Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Desarrollo de una aplicación móvil para el cálculo de índices de calidad de suelo en banano

José Pablo Vargas Fernández[1]*, Olger Francisco Vargas Fernandez[2], Ronald Romero-Calderón[3]

[1]Escuela de Agronomía. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. [2]Ingeniero en Ciencias de la Computación e Informática. San José, Costa Rica. [3]Investigador independiente. San José, Costa Rica.

Autor de correspondencia:
José Pablo Vargas Fernández
josepablo.vargasfernandez@ucr.ac.cr

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Manejo de suelos y Nutrición química y orgánica

Recibido:
15 diciembre, 2025
Publicado:
30 abril, 2026

Cita:
Vargas Fernández JP, Vargas Fernandez OF, Romero-Calderón R. 2026. Desarrollo de una aplicación móvil para el cálculo de índices de calidad de suelo en banano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 139 https://doi.org/10.62498/ARTC.26139

RESUMEN

La sostenibilidad del cultivo de banano depende de la capacidad para mantener altos niveles de productividad sin comprometer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En los últimos años, el desarrollo de aplicaciones móviles ha facilitado diagnósticos de bajo costo y mayor accesibilidad, aunque la mayoría se ha diseñado fuera del trópico húmedo o para contextos distintos al banano. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un prototipo de aplicación móvil, de libre acceso, que permita calcular índices de calidad del suelo en sistemas bananeros a partir de un conjunto mínimo de indicadores. El prototipo, denominado Musalud, se desarrolló en colaboración con la Universidad de Costa Rica, empleando el SDK Flutter y el lenguaje de programación Dart. Su diseño se estructuró en tres etapas: (I) selección de 10 indicadores mínimos, definidos por relevancia agronómica y análisis estadísticos; (II) interpretación mediante la metodología de Distribución Normal Acumulativa (CND); y (III) construcción de un índice de calidad del suelo bajo un enfoque aditivo simple. La base de datos incluyó entre 164 y 5800 registros de suelos bananeros de la región Huetar Caribe. Musalud constituye la primera aplicación móvil en Costa Rica enfocada en banano, con capacidad para generar índices en escala 0–100, acompañados de gráficos tipo semáforo, advertencias y recomendaciones de manejo. Su uso representa un avance hacia la digitalización de la gestión agrícola, con potencial de integración a plataformas de monitoreo y estrategias de agricultura climáticamente inteligente.

Palabras clave: Digitalización agrícola, Indicadores mínimos, Sostenibilidad productiva

ABSTRACT

The sustainability of banana cultivation depends on the ability to maintain high levels of productivity without compromising the physical, chemical, and biological properties of the soil. In recent years, the development of mobile applications has facilitated low-cost and more accessible diagnostics, although most have been designed outside the humid tropics or for contexts other than bananas. The objective of this study was to develop a free-access mobile application prototype capable of calculating soil quality indices in banana systems based on a minimum set of indicators. The prototype, named Musalud, was developed in collaboration with the University of Costa Rica, using the Flutter SDK and the Dart programming language. Its design was structured in three stages: (I) selection of ten minimum indicators, defined by agronomic relevance and statistical analyses; (II) interpretation of the indicators through the Cumulative Normal Distribution (CND) methodology; and (III) construction of a soil quality index using a simple additive approach. The database included between 164 and 5800 records from banana soils in the Huetar Caribe region. Musalud constitutes the first mobile app in Costa Rica focused on banana cultivation, with the ability to generate indices on a 0–100 scale, accompanied by traffic light-type charts, warnings, and management recommendations. Its implementation represents a significant step toward the digitalization of agricultural management, with strong potential for integration into monitoring platforms and climate-smart agriculture strategies.

Keywords: Agricultural digitalization, Minimal indicator set, Production sustainability

Copyright: © 2026 por los autores. Licencia Acorbat Internacional. Este artículo es de acceso libre y distribuido bajo los términos de Acorbat Internacional

INTRODUCCIÓN

En el cultivo de banano, la sostenibilidad implica mantener altos niveles de productividad sin comprometer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Stoorvogel & Segura, 2018). El concepto de calidad del suelo se refiere a su capacidad para sostener la productividad, integrando tanto propiedades inherentes, determinadas por la génesis del suelo, como propiedades dinámicas, influenciadas por procesos biológicos y prácticas de manejo (Bünemann *et al*., 2018). En este marco, el interés por evaluar la calidad del suelo ha impulsado el desarrollo de aplicaciones móviles (apps) que ofrecen diagnósticos accesibles y de bajo costo para agricultores, técnicos y extensionistas (Fleskens *et al*., 2017).

En Europa, se ha desarrollado SQAPP (Soil Quality App), que genera un índice de calidad del suelo acompañado de recomendaciones de manejo adaptadas al contexto local. En Estados Unidos, el USDA-ARS implementó LandPKS (Land Potential Knowledge System), una aplicación que solicita información básica del suelo y genera índices de salud del suelo disponibles para productores y técnicos (Fleskens *et al*., 2017). En América Latina, un esfuerzo pionero en banano fue la iniciativa SIDICASS, concebida como un sistema regional para diagnosticar la calidad de suelos bananeros mediante la integración de indicadores físicos, químicos y biológicos (Rosales *et al*., 2008). Aunque se consolidó como una herramienta valiosa, su diseño para computadores de escritorio y las limitaciones tecnológicas de la época restringieron su adopción y permanencia en el tiempo.

En Costa Rica y otros países exportadores de banano, si bien existen investigaciones sobre la calidad del suelo en sistemas bananeros (Vargas-Fernández, 2024), tanto el país como la región se mantienen entre las zonas con menor desarrollo en esta línea de estudio (Cherubin *et al*., 2025). Entre las principales limitantes destacan el desconocimiento del tema y la elevada inversión de tiempo y recursos económicos que requieren estas evaluaciones. Asimismo, las aplicaciones disponibles, desarrolladas hace más de dos décadas para computadores de escritorio o en contextos distintos al trópico húmedo, refuerzan la necesidad de contar con herramientas recientes, accesibles y adaptadas a las condiciones locales de producción. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un prototipo de aplicación móvil, de libre acceso, que permita calcular índices de calidad del suelo a partir de un conjunto mínimo de indicadores y facilite la toma de decisiones en el manejo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del prototipo de aplicación móvil Musalud (Universidad de Costa Rica, 2025) se fundamentó en una evaluación de la calidad del suelo organizada en tres etapas: (I) selección de un conjunto mínimo de indicadores, definidos por su relevancia agronómica y mediante análisis multivariados; (II) interpretación de los indicadores mediante la metodología de Distribución Normal Acumulativa (CND) (Moebius-Clune *et al*., 2016), que empleó ecuaciones no lineales, la media y la desviación estándar de cada variable para asignar puntajes entre 0 y 100; y (III) construcción de un índice de calidad del suelo mediante un enfoque aditivo simple y en base 100.

El conjunto mínimo de indicadores (etapa I) fue seleccionado utilizando una consulta de criterio experto y mediante un PCA con retención de componentes con autovalores >1 y carga factorial ≥0,45 y utilizando una matriz de correlaciones de Pearson para eliminar redundancias. Para la interpretación (etapa II), se emplearon entre 164 y 5800 registros provenientes del Mapa de Suelos de Costa Rica (Mata *et al*., 2022) y de la base de datos de la Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte S.A., en ambos casos de suelos bananeros de la región Huetar Caribe (Vargas-Fernández, 2024). El conjunto mínimo de indicadores incorporado en Musalud incluyó: acidez intercambiable (AI), pH, resistencia a la penetración (RSP), carbono orgánico total (COT), carbono de biomasa microbiana (CBM), densidad de R. similis en 100 g de raíz, así como variables biométricas de la planta: biomasa fresca de raíz funcional (RF), circunferencia de planta (CPF), altura de hijo a parición (APF) y número de manos por racimo (MPR) (Vargas-Fernández, 2024).

Musalud fue diseñada en idioma español, para sistemas Android, utilizando el SDK Flutter (Software Development Kit) y el lenguaje de programación Dart (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.varferapps.musalud&pcampaignid=web_share). El núcleo de su funcionalidad se implementó bajo una arquitectura monolítica y reside en una única clase (*main.dart*). Tanto esta aplicación como las librerías que utiliza son de uso libre y abierto. Entre las librerías de apoyo se encuentran: flutter_map, utilizada para integrar un mapa interactivo con marcadores de localización; fl_chart, para generar un gráfico lineal que permite dar trazabilidad a las evaluaciones en el tiempo (hasta 4 meses); y normal, que permite el cálculo de desviaciones estándar, para cada indicador del conjunto mínimo, y la creación del algoritmo base para ejecutar la interpretación de los indicadores (etapa III).

En cuanto a la gestión de datos y privacidad, Musalud es no invasiva: únicamente requiere acceso a Internet y no solicita permisos adicionales. Los resultados de cada evaluación se almacenan temporal y únicamente en la memoria caché, por lo que se

eliminan en caso de desinstalación de la aplicación. Finalmente, esta aplicación fue publicada bajo el logo institucional de la Universidad de Costa Rica en Google Play Store, donde se encuentra disponible de forma gratuita para el usuario.

RESULTADOS Y DISCUSION

El principal resultado de este trabajo fue el desarrollo del prototipo funcional de la aplicación móvil Musalud (Universidad de Costa Rica, 2025), disponible de manera gratuita en la plataforma Google Play (Figura 1a y 1b). Musalud constituye la primera herramienta móvil en Costa Rica diseñada para calcular índices de calidad del suelo en sistemas de producción de banano. La aplicación demostró capacidad para generar un índice de manera ágil, siempre que se cuente con los 10 parámetros que conforman el conjunto mínimo de indicadores requerido, reduciendo así la inversión de tiempo y recursos en comparación con los métodos convencionales. Además, la interfaz incluye una descripción de las metodologías empleadas para determinar cada indicador y orienta al usuario en la solicitud de los análisis correspondientes (Figura 1c).

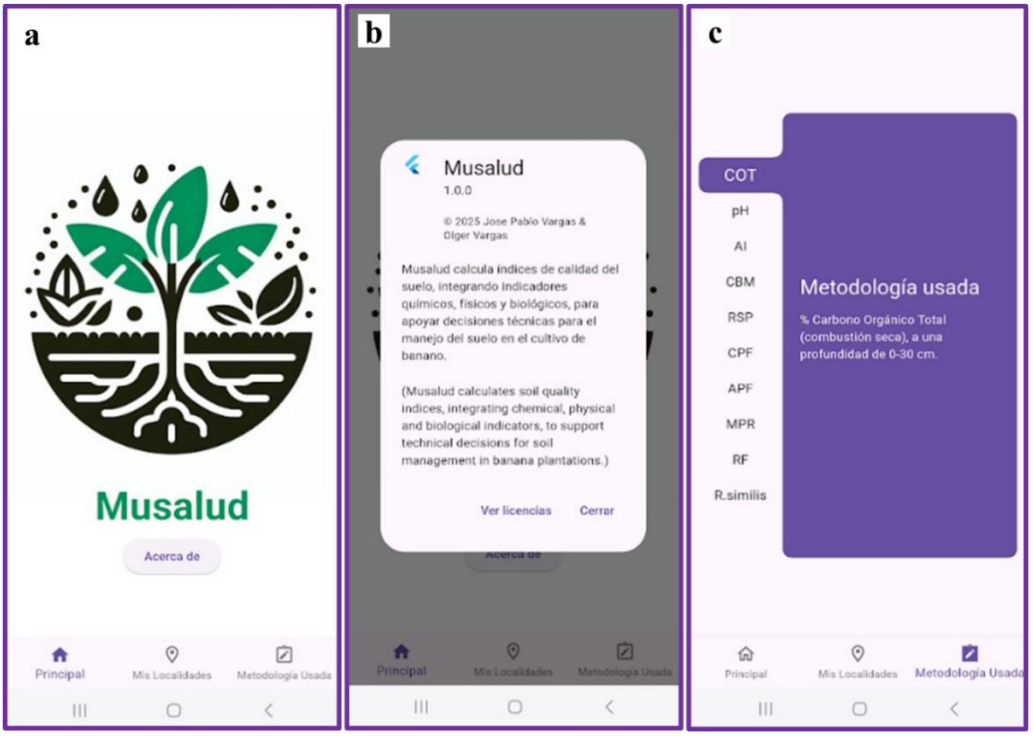


Figura 1. Interfaz del prototipo de la aplicación móvil Musalud. a) Pantalla principal. b) Información general y licencia de uso. c) Visualización de indicadores y metodología empleada para el cálculo del conjunto mínimo de indicadores.

La aplicación permite ingresar manualmente la ubicación del punto de interés en el mapa (Figura 2a), así como los datos de cada indicador, con los cuales se calcula el índice de calidad del suelo en una escala de 0 a 100 (Figura 2b). De forma complementaria, genera un gráfico tipo semáforo que clasifica el índice obtenido en tres categorías (alta, moderada y baja) y facilita llevar un historial por localidad, lo que permite comparar la evolución de la calidad del suelo a lo largo del tiempo (Figura 2a). Finalmente, la aplicación entrega advertencias generales con recomendaciones básicas para cada indicador, de manera que el usuario pueda identificar cuáles requieren atención prioritaria y orientar la implementación de medidas de manejo adecuadas (Figura 2c).

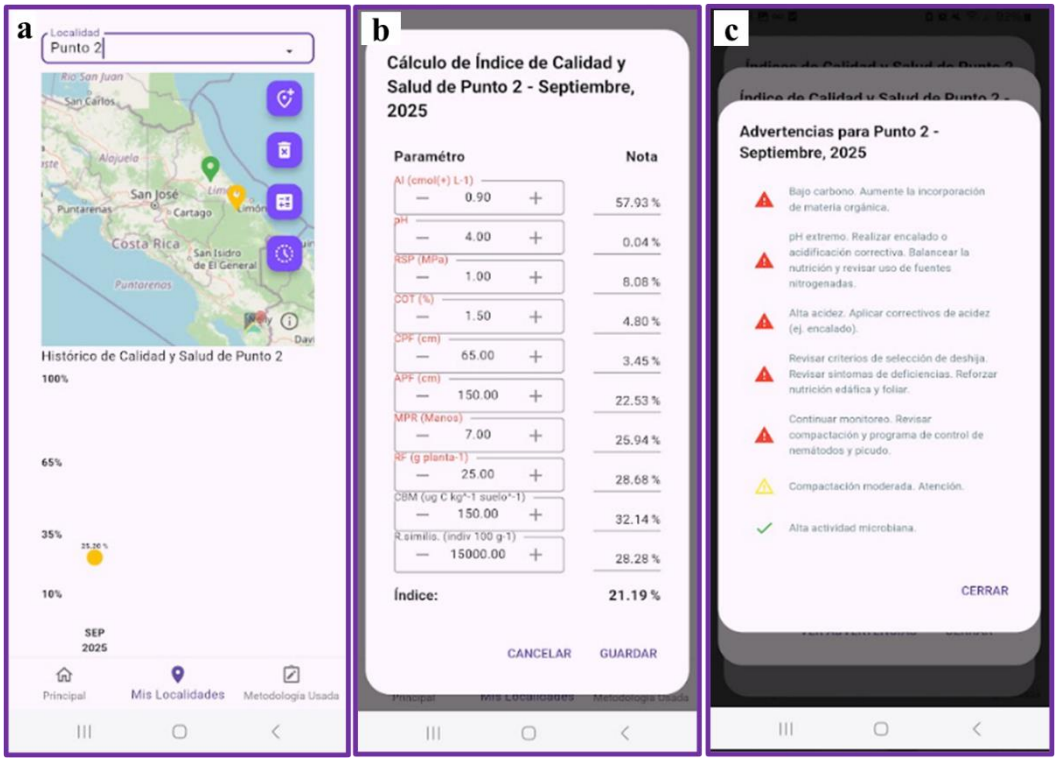


Figura 2. Funcionalidad del prototipo de la aplicación móvil Musalud. a) Ingreso de la localidad y grafico tipo semáforo. b) Ingreso manual de datos y cálculo de índice de calidad de suelo. c) Generación de advertencias y recomendaciones de manejo.

Un elemento diferenciador de Musalud es que se construyó a partir de una base de datos amplia y disponible a nivel local que, pese a haber sido depurada, asegura que los resultados estén calibrados a las condiciones edáficas de las zonas de producción bananera del país. No obstante, esta base puede incrementarse y fortalecerse mediante

alianzas con instituciones y la participación de productores, lo que aumentaría la robustez y aplicabilidad del algoritmo para el cálculo del índice de calidad del suelo.

CONCLUSIONES

Musalud representa un avance en la digitalización y sostenibilidad del manejo del suelo en sistemas bananeros, al ofrecer una herramienta sencilla y de libre acceso que vincula la ciencia aplicada con las necesidades de los productores. Si bien no sustituye los análisis especializados, constituye un complemento valioso para la toma de decisiones en finca y contribuye a democratizar el acceso a información clave sobre la calidad del suelo.

Asimismo, la aplicación se proyecta como un instrumento con alto potencial de integración a plataformas de monitoreo agrícola y a estrategias de agricultura climáticamente inteligente. Futuras versiones deberían contemplar la incorporación de otros idiomas, la posibilidad de operar en modo offline, la actualización del conjunto de indicadores y procesos de validación participativa en distintas regiones, lo que fortalecerá su capacidad para cerrar la brecha entre el conocimiento científico y la práctica productiva.

REFERENCIAS

Bünemann E, Bongiorno G, Bai Z, Creamer R, De Deyn G, de Goede R, Fleskens L, Geissen V, Kuyper T, Mäder P, Pulleman M, Sukkel W, van Groenigen J, Brussaard L. 2018. Soil quality–A critical review. Soil Biology and Biochemistry 120: 105-125.

Cherubin M, Pinheiro C, Souza L, Canisares L, Ferreira T, Cerri C, Minasny B, Smith P. 2025. Global blind spots in soil health research overlap with environmental vulnerability hotspots. Communications Earth & Environment 6, 651.

Delgado E, Rosales F, Trejos J, Villalobos M, Pocasangre L. 2010. Índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de América Latina y el Caribe. Bioagro 22(1): 53–60.

Fleskens L, Ritsema C, Bai Z, Geissen V, Yang X, Mendes de Jesus J. 2017. Pilot soil quality assessment tool (online). iSQAPER Project. https://www.isqaper-is.eu/sqapp-the-soil-quality-app/sqapp-concept

Mata R, Rosales A, Sandoval D, Vindas E, Alemán B. 2022. Mapa de órdenes de suelos de Costa Rica (en línea). Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. http://www.cia.ucr.ac.cr/es/mapa-de-suelos-de-costa-rica

Moebius-Clune B, Moebius-Clune D, Gugino B, Idowu O, Schindelbeck R, Ristow A, van Es H, Thies J, Shayler H, McBride M, Wolfe D, Abawi G. 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health–The Cornell Framework Manual. Cornell University. 134 p.

Rosales F, Pocasangre L, Trejos J, Serrano E, Peña W. 2008. Guía de Diagnóstico de la Calidad y Salud de Suelos. Bioversity International. 80 p.

Stoorvogel J and Segura R. 2018. Nutrition and soil management in banana cultivation. In Kema G, Drenth A (Eds.), Achieving sustainable cultivation of bananas. Burleigh Dodds Science, Cambridge, UK. pp. 1 – 12.

Universidad de Costa Rica. 2025. MuSalud. Google Play Store. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.varferapps.musalud&hl=es_419 Google Pla

Vargas-Fernandez JP. 2024. Evaluación de la calidad de suelos de alta y baja productividad en una finca bananera bajo manejo convencional en el Caribe de Costa Rica. Tesis Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Universidad de Costa Rica. San Pedro, San José, Costa Rica.