





Propiedades fisicoquímicas de suelos en características morfológicas del banano (*Musa* spp.) en cuatro fincas de Urabá-Antioquia

Physicochemical properties of soils in morphological characteristics of banana (*Musa* spp.) in four farms in Urabá-Antioquia

Ever José Causil-Pastrana¹ ; Miguel Ángel Bernal-Monterrosa^{2*} 
Laura Delgado-Bejarano³ ; José Enrique Paternina Ramos¹ 

Recibido para publicación: 09 de octubre de 2024 - Aceptado para publicación: 30 de octubre de 2024

RESUMEN

La caracterización fisicoquímica de suelos en plantaciones bananeras del Urabá se consolida en una herramienta importante, que permite predecir algunas variables fenotípicas de respuesta en la planta asociadas con la producción, para su mejor manejo. El objetivo de esta investigación fue relacionar las variables fisicoquímicas de suelos con las características morfológicas del racimo asociadas con la producción. Para ello, se realizó un muestreo de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y un seguimiento al cultivo establecido durante un periodo de 8 semanas comprendido en los meses de enero y febrero del 2022, en cuatro fincas ubicadas en los municipios de Turbo y Apartadó. Se usó el software R 4.1.2 en donde se obtuvo un análisis de componentes principales y determinación de diferencias estadísticas ($p\text{-value} < 0.05$) mediante análisis post-hoc de Tukey, Duncan y Kruskal-Wallis. Las propiedades físicas no ocasionaron diferencias en las variables de respuesta de banano. Se identificaron diferencias en longitud del dedo basal a 2 semanas ($5.55'' \pm 0.57''$), longitud del dedo basal a cosecha ($10.16'' \pm 0.54''$), longitud dedo apical a 2 semanas ($4.70'' \pm 0.38''$), las variables boro, potasio, aluminio y azufre presentaron una relación con la longitud de los dedos del racimo, mientras que el fósforo con el peso de racimo ($27.60'' \pm 1.45$), concluyendo que los cambios fenotípicos del cultivo están asociados principalmente con la fertilidad química del suelo.

Palabras clave: Musaceae; Propiedades del Suelo; Producción De Banano.

¹Departamento técnico Grupo Agrosiete, Apartadó – Colombia.

²Departamento de servicios técnicos Grupo Agrovid, Santa Marta – Colombia.

³Candidato a M. Sc. Ingeniería agrícola - agricultura de precisión, UNICAMP-Brasil

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

ABSTRACT

The physicochemical characterization of soils in banana plantations in Urabá is an important tool to predict some phenotypic response variables in the plant associated with production, for a better management. The objective of this research was to analyze the co-relation of physicochemical variables of soils with morphological characteristics of the bunch associated with production. Sampling of the physicochemical properties of the soils and monitoring of the crop was carried out for an 8-week period from January to February 2022, in four farms located in the municipalities of Turbo and Apartadó. The R 4.1.2 software was used and a principal components analysis and determination of statistical differences ($p\text{-value} < 0.05$) was obtained through a Tukey, Duncan and Kruskal-Wallis post-hoc analysis. The physical properties had no effect on the variables. Differences were identified in basal finger length at 2 weeks ($5.55'' \pm 0.57''$), basal finger length at harvest ($10.16'' \pm 0.54''$), apical finger length at 2 weeks ($4.70'' \pm 0.38''$). Boron, potassium, aluminum and sulfur were related with the length of the bunch fingers, while phosphorus with bunch weight ($27.60'' \pm 1.45$). It was concluded that the phenotypic changes of the crop are mainly associated with soil chemical fertility.

Key words: Musaceae; Soil Properties; Banana Production.

Cómo citar

Causil-Pastrana, E. J., Bernal-Monterrosa, M. Á., Delgado-Bejarano, L. y Paternina Ramos, J. E. 2024. Propiedades fisicoquímicas de suelos en características morfológicas del banano (*Musa* spp.) en cuatro fincas de Urabá-Antioquia. *Temas Agrarios* 29(2):200–210. <https://doi.org/10.21897/r19emb78>



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. 200-210 | ISSN 2389-9182 | <https://doi.org/10.21897/r19emb78>

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente fundamental en los sistemas de producción para la nutrición y el soporte de las plantas, convirtiéndose en el elemento esencial para la producción agropecuaria. La pérdida en la calidad del suelo puede conducir a una degradación permanente de la productividad de la tierra, asociado a cambios en el uso y las prácticas de manejo de suelo, que afectan sus propiedades fisicoquímicas (Contreras-Santos *et al.*, 2020).

Se han llevado a cabo diferentes estudios en musáceas (bananos y plátanos) para identificar aquellas propiedades que determinan la salud y calidad del suelo (González-García *et al.*, 2021). El clima y el suelo determinan el éxito de la producción en las fincas bananeras. La textura, la compactación y el drenaje son las propiedades físicas del suelo que tienen mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta de banano, ya que pueden limitar la profundidad efectiva, el suministro de agua y la aireación en la rizosfera. Las características de los suelos bajo alta saturación con agua, permanente o temporal limitan el crecimiento y causan necrosis y pudrición de la raíz (Castañeda *et al.*, 2014).

Para el desarrollo de raíces y producción, también se ha demostrado que la impedancia mecánica (es decir, el aumento de la densidad aparente del suelo) reduce la elongación de las raíces. Además, se reporta que la fecha de siembra y las condiciones climáticas tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de la planta, desarrollo - distribución del sistema radical y retoños para el banano (Martínez-Herrera *et al.*, 2016). Indicando que en el ambiente edáfico, hay múltiples interacciones de factores bióticos y abióticos que, adicionalmente, influyen en su estado nutricional - disponibilidad de nutrientes, lo que es fundamental para completar el ciclo biológico de las plantas (Saavedra *et al.*, 2019).

Es necesario asegurar la suficiencia nutricional al momento de establecer las plantaciones, ya que un inadecuado manejo de la fertilidad puede generar pérdidas de rendimientos. A pesar de la importancia del estado de fertilidad del suelo, actualmente, muchos productores realizan la aplicación de fertilizantes sin tener en cuenta el análisis de suelos, lo cual, genera pérdidas económicas y efectos negativos en el ambiente, por el uso innecesario o excesivo de éstos (García Guzmán *et al.*, 2019).

Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo del banano son aquellos que presentan texturas francas, debiendo ser, además, fértiles, permeables, profundos (1,2 - 1,5 m), bien drenados y ricos especialmente en materias nitrogenadas. El cultivo del banano prefiere, sin embargo, suelos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos, o los obtenidos por la roturación de los bosques, susceptibles de riego en verano, pero que no retengan agua en invierno (Martínez-Herrera *et al.*, 2016). En la región del Urabá, los suelos dedicados al cultivo del banano son explotados intensivamente y sus propiedades fisicoquímicas son alteradas influyendo posiblemente en la morfología del banano. Las dinámicas de las propiedades de suelo son pobremente entendidas, al igual que los efectos que ocasionan sobre los componentes de rendimiento del cultivo (Sánchez y Mira, 2013). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue relacionar las variables fisicoquímicas de suelos con las características morfológicas del racimo asociadas a la producción del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y época. La investigación se desarrolló en un periodo de 8 semanas comprendido entre los meses de enero y febrero del 2022 en el departamento de Antioquia, en los municipios de Turbo y Apartadó, en cuatro fincas del grupo Agrosiete: finca Altavista con una densidad de 1770 plantas

ha⁻¹ con ubicación geográfica 7°50'06,80" N 76°39'48,03" O; finca Altamira con una densidad de 1645 plantas ha⁻¹ con ubicación geográfica 7°51'49,5" N 76°39'15,84" O; finca Altamar con una densidad de 1925 plantas ha⁻¹ con ubicación geográfica 7°53'50,06" N 76°43'01,04" O y la finca Altagracia con una densidad de 1527 plantas ha⁻¹ con ubicación geográfica 7°53'12,19" N 76°36'24,19" O. El manejo agronómico es homogéneo y dependió de las políticas de la empresa. La zonificación climática que caracteriza a la zona es de "clima cálido húmedo", esparcida en el centro de la región de Urabá (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2007). Esta zona presenta las siguientes características agroclimáticas: 2660 mm anuales, temperatura promedio de 26,6 °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).

Las mediciones fisicoquímicas de suelo se realizaron en plantación establecida, con clon Valery y el manejo agronómico se enmarcó en las políticas del mismo grupo.

Cada semana se marcaron 15 plantas por finca distribuidas al azar en el lote seleccionado, para un total de 480 unidades. Las plantas se seleccionaron con racimos de 2 semanas después de emergida la bacota, se le hizo una medición inicial en campo y una final en el patio de fruta (recepción en empacadora) al momento de cosecha (9 o 10 semanas después de marcado). Tanto variables productivas como edáficas fueron tomadas en el periodo de tiempo mencionado anteriormente.

Variables físicas del suelo. Se hizo mediante revisión de una calicata seleccionada en un punto representativo de cada finca, se tuvo en cuenta la profundidad efectiva del desarrollo radicular expresada en cm, se midió la resistencia a la penetración con penetrómetro

de bolsillo expresada en kg cm², densidad aparente mediante el método del cilindro de volumen conocido (Da) expresada en g cm³; posteriormente se obtuvo la humedad gravimétrica (Hgrav) y volumétrica (Hvol) ambas expresadas en porcentaje (Duque Escobar y Escobar, 2016; Flores Delgadillo y Alcalá Martínez, 2010).

La muestra tomada en campo con el cilindro fue sellada herméticamente, secada en estufa (110° C) durante 24 horas donde se determinó el contenido de humedad. La Da se calculó con la ecuación 1.

$$Da = \frac{P_{ss}}{Vt} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde Pss = peso del suelo seco y Vt = volumen total de la muestra; el Vt se halla con la ecuación 2.

$$Vt = \frac{D^2\pi}{4} h \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde D= diámetro del cilindro y h la altura.

La Hgrav se halló con la ecuación 3.

$$Hgrav = \left(\frac{Msh}{Mss} - 1 \right) 100\% \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde Msh= masa del suelo húmedo y Mss= masa del suelo seco.

La Hvol se calculó usando la ecuación 4, descrita por (Martínez, 2010).

$$Hvol = Hgrav \left(\frac{Da}{Dw} \right) \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde Dw= densidad del agua; (1000 kg m⁻³) a presión y temperatura estándar.

Variables químicas del suelo. Se tomaron 8 submuestras distribuidas en zig-zag en el lote evaluado, luego, se homogenizaron en una muestra para posteriormente ser enviadas y analizadas en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba. El análisis se hizo con base en los métodos analíticos (IGAC, 2006); para pH: Potenciometría

relación suelo: agua 1:1; materia orgánica (MO): Walkley y Black; P: Bray II; azufre (S): monofosfato de calcio; bases (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na)): extracción con acetato de NH_4 1M y pH 7; Al: cloruro de potasio (KCl); microelementos (cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B)): doble ácido.

Componentes del cultivo. Se evaluaron las siguientes características morfológicas. Circunferencia del pseudotallo (CIRC) en cm, número de hojas a parición (NHPA) en unidades, hojas a cosecha (HCOS) en unidades, edad a cosecha (ECOS) en semanas, número de manos (NMAN) en unidades, número de dedos (NDED) en unidades, longitud del dedo basal a 2 semanas (LOBC) en pulgadas, longitud del dedo basal a cosecha (LOBB) en pulgadas, longitud dedo apical a 2 semanas (LOAC) en pulgadas, longitud dedo apical a cosecha (LOAB) en pulgadas, grado basal cosecha (GRAB) en líneas, grado apical cosecha (GRAA) en líneas, peso bruto racimo (PBR) en kg (Bernal-Monterrosa *et al.*, 2023).

Análisis estadístico. Mediante un análisis de componentes principales (PCA) se evaluó la relación de las propiedades fisicoquímicas con los componentes del cultivo, con el fin de entender la tendencia que presentan los datos y simplificar el análisis (Gewers *et al.*, 2021). Posteriormente se realizó el análisis estadístico mediante el software R 4.1.2 en donde se verificó la normalidad mediante una prueba de Kolmogorov- Smirnov. En el caso de la normalidad mediante un test de Bartlett se evaluó la homocedasticidad, para el caso no paramétrico se usó un test de Levene. Finalmente, se determinaron diferencias estadísticas (p -value<0.05) y diferencia de medias entre grupos mediante análisis post-hoc de Tukey, Duncan y Kruskal-Wallis (De Mendiburu, 2021; Fox y Weisberg, 2019; Gross y Ligges, 2015; R Core Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos estudiados permiten caracterizar las condiciones fisicoquímicas más representativas de las fincas bananeras evaluadas y sus efectos en algunas

características morfológicas y de producción del cultivo.

En las propiedades físicas relacionadas con las variables morfológicas del banano, no se encontraron relaciones estadísticas significativas (Figura 1A), posiblemente debido al tipo y periodo de muestreo, como al tipo de manejo el cual podría ser homogéneo en los lotes, lo cual no coincide con lo mencionado por Ciarlo *et al.*, (2020), acerca de la alta variabilidad espacio-temporal de las propiedades físicas del suelo en las fincas.

En las variables químicas, los componentes morfológicos del fruto como PBR, LOBB y GRAA presentan una tendencia a relacionarse con la cantidad de B, P y K del suelo. Adicionalmente, se puede observar una relación entre el contenido de S en el suelo y la LOAC (Figura 1B).

En la Figura 2 se observa que existen diferencias estadísticas en la LOBB en función de la cantidad de B presente en el suelo ($F(2) = 3,756$, $p = 0,0252$).

Este micronutriente tiene un papel importante en el metabolismo de la planta, como en la formación y estabilización de la pared celular, además de que es vital para el crecimiento de la planta de banano y la consistencia del fruto, por lo que una deficiencia de este puede ocasionar deformaciones del racimo de banano (Sánchez y Mira, 2013; Soto, 2015; Mahendran *et al.*, 2022; Osorio, 2018). Se observa que los rangos de B encontrados durante el estudio se clasifican como bajos con base en el rango presentado por Osorio, (2018) en el que se menciona que un valor óptimo en suelos es entre 0,5 y 1 mg/kg, sin embargo, las mayores concentraciones de B en el suelo presentan mayores valores de LOBB con un valor medio de $10,16 \pm 0,54$ ". Raja *et al.*, (2022) encontraron en sus investigaciones que la aplicación de K_2SO_4 , MnSO_4 , CaCl_2 y ácido bórico presenta los largos de dedo de racimo mayores, efecto que no se visualizó en otros tratamientos sin la aplicación del ácido bórico.

De igual forma, en la evaluación de la LOBB se observaron diferencias significativas debido a

los contenidos de K presente en el suelo ($F(2) = 3,459$, $p = 0,0335$, Figura 3).

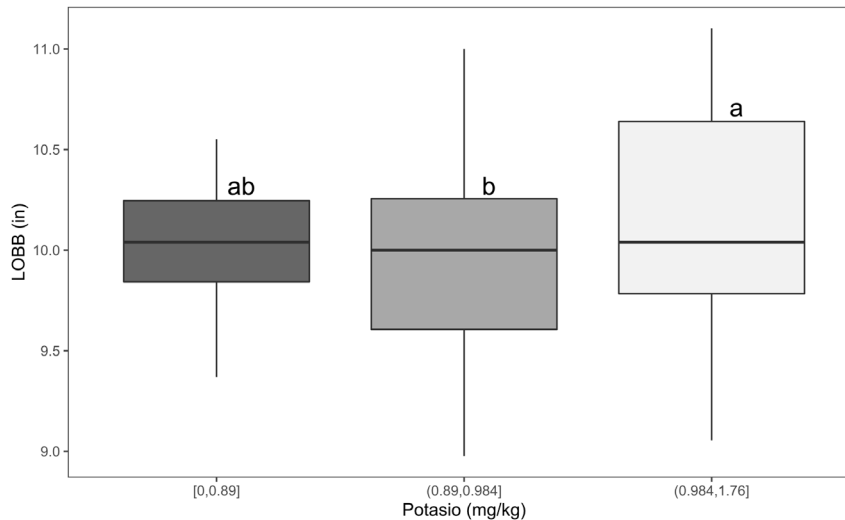


Figura 3. Distribución de la longitud del dedo basal a cosecha (LOBB), en pulgadas, en función del potasio presente en el suelo de cuatro fincas en Urabá-Antioquia, 2023. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente según prueba de Tukey test, p -value < 0,05.

El K es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, tiene un papel importante en procesos bioquímicos y fisiológicos, tales como la regulación de la apertura estomáica, lo que permite la captación del CO_2 requerido para la fotosíntesis y controlar la transpiración de las plantas (Osorio, 2018; Salem *et al.*, 2021). En el cultivo de banano la mayor acumulación de K se da entre la floración y la cosecha, debido a que el fruto requiere gran cantidad de este elemento, deficiencias de K pueden ocasionar afectaciones en el diámetro y longitud de los dedos (Soto, 2015; Lahav y Israeli, 2019b). Esto se visualiza en el estudio donde, para los mayores contenidos de K en el suelo se observan los valores más altos de la LOBB con un dato medio de $10,16 \pm 0,54$ ". Finalmente, no se encontraron diferencias significativas con los niveles de P en el suelo.

En el caso de la evaluación de la LOBC se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de Al presente en el suelo (Kruskal-

Wallis, $X^2 = 33,029$, $df = 2$, $p = 6,728e-8$, Figura 4). Este elemento es importante tenerlo en consideración debido a que su presencia es una de las mayores limitantes para el normal desarrollo de las plantas; los valores altos de Al en el suelo pueden ocasionar toxicidad y daños en las estructuras de la planta, tal como afectar el crecimiento de las raíces y la captación de nutrientes (Rahman *et al.*, 2018; Muhammad *et al.*, 2019). Adicionalmente, este elemento se encuentra en suelos con $pH \leq 5,5$, esto se visualiza durante el estudio con un valor de correlación $R = - 89,68\%$ lo que indica que a menores valores de pH , se están encontrando mayores contenidos de Al en el suelo evaluado, por lo que para la zona de Urabá es relevante debido a que predominan los suelos con estas condiciones (Centro de Investigaciones del Banano-Cenibanano, 2022). los suelos con estas condiciones (Centro de Investigaciones del Banano -Cenibanano, 2022).

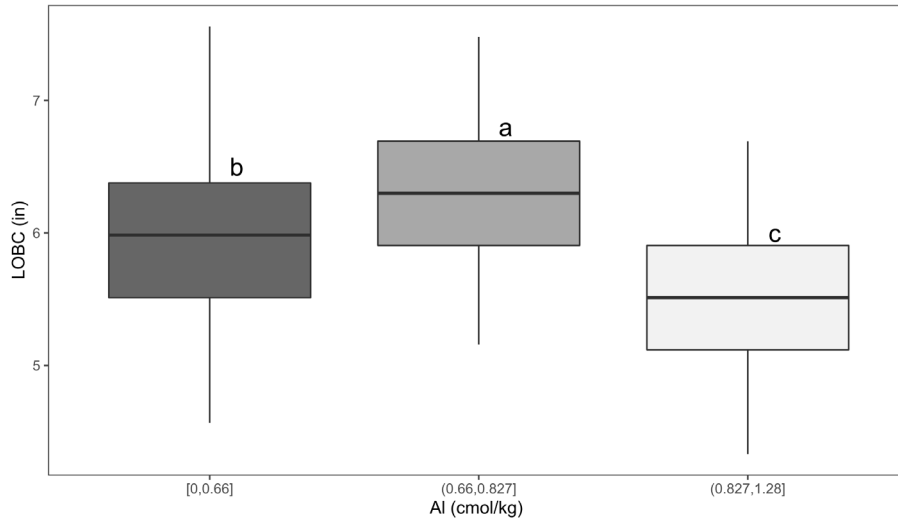


Figura 4. Distribución de la longitud del dedo basal a las dos semanas (LOBC), en pulgadas, en función del contenido de Aluminio (Al) en el suelo en cuatro fincas de Urabá-Antioquia, 2023. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente según prueba de LSD test, p -value<0,05.

Soto, (2015) menciona que se pueden encontrar síntomas de toxicidad en plantas de banano cuando el contenido de aluminio en el suelo es superior a $0,01 \text{ cmol kg}^{-1}$, lo que da indicios de la baja tolerancia del cultivo de banano a este elemento. El Al ocasiona una disminución de la transpiración de las plantas y reduce la captación de elementos como Ca, Mg y P, como consecuencia se observa reducción en el crecimiento y materia seca de las plantas. Esto puede llevar a pérdidas de productividad y calidad de la fruta (Lahav

y Israeli, 2019a; Sancho y Molina, 2016). En la figura 4, gráfica se puede observar que los valores mayores de aluminio en el suelo reducen considerablemente el valor de la LOBC, obteniendo un dato medio de $5,55'' \pm 0,57''$.

Se encontraron diferencias estadísticas sobre el contenido de S en el suelo y la LOAC durante el estudio. (Kruskal-Wallis, $X^2=47,23$, $df=3$, $p=3,105e^{-10}$, Figura 5).

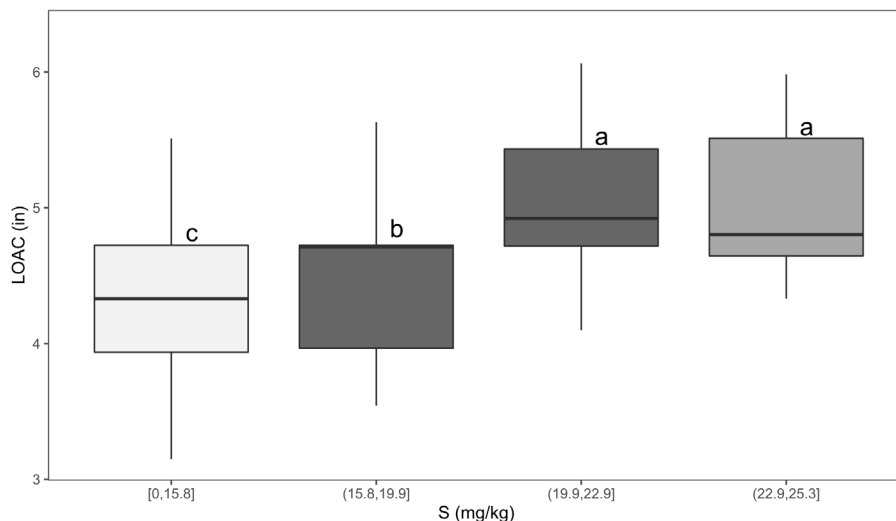


Figura 5. Contenido de azufre en el suelo y longitud del dedo apical a dos semanas (LOAC), en pulgadas de cuatro fincas en Urabá-Antioquia, 2023. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente según prueba de LSD test, p -value<0,05.

A nivel mundial se ha observado una reducción en el contenido de S en el suelo y como consecuencia la calidad de muchos cultivos ha disminuido debido a que es un elemento que tiene un papel importante en la síntesis de vitaminas y la clorofila en la célula, por lo que si no se tienen los niveles óptimos los cultivos no alcanzan el potencial de producción, además de la disminución en la calidad y niveles de proteína. En el estudio de Murovhi, (2013) en naranja, menciona que mayores aplicaciones de S en la fertilización del cultivo aumentaron la calidad y el número de frutas por árbol. Sin embargo, identifican que el tamaño de la fruta disminuye, contrario a lo encontrado durante este estudio en banano donde se observa un aumento de la

LOAC con el aumento del contenido de S en el suelo y alcanzando el pico de longitud con una concentración de 19,9 mg/kg. Los resultados están acorde con lo evidenciado por Hosam El-Deen, (2002), en donde aplicaron dosis crecientes de S en el suelo para evaluar su efecto sobre la calidad de fruta en un cultivar de banano. Durante el estudio encontraron que las mayores concentraciones de este elemento generaron valores mayores de longitud y diámetro de los dedos.

Durante las evaluaciones se observan diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 10% en el efecto del contenido de P en el suelo sobre el PBR, como se visualiza en la Figura 6.

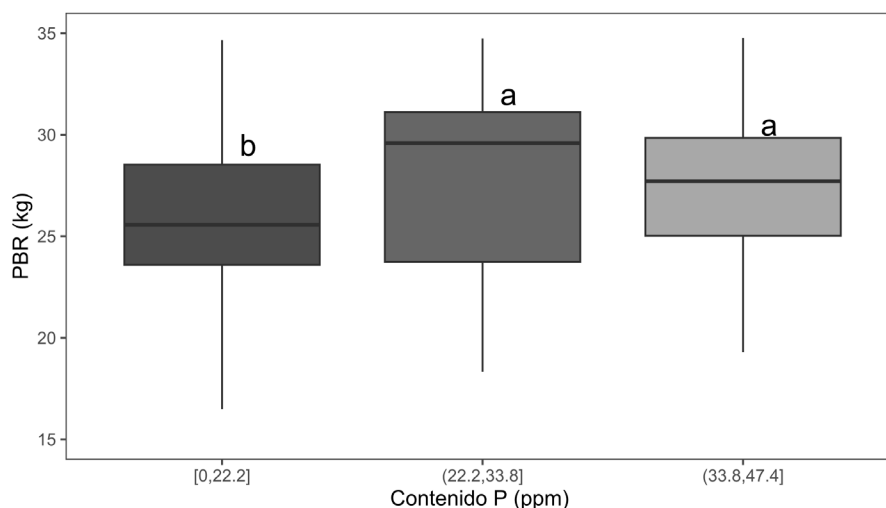


Figura 6. Peso de racimo PBR, en función del contenido de fósforo (P) del suelo en cuatro fincas de Urabá-Antioquia, 2023. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente según prueba de Duncan Test ($p < 0,10$).

Este resultado se atribuye a que, una vez incorporado el P en la planta, forma parte de la unión entre nucleósidos y ribonucleósidos, además está presente en fosfolípidos de membranas unido a moléculas de amino colina y fosfatidilcolina. Puede ser empleado en la síntesis de fosfato de alta energía ((P)-(P)) o en forma de éster (C-(P)), en ambas formas es empleado en procesos metabólicos de biosíntesis y degradación en donde se requiere principalmente ATP (por ejemplo, en la biosíntesis y degradación fosforilativa del almidón) (Tamayo, 2014). En la señalización

interviene en reacciones de fosforilación por adenosín difosfato (ADP), adenosín trifosfato (ATP) o guanidin trifosfato (GTP) donde se libera como pirofosfato inorgánico (PPi), que se emplea posteriormente por diversas enzimas y es capaz de generar cambios bioquímicos que llegan a repercutir en las características fenotípicas de las plantas (Lira Morales *et al.*, 2019).

De esta forma, el ATP, al catalogarse como transportador de energía y encontrar una relación fuente-sumidero, donde el sumidero

final es el racimo, genera un transporte de fotoasimilados, influyendo en las diferencias significativas del peso neto de la fruta y demás variables relacionadas (Bernal-Monterrosa y Cabrales-Herrera, 2022).

En este sentido, existe una estrecha relación entre las propiedades químicas del suelo con las variables morfológicas y de producción analizadas, que pone de manifiesto su influencia de la fertilidad química del suelo con la producción del cultivo en fincas bananeras del Urabá.

CONCLUSIÓN

Durante el periodo evaluado, fue posible identificar la relación de las propiedades químicas del suelo con la calidad y producción de banano.

La morfología de la fruta y el peso promedio de racimos, en este caso, presentó una mayor relación con las variables químicas del suelo, indicando su relación directa con la fertilidad química del suelo, principalmente con micronutrientes y el P.

Las variables B, K, Al y S, presentaron una relación directa con la longitud de los dedos del racimo, mientras que, con el P, presentó una relación con el peso de racimo, lo cual explica los cambios fenotípicos y de producción obtenidos. Este trabajo de investigación se considera como un insumo importante para el ajuste de los programas de nutrición mineral en la zona bananera de Urabá.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito.

REFERENCIAS

- 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>
- Bernal-Monterrosa, M. A., Delgado-Bejarano, L., Causil Pastrana, E. J. y Algarín Guerra, L. J. 2023.** Relación de la productividad en fincas bananeras con el perfil de los racimos en Urabá-Antioquia. *Temas Agrarios*, 28(2): 140-148. <https://doi.org/10.21897/3v72g961>
- 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.
- Centro de investigaciones del banano. 2022.** Servicio integrado de suelos. In Informe Anual 2021 (164–179). Augura.
- Ciarlo, E. A., Muschietti, M., Peralta, N., Comparín, M., Gregorini, F., Cipriotti, P. A. y Giuffre, L. 2020.** Variabilidad Espacial De Propiedades Del Suelo: Efecto Del Uso Y Tipo. *Argentina*, 38(2): 249–261.
- Contreras-Santos, J. L., Martinez-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.* <https://cran.r-project.org/package=agricolae>
- Duque Escobar, G. y Escobar, C. E. 2016.** Relaciones Gravimétricas Y Volumétricas Del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Geomecánica. Capitulo 2, 29–47.
- Flores Delgadillo, L. y Alcalá Martínez, J. R. 2010.** Manual De Procedimientos Analíticos. Física De Suelos. <https://Docplayer.Es/6383660-Manual-De-Procedimientos-Analiticos-Fisica-De-Suelos.Html>
- Fox, J. y Weisberg, S. 2019.** *An R Companion to Applied Regression.* Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- GarcíaGuzmán, S. D., Bautista-Montealegre, L. G. y 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): 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192>
- Gewers, F. L., Ferreira, G. R., De Arruda, H. F., Silva, F. N., Comin, C. H., Amancio, D. R. y Costa, L. D. F. 2021.** Principal component analysis: A natural approach to data exploration. *ACM Computing Surveys*, 54(4). <https://doi.org/10.1145/3447755>
- González-García, H., González Pedraza, A. F., Pineda Zambrano, M., Escalante-García, H., Rodríguez-Yzquierdo, G. y Soto-Bracho, A. 2021.** Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro*, 33(2): 143–148. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.8>
- Gross, J. y Ligges, U. 2015.** *Nortest: Tests for normality.* <https://cran.r-project.org/package=nortest>
- Hosam El-Deen, A. 2002.** Effect of Sulphur Soil Application on Growth, Yield and Fruit Quality of Hindi Banana Cultivar. *Journal of Plant Production*, 27(3): 1675–1681. <https://doi.org/10.21608/jpp.2002.253674>
- 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.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2007.** Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá Departamento de Antioquia. 490p
- Lahav, E. y Israeli, Y. 2019a.** Chemical injury to banana. In D. Jones (Ed.), *Handbook of diseases of banana, abac and enset.* CABI.
- Lahav, E. y Israeli, Y. 2019b.** Mineral deficiencies of banana. In D. Jones (Ed.), *Handbook of diseases of banana, abac and enset.* CABI.
- Lira Morales, J. D., Valenzuela, M., Islas Osuna, M. A., Osuna Enciso, T., López-Valenzuela, J. A. y Sañudo-Barajas, J. A. 2019.** Proteínas transportadoras de fósforo de la familia PHT1 y su uso potencial en la agricultura moderna. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5): 1111–1123. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1303>

- Mahendran, P. P., Suganya, S., Kannan, P. y Yuvaraj, M. 2022.** Growth, Nutrient Uptake, Yield and Quality Parameters of Nendran Banana (*Musa Spp.*): As Influenced by the Application of Boron in Typic Rhodustalf of Theni District, Tamil Nadu, India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(5): 559–575. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.2017958>
- Martínez-Herrera, J., Ramírez Guillermo, M. y Cámara-córdova, J. 2016.** Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria (Issue November).
- Martínez, L. F. D. J. R. A. 2010.** Manual de Procedimientos Analíticos. Instituto de Geología (UNAM), 56.
- Muhammad, N., Zvobgo, G. y ZHANG, G. ping. 2019.** A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(7): 1518–1528. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61991-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61991-4)
- Murovhi, N. R. 2013.** Effect of different rates of sulphur fertilization on fruit yield and leaf mineral composition of “Valencia” oranges in the subtropical environment of South Africa. *Acta Horticulturae*, 1007, 303–310. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1007.33>
- Osorio, W. 2018.** Manejo de nutrientes en suelos del tropico (3rd ed.). L. Vieco.
- R Core Team. 2022.** R: A Language and Environment for Statistical Computing. In R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Rahman, M. A., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. H., Jones, C. S. y Lee, K. W. 2018.** Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>
- Raja, V., Saraswathy, S., Premalakshmi, V., Anitha, T. y Venkatesan, K. 2022.** Effect of pre-harvest treatments on yield and postharvest quality of banana (*Musa acuminata*) cv . red banana. *The Pharma Innovation Journal*, 11(9): 897–903.
- Saavedra, D., Murcia, V., Machado, L., Sánchez, J., Estrada, L. F. y Ordoñez, C. M. 2019.** Propiedades físicas y químicas de suelos y su relacion con sistemas de produccion en el municipio campoalegre, departamento del huila, Colombia. *Bioagro*, 31(2): 151–158.
- Salem, H., Gouda, F. E.-Z. y Ali, H. 2021.** Response of Grand Nain Banana Plants to Different Potassium Fertilizer Sources. *Journal of Plant Production*, 12(7): 765–772. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.83869.1040>
- Sánchez, J. y Mira, J. 2013.** Principios para la nutrición del cultivo de banano (1st ed.). Augura.
- Sancho, H. y Molina, E. 2016.** Efecto del Mg y pH en la reducción de la toxicidad de Al en plantas de banano cultivadas en solución hidropónica. *Siembra*, 3(1): 53–66. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.260>
- Soto, M. 2015.** Bananos 2: Tecnologías de producción (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Tamayo, A. 2014.** Capítulo III Nutrición y fertilización. *cic*, 147–169.