabá, visualizada de un cambio de 51,76% \pm 5,46% en 1999 a 47,82 % \pm 6,12 % en el 2022. Finalmente, en el caso de la densidad aparente se observa un aumento significativo de esta variable para el 2022 evaluado mediante un análisis t de Yuen ($t(141,94)=11,7996$; $p\text{-value}=0$; Figura 1C), se identificó que para 1999 el valor medio era de 1,21 $\text{g cm}^{-3} \pm 0,15 \text{ g cm}^{-3}$, mientras que para el 2022 el valor medio fue de 1,38 $\text{g cm}^{-3} \pm 0,16 \text{ g cm}^{-3}$.

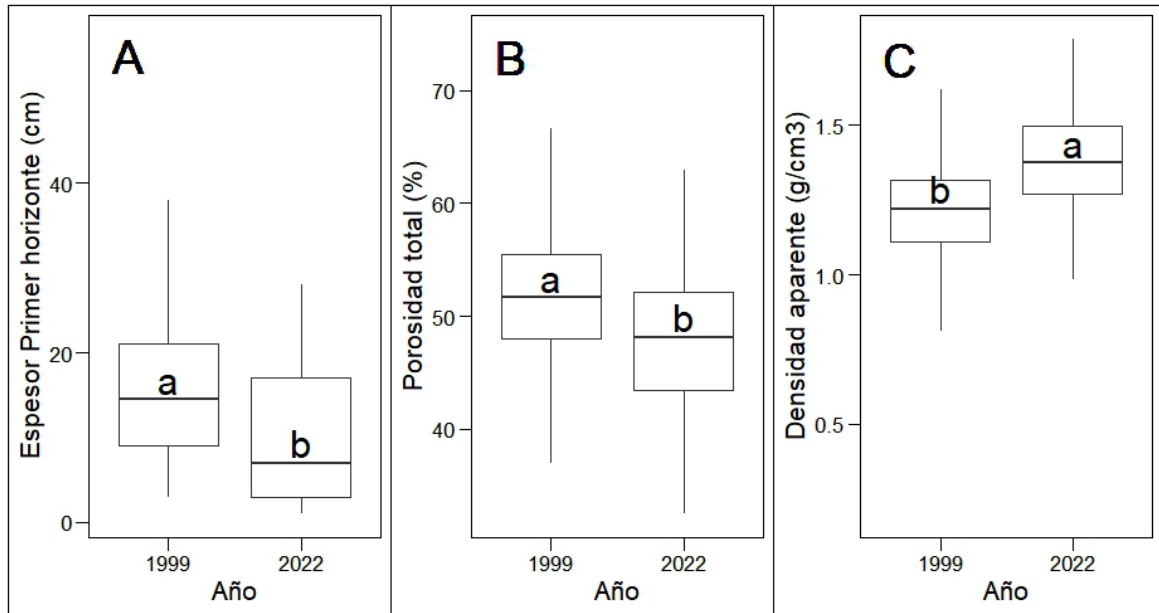


Figura 1. Variación de A) Longitud del espesor en el primer horizonte de suelo (cm), B) Porosidad (%) y C) Densidad aparente (g cm³), en dos décadas de uso del suelo en cultivo de banano en Urabá, Antioquia, Colombia. 1999 - 2022. Letras diferentes denotan diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$).

Durante el análisis químico se encontró una disminución estadísticamente significativa del contenido de Ca ($t(211,89) = 10,9836$; $p\text{-value}=0$; Figura 2.A), arrojó un valor medio de $14,48 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 3,80 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el año 1999 y $12,00 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 4,04 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el 2022. Este comportamiento se presenta de igual forma en el caso del contenido de Mg ($t(203,67) = 6,804$; $p\text{-value}=0$; Figura 2.B) donde los valores medios encontrados fueron de $6,20 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 2,77 \text{ cmol kg}^{-1}$ y $4,85 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 2,30 \text{ cmol kg}^{-1}$ para los años 1999 y 2022, respectivamente. El contenido de K presentó diferencias estadísticas durante las evaluaciones en las dos temporalidades ($t(275,78) = 9,9989$; $p\text{-value}=0$, Figura 2.C), en donde se observa un aumento del contenido de K en el suelo de $0,91 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 1,17 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el año 1999 a $0,93 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 0,54 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el año 2022. Los valores de CICE disminuyeron significativamente en el tiempo ($t(162,33) = 9,6128$; $p\text{-value}=0$; Figura 2.D) con valores medios de $22,40 \text{ cmol}$

$\text{kg}^{-1} \pm 5,57 \text{ cmol kg}^{-1}$ durante las evaluaciones en 1999 y $18,61 \text{ cmol kg}^{-1} \pm 5,52 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el 2022.

Los valores de pH para la zona de Urabá presentaron diferencias estadísticas ($t(141,47) = 7,1659$; $p\text{-value}=0$; Figura 3.A), evidenciado en la variación de $5,82 \pm 0,86$ en el año 1999 a $5,21 \pm 0,54$ en el año 2022. Por otro lado, el contenido de M.O presentó la misma tendencia de disminución durante las evaluaciones ($t(200,12) = 3,2155$; $p\text{-value}=0,00152$; Figura 3.B) donde en el año 1999 el valor medio era de $2,12 \% \pm 1,15 \%$ y pasó a $1,70 \% \pm 0,45 \%$ en el año 2022. Finalmente, el contenido de P en el suelo aumentó de una forma representativa para la segunda temporalidad (Kruskal-Wallis; $X^2=34,208$; 1 ; $p\text{-value}=4,953e^{-9}$; Figura 3.C), esto se visualiza mediante el cambio de valores medios que era de $21,22 \text{ ppm} \pm 27,74 \text{ ppm}$ y $26,60 \text{ ppm} \pm 18,70 \text{ ppm}$ durante el año 1999 y 2022, respectivamente.

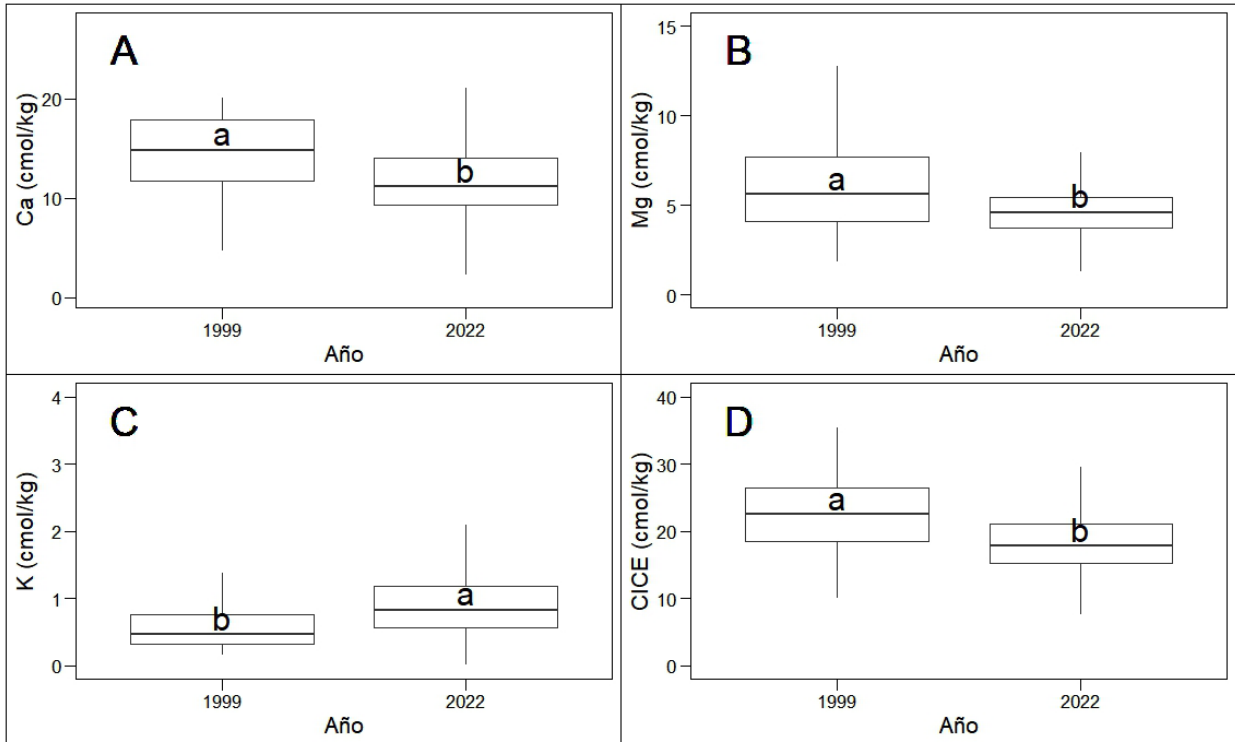


Figura 2. Variación del A) calcio (Ca, cmol kg⁻¹), B) magnesio (Mg, cmol kg⁻¹), C) potasio (K, cmol kg⁻¹) y D) capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE, cmol kg⁻¹) en dos décadas de uso del suelo en cultivo de banano en Urabá, Antioquia, Colombia. 1999 – 2022. Letras diferentes denotan diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$).

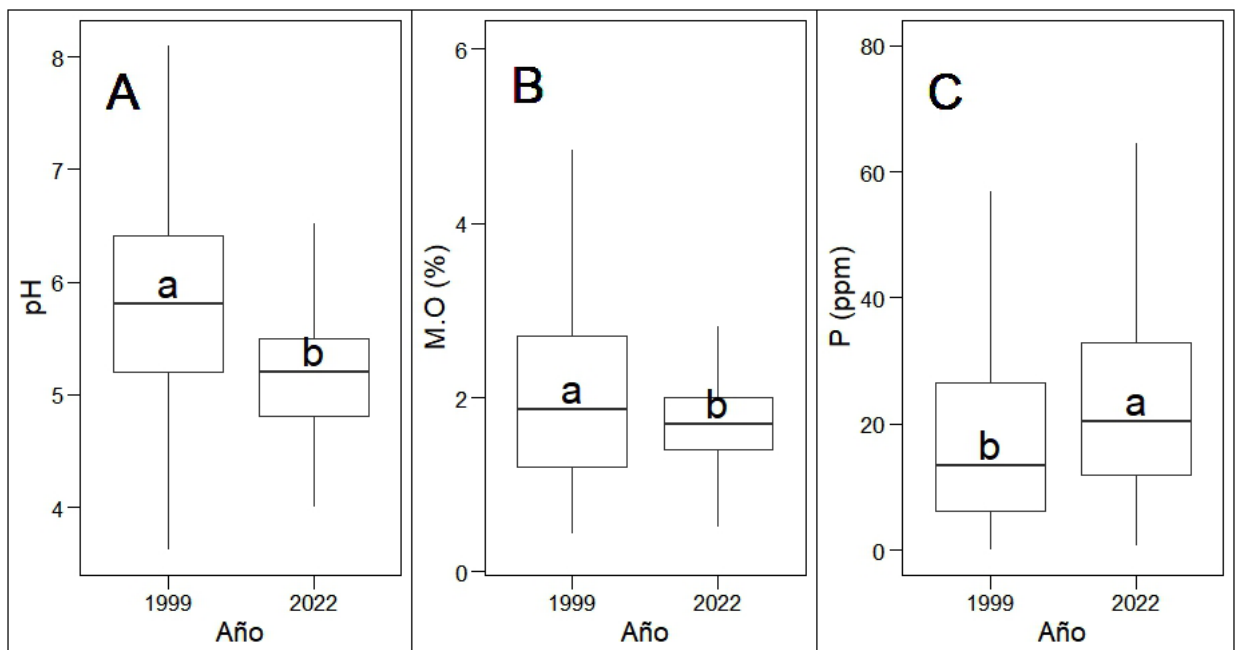


Figura 3. Variación del A) pH, B) materia orgánica (M. O., %) y C) fósforo (P, ppm) en dos décadas de uso del suelo en cultivo de banano en Urabá, Antioquia, Colombia. 1999 - 2022. Letras diferentes denotan diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$).

El espesor del primer horizonte del suelo se ha usado como indicador de erosión por procesos naturales y antropogénicos como la agricultura, este se mide con la comparación del espesor en el tiempo. Dado a que generalmente este primer horizonte presenta mayores contenidos de M.O, la disminución del espesor del horizonte se refleja también en la pérdida del contenido de M.O del suelo, lo cual se visualiza en los resultados con la disminución de ambos parámetros (Figura 1.A y Figura 3.B), esto puede traducirse en una pérdida de productividad en muchos cultivos (Delgado *et al.*, 2024; Kopittke *et al.*, 2019; López-Vicente *et al.*, 2020; Thaler *et al.*, 2021; United States Department of Agriculture [USDA], 2018).

La porosidad total se ve disminuida en el paso del tiempo (Figura 1.B), esto se traduce a un aumento de la compactación y se visualiza con el aumento de la densidad aparente, esto se da debido a que las labores de manejo del cultivo exigen un alto tránsito de personal y de maquinaria que ocasionan un aumento de presión en el suelo, lo que genera a su vez la compresión de partículas de suelo y disminuye la porosidad del mismo, esta situación lleva a alteración de otras propiedades como la difusión de oxígeno, infiltración y drenaje del agua, lo que causa daños en las raíces del cultivo y generan afectaciones en el crecimiento de las plantas (Barboza da Silva *et al.*, 2022; Li, Li, Cui *et al.*, 2020); se acentúa cuando el suelo presenta concentraciones de humedad (Gonzales *et al.*, 2019), lo que es común en esta zona por las condiciones climáticas que a su vez, influye en la movilidad iluvial de arcillas generando taponamiento en los poros del suelo (Américo *et al.*, 2024; Delgado *et al.*, 2023)

En un estudio similar, Barboza da Silva *et al.* (2022), al evaluar las diferencias de propiedades del suelo en un cultivo de banano de 30 años y un bosque no disturbado

encuentran que la porosidad total es significativa menor en los cultivos de banano en comparación con un bosque en el que no se dan actividades de manejo. En el caso de la densidad aparente encontraron valores significativamente mayores en el cultivo de banano en comparación con el bosque en los estratos superficiales. Esto lo explican desde el tránsito de personal y maquinaria en las labores de manejo del cultivo de banano.

Se ha demostrado que la impedancia mecánica (es decir, el aumento de la densidad aparente del suelo) en conjunto con otras variables como fecha de siembra, tipo de suelos y condiciones climáticas, reduce la elongación de las raíces y por ende tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de la planta y los hijos de sucesión del banano. Los problemas de compactación son comunes a lo largo de los años y se requiere de adecuadas prácticas de labranza para mitigar el aumento de la densidad aparente, lo que favorece otros parámetros como la infiltración del suelo, conductividad hidráulica, desarrollo radicular y porosidad (Keller *et al.*, 2019; Kool *et al.*, 2019). De este modo, es posible mejorar el ambiente edáfico y con esto, el desarrollo de raíces de banano, la promoción de crecimiento vegetal y la producción (Martínez-Solórzano y Rey-Brina, 2021).

La acidificación del suelo es progresiva debido a condiciones climáticas y antrópicas, el incremento de las actividades agrícolas en donde se da un aumento de procesos de fertilización nitrogenada, mayor extracción de nutrientes por parte de las plantas, lavado y lixiviación de bases como el Ca, Mg y K (Alvarez *et al.*, 2020; Arroyo *et al.*, 2022). En el estudio se observa la disminución del pH, contenido de Ca y Mg a lo largo de los años (Figura 3.A, Figura 2.A.B). La acidez del suelo lleva a limitaciones en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y aumento de concentraciones de los contenidos de Al^{3+} y Fe^{3+} , elementos que

pueden ocasionar fitotoxicidad en los cultivos (Muzira *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2022).

El Ca tiene un papel estructural en las plantas de banano, este está asociado a la extensión y división celular, por lo que una disminución del contenido de Ca en el suelo lleva a las plantas de banano a presentar deficiencias de este elemento, ocasiona pérdida de color en las hojas, posteriormente una clorosis, deformación y reducción del largo de las mismas. Adicionalmente, se presentan raíces más cortas y disminución en la emisión foliar (Lahav y Israeli, 2019; Osorio, 2018; Sánchez y Mira, 2013; Soto, 2015). Con base en la clasificación dada por Osorio, (2018) el contenido de Ca pasa de Alto a suficiente del 1999 a 2022, respectivamente.

En el caso del Mg, este elemento tiene un papel importante en el cultivo de banano debido a que es el elemento central de la molécula de la clorofila y funciona en la activación de enzimas para los procesos de fotosíntesis y respiración de la planta, por lo que su deficiencia se visualiza mediante manchas amarillas en las plantas como una clorosis intervenal. Esta deficiencia afecta el crecimiento, ocasiona un mal llenado de la fruta y disminuye la producción (Lahav & Israeli, 2019; Sánchez & Mira, 2013; Soto, 2015). Si bien los contenidos de Mg se consideran suficientes en ambas temporalidades (Osorio, 2018), es importante tener en cuenta el efecto de las deficiencias de este elemento en los suelos bananeros.

La tendencia en los suelos tropicales es hacia la acidificación (Hernández-Jiménez *et al.*, 2020). Al realizar la evaluación del estado de la calidad del suelo después de 13 años de producción agrícola en Uruguay, Beretta-Blanco *et al.*, (2019), identificaron la tendencia a la disminución del pH a lo largo de los años y lo asocian al aumento del área dedicada a actividades agrícolas y al incremento de

fertilizantes nitrogenados, como consecuencia se da la disminución de la calidad del suelo en donde se dan afectaciones radiculares, disminución del microbioma del suelo, destrucción del balance de carbono, pérdida de productividad en los cultivos y afectaciones en la calidad de la fruta en el caso del cultivo de banano (Li, Li, Yu *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019).

El pH del suelo esta correlacionado de forma positiva con los cationes del suelo y la CICE, cuando se da una disminución de este parámetro, los cationes y la CICE se reducen (Shan *et al.*, 2020). Este es el comportamiento que se visualiza durante las evaluaciones (Figura 2.D), la disminución de la CICE en el suelo tiene un impacto directo sobre la fertilidad, ya que esto reduce la capacidad del suelo a retener los cationes, por lo que las bases intercambiables son más susceptibles a perderse por lixiviación (Sadeghian Khalajabadi, 2016). En banano, particularmente se ha demostrado que el pH con rangos entre 5.5 y 6.5, resultan ser beneficiosos para la producción del cultivo, lo que se debe posiblemente a la mayor oferta nutricional en el suelo (Delgado Bejarano *et al.*, 2023).

Los niveles actuales superiores de K y P con respecto a los de 1999, pueden ser explicados por la fertilidad natural de los suelos de Urabá y el uso intensivo de fertilizantes químicos (González Gordon *et al.*, 2018). En Urabá se utiliza la práctica continua de fertilización química a base de nitrógeno, fosforo y potasio (Mira Castillo y Sánchez Torres, 2013). Se introducen unos niveles de fertilización, en ocasiones altos, que representan incrementos en costos y que no siempre garantizan una buena nutrición de la planta; lo que genera en ocasiones impactos negativos sobre el suelo, como deterioro de la estructura y pérdida de su dinámica biológica, considerándose como un aspecto que se cuestiona en la concepción

del manejo económico y ambiental de las agroindustrias (Guo *et al.*, 2022).

En el caso particular del P, normalmente se presentan contenidos insuficientes en zonas tropicales, lo cual, tiene una estrecha relación con la concentración de arcilla en el suelo, ya que ésta, es capaz de adsorber o fijar grandes cantidades de este elemento, aspectos que favorecen su acumulación (Núñez-Cano *et al.* 2018; Rodríguez Delgado *et al.*, 2022). Este nutriente tiene una baja movilidad en el suelo y es absorbido entre un 90-92 % por difusión; es muy susceptible a formar compuestos insolubles con el aluminio (Al), el hierro (Fe) en pH ácido y con el calcio (Ca), en pH alcalinos (Bernal-Monterrosa y Cabrales-Herrera, 2022). En este sentido, aunque se presenten contenidos adecuados de P en el suelo, pueden o no estar disponibles debido a la susceptibilidad para formar los compuestos insolubles bajo las condiciones de pH de la zona estudiada (Tinoco-Varela y Bayuelo-Jiménez, 2021).

CONCLUSIONES

La variación de propiedades fisicoquímicas del suelo durante los 20 años de medición, mostraron pérdida en la calidad del suelo en términos de fertilidad natural, disminución de condiciones físicas para el aprovechamiento del agua del suelo. Lo que se podría asociar con la permanencia del monocultivo bajo el sistema de producción, algunas prácticas antrópicas y la condición puntual de precipitación en la zona de estudio.

Se debe dar un enfoque a prácticas de conservación de suelos con una tendencia a sostenibilidad para evitar continuidad de pérdidas progresivas de la capa superficial, esto, en conjunto con aporte de M.O. y uso de coberturas vegetales.

REFERENCIAS

- Alvarez, R., Gimenez, A., Pagnanini, F., Recondo, V., Gangi, D., Caffaro, M., De Paepe, J. L. y Berhongaray, G. 2020.** Soil acidity in the Argentine Pampas: Effects of land use and management. *Soil and Tillage Research*, 196, Article 104434. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104434>
- Américo, J., Amín, M., Becerra, M., Chilano, Y., Marzari, R., Parra, B. y Bongiovanni, M. 2024.** Lamelas en haplustoles del centro oeste de Córdoba (Argentina): Morfología y efecto en la permeabilidad. *Ciencia del suelo*, 42(1), 80-90. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672024000100080&lng=es&nrm=iso>. Epub 20-Sep-2024. ISSN 1850-2067.
- Arroyo, E. A., Sanzano, A., Rojas Quinteros, H. C. y Navarro Di Marco, J. P. 2022.** Estado de fertilidad de los suelos cañeros de Tucumán, Argentina: materia orgánica, nitrógeno y pH del suelo. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 99(1): 37–42.
- Barboza da Silva, R., Silva Rosa, J., Packer, A. P., Bolfarini Bento, C. y de Melo Silva, F. A. 2022.** A soil quality physical–chemical approach 30 years after land-use change from forest to banana plantation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7): 482. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10167-9>
- Beretta-Blanco, A., Pérez, O. y Carrasco-Letelier, L. 2019.** Soil quality decrease over 13 years of agricultural production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 114, 45–55 <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09990-3>

- Bernal-Monterrosa, M. Á. y Cabrales-Herrera, E. M. 2022.** Respuesta del banano clon Valery en alta densidad a la inoculación con micorrizas y fósforo en Apartadó - Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2): 1–9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1659>
- Castañeda, D., Jaramillo, D. y Cotes, J. 2014.** Selección de propiedades del suelo espacialmente relacionadas con producción en el cultivo de banano. *Ciencia Del Suelo*, 32(1): 73–83
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Cadena-Torres, J., Novoa-Yanez, R.-S. y Tamara-Morelos, R. 2020.** Una evaluación de las propiedades fisicoquímicas de suelo en sistema productivo de maíz - algodón y arroz en el Valle del Sinú en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2): 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1375>
- de Mendiburu, F. 2021.** agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package. <https://myaseen208.github.io/agricolae/https://cran.r-project.org/package=agricolae>
- Delgado Bejarano, L., Calle, D. A., Cardona, S. P., Castañeda Sánchez, D., Bernal, M. Á. y Zapata Henao, S. 2023.** Relationship between soil acidity and productivity of banana (*Musa* spp.) in Urabá, Colombia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 39(2): 228–238. <https://doi.org/10.29393/CHJAA39-20RBL560020>
- Delgado, B., Danilo, O., Pérez, J., Bernal, M., Zapata, H., Castañeda, D. y Mayerli V. 2024.** Evaluación de pérdida de suelos en plantaciones de banano (*Musa* AAA) en la zona de Urabá, Colombia. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 15. <https://doi.org/10.62498/ARTC.2415>
- Figueroa, V. M., Larreal Rios, M., Jaimes Cárdenas, E., Ulloa Morejón, J. y Dueñas Alvarado, D. 2022.** Suelos, vegetación. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5, 77–87.
- Fox, J. y Weisberg, S. 2019.** *An R Companion to Applied Regression*. Sage.
- González Gordon, R., Alvares Albanes, E. y Castañeda Sánchez, D. 2018.** Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño Resumen Introducción. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1): 41–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.730>
- González, O., Iglesias, C. y Herrera, M. 2009.** Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2):57-63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937011>
- Gross, J. y Ligges, U. 2015.** Nortest: Tests for normality. R package. <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf>
- Guo, Z., Li, W., Ul Islam, M., Wang, Y., Zhang, Z. y Peng, X. 2022.** Nitrogen fertilization degrades soil aggregation by increasing ammonium ions and decreasing biological binding agents on a Vertisol after 12 years. *Pedosphere*, 32(4): 629–636. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60091-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60091-7)
- Gusman, I., Pérez Guilarte, Y., Cidrás, D., Vila Vázquez, J. I. y Lois González, R. C. 2023.** América Latina ante los (nuevos) retos de la justicia social y ambiental. *Asociación Española de Geografía*. <https://doi.org/10.21138/al/2023.lc>

- Hernández-Jiménez, A., Llanes-Hernández, V., Terry-Alfonso, E. y Carnero-Lazo, G. 2020.** Ph changes in brown soils of Cuba when eroded. *Cultivos Tropicales*, 41(2): e04.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. 2022.** Tiempo y clima. www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2006.** Métodos analíticos del laboratorio de suelos (6ª ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. y Or, D. 2019.** Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194, Article 104293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
- Kool, D., Tong, B., Tian, Z., Heitman, J. L., Sauer, T. J. y Horton, R. 2019.** Soil water retention and hydraulic conductivity dynamics following tillage. *Soil and Tillage Research*, 193, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.020>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A. y Lombi, E. 2019.** Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, Article 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lahav, E. y Israeli, Y. 2019.** Mineral deficiencies of banana. In D. Jones (Ed.), *Handbook of diseases of banana*, abac and enset. CABI.
- Li, Q., Li, A., Yu, X., Dai, T., Peng, Y., Yuan, D., Zhao, B., Tao, Q., Wang, C., Li, B., Gao, X., Li, Y., Wu, D. y Xu, Q. 2020.** Soil acidification of the soil profile across Chengdu Plain of China from the 1980s to 2010s. *Science of the Total Environment*, 698, Article 134320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134320>
- Li, Y., Li, Z., Cui, S. y Zhang, Q. 2020.** Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, 361, Article 114099. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114099>
- Lin Pedersen, T. 2022.** patchwork: The composer of plots (1.12). R package. <https://patchwork.data-imaginist.com>
- López-Vicente, M., Calvo-Seas, E., Álvarez, S. y Cerdà, A. 2020.** Effectiveness of cover crops to reduce loss of soil organic matter in a rainfed vineyard. *Land*, 9(7): 230. <https://doi.org/10.3390/land9070230>
- Mair, P. y Wilcox, R. 2020.** Robust statistical methods in R using the WRS2 package. *Behavior Research Methods*, 52, 464–488.
- Martínez-Herrera, J., Ramírez Guillermo, M. y Cámara-Córdova, J. 2016.** Innovación tecnológica para la seguridad alimentaria (1ª ed.) Universidad Autónoma de Tabasco, & Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Martínez-Solórzano, G. E. y Rey-Brina, J. C. 2021.** Bananas (*Musa AAA*): Importance, production and trade in Covid-19 times. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 1034–1046. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.43610>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E. y Manzanilla, E. E. 2019.** Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. In *Agronomía Mesoamericana* 31(1): 259–276. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37925>

- Muzira, R., Wakulira, M., Lagu, C. y Natuha, S. 2019.** Gaining insights in soil fertility on lixic ferralsols: Linking banana productivity to soil nutrient dynamics in smallholder farming systems in South-Western Uganda. *Open Access Library Journal*, 6, Article e5841. <https://doi.org/10.4236/oalib.1105841>
- Nguyen, B. T., Dinh, G. D., Nguyen, T. X., Nguyen, D. T. P., Vu, T. N., Tran, H. T. T., Van Thai, N., Vu, H. y Do, D. D. 2022.** The Potential of biochar to ameliorate the major constraints of acidic and salt-affected soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2): 1340–1350. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00736-1>
- Núñez-Cano, J. I., Villarreal-Núñez, J. E., Gordón-Mendoza, R., Jorge, Franco-Barrera, E., Jaén-Villarreal, E. y Sáez-Cigarruista, A. E. 2018.** Retención de fósforo en suelos dedicados al cultivo de maíz en la región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, (29): 65–78. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/153>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2023.** Banano. Análisis del mercado resultados preliminares 2022. <https://www.fao.org/3/cc3421es/cc3421es.pdf>
- Osorio, W. 2018.** Manejo de nutrientes en suelos del tropico (3ª ed.). L. Vieco S.A.S.
- R Core Team. 2022.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. y García Batista, R. 2022.** Comportamiento de algunas propiedades químicas de un suelo del orden Inceptisol en los cultivos de maíz y cacao. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2): 44–50. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index/aes>
- Sadeghian Khalajabadi, S. 2016.** La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Centro nacional de Investigación en Café. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>
- Salcedo-Mayta, S., Canihua-Rojas, J., Samaniego-Vivanco, T., Cruz-Luis, J., Pérez-Porras, W. y Cosme-De La Cruz, R. 2022.** Cultivos de cobertura asociados a quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el Altiplano peruano: Reducción de la erosión, mejora de la salud del suelo y rendimiento agrícola. *Scientia Agropecuaria*, 13(3): 265–274. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.024>
- Sánchez Torres, J. y Mira Castillo, J. 2013.** Principios para la nutrición del cultivo de banano (1ª ed.). Asociación de bananeros de Colombia.
- Sepúlveda Vargas, R. D. 2020.** Economía y Agroecología. Construyendo alternativas al desarrollo rural. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-910-9>
- Shan, Z., Yin, Z., Yang, H., Zuo, C. y Zhu, T. 2020.** Long-term cultivation of fruit plantations decreases mineralization and nitrification rates in calcareous soil in the karst region in southwestern China. *Forests*, 11(12), Article 1282. <https://doi.org/10.3390/f11121282>
- Soto, M. 2015.** Bananos 2: Tecnologías de producción (1ª ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Thaler, E. A., Larsen, I. J. y Yu, Q. 2021.** The extent of soil loss across the US Corn Belt. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(8), Article e1922375118. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922375118>

- Tinoco-Varela, D. y Bayuelo-Jiménez, J. S. 2021.** Formas y distribución de fósforo en un Andisol con sistemas contrastantes de uso del suelo del centro de México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, Artículo e881. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.881>
- United States Department of Agriculture. 2018.** Soil survey manual (USDA Handbook 18). Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual>
- Wickham, H. 2016.** ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- Zhang, J., Bei, S., Li, B., Zhang, J., Christie, P. y Li, X. 2019.** Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 136: 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.017>