

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE CONDICIONES AGRONÓMICAS PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO EN LA COSECHA DE BANANO EN LA BANANERA "LA FORTUNA"

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR ANALYZING AND PREDICTING AGRONOMIC CONDITIONS TO OPTIMIZE BANANA HARVEST YIELD AT THE "LA FORTUNA" BANANA PLANTATION

Luis Alexander Vines Manzaba^{1*}

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9610-1987>. Correo: luis.vinces5621@utc.edu.ec

Diego Andrés Macías Cajamarca²

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3344-9923>. Correo: diego.macias8680@utc.edu.ec

Rodolfo Najarro Quintero³

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6760-4269>. Correo: rodolfo.najarro@utc.edu.ec

Johnny Xavier Bajaña Zajia⁴

⁴ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2983-2508>. Correo: johnny.bajana@utc.edu.ec

* Autor para correspondencia: luis.vinces5621@utc.edu.ec

Resumen



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

El cultivo de banano constituye uno de los pilares de la economía ecuatoriana; sin embargo, en muchas fincas su productividad sigue condicionada por prácticas tradicionales de seguimiento agronómico, registros dispersos y procesos administrativos poco eficientes. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo implementar un sistema web integral de análisis y predicción de condiciones agronómicas para optimizar el rendimiento del cultivo en la hacienda "La Fortuna", ubicada en el cantón Valencia. El estudio se desarrolló con un enfoque mixto, de tipo aplicado y descriptivo, y se apoyó en el marco ágil Scrum para organizar el proceso de construcción tecnológica. Durante la fase de diagnóstico se trabajó con 15 actores estratégicos de la hacienda, lo que permitió identificar necesidades operativas, estandarizar 18 variables críticas climáticas, edáficas, nutricionales, fitosanitarias, productivas y de gestión e integrar información en una sola plataforma. Como resultado, se implementó un modelo de Regresión Ridge para la predicción del rendimiento, el cual alcanzó un coeficiente de determinación R^2 de 0.70 y un Error Porcentual Absoluto Medio de 17.9%, valores que evidencian una capacidad predictiva adecuada para apoyar la planificación operativa. La plataforma redujo en un 93% el tiempo administrativo destinado a la generación de reportes medido mediante cronometraje en condiciones reales antes y después de la implementación y obtuvo una aceptación del 96.7% por parte de los usuarios evaluados a través de una escala de Likert de cinco puntos. La integración de analítica de datos, la trazabilidad digital y la predicción automatizada fortalecen la toma de decisiones y favorecen una gestión agronómica más precisa, oportuna y sostenible.

Palabras clave: agricultura de precisión; aprendizaje automático; rendimiento de cultivos; sistema web; regresión ridge; banano; analítica de datos

Abstract

Banana cultivation is one of the main pillars of the Ecuadorian economy; however, in many farms productivity is still limited by traditional agronomic monitoring practices, fragmented records, and inefficient administrative processes. In this context, the objective of this research was to implement a comprehensive web-based system for the analysis and prediction of agronomic conditions in order to optimize crop yield at the "La Fortuna" farm, located in Valencia canton. The study followed a mixed, applied, and descriptive approach and was supported by the Scrum framework to organize the technological development process. During the diagnostic stage, 15 strategic stakeholders from the farm participated, enabling the identification of operational needs, the standardization of 18 critical variables climatic, edaphic, nutritional, phytosanitary, productive, and management and the integration of information into a single platform. A Ridge Regression model was implemented for yield prediction, reaching a coefficient of determination of $R^2 = 0.70$ and a Mean Absolute Percentage Error of 17.9%, values that demonstrate adequate predictive capacity to support operational planning. The platform reduced by 93% the administrative time required to generate reports measured through real-time chronometry before and after implementation and achieved a user acceptance rate of 96.7%, assessed through a five-point Likert scale. The integration of data analytics, digital traceability, and automated prediction strengthens decision-making and promotes more precise, timely, and sustainable agronomic management.

Keywords: *precision agriculture; machine learning; crop yield; web system; ridge regression; banana; data analytics*

Fecha de recibido: 25/05/2026

Fecha de aceptado: 23/07/2026

Fecha de publicado: 12/08/2026

Introducción

El banano representa una actividad estratégica para la economía del Ecuador y, al mismo tiempo, un cultivo altamente exigente en términos de seguimiento técnico, control fitosanitario y planificación productiva. A pesar de su relevancia, muchas explotaciones agrícolas todavía gestionan la información mediante registros manuales, reportes aislados y procesos poco estandarizados, lo que dificulta la trazabilidad de las labores de campo y limita la capacidad de reacción frente a eventos que afectan el rendimiento. Esta situación se evidencia con claridad en la hacienda "La Fortuna", donde la fragmentación de datos históricos y operativos ha condicionado la toma de decisiones agronómicas y administrativas.

La problemática adquiere mayor complejidad si se considera la naturaleza asincrónica del cultivo de banano. A diferencia de otros sistemas agrícolas con ciclos más uniformes, la floración, el desarrollo del racimo y la maduración no ocurren de manera simultánea en todas las plantas del lote. Esta condición vuelve insuficiente el seguimiento empírico y hace necesaria la incorporación de herramientas tecnológicas capaces de ordenar la información, detectar patrones y anticipar escenarios productivos. En este sentido, la agricultura de precisión y la analítica de datos ofrecen un marco de respuesta pertinente, ya que permiten integrar variables de suelo, clima, manejo y sanidad vegetal para apoyar decisiones más consistentes.

La agricultura de precisión se entiende como un enfoque de gestión que utiliza tecnologías de información y comunicación para observar, medir e intervenir sobre la variabilidad presente en el campo. Su aplicación en cultivos perennes, como el banano, adquiere un valor particular debido a la heterogeneidad espacial del suelo, a la influencia del microclima y al comportamiento fenológico continuo de la planta (Romero-García et al., 2025). En este contexto, la disponibilidad de datos organizados no solo mejora la supervisión técnica, sino que también permite planificar mejor las labores de fertilización, riego, control sanitario y cosecha.

El seguimiento del desarrollo del banano presenta desafíos que han sido ampliamente documentados. Aeberli et al. (2023) destacan que la detección de atributos fenotípicos y cambios de crecimiento mediante técnicas de sensado remoto puede aportar información clave para estimar etapas del cultivo y su rendimiento potencial. Estas aproximaciones evidencian que la digitalización del seguimiento agronómico es una condición necesaria para superar los límites del monitoreo tradicional, sobre todo en sistemas donde el comportamiento de cada planta o lote puede diferir de manera importante. En la misma línea, Yáñez-Cajo et al. (2025) confirmaron que la combinación de datos espectrales, imágenes UAV y variables edáficas mejora sustancialmente la precisión de los modelos de predicción del rendimiento en el banano.

Otro componente esencial para la toma de decisiones es el conocimiento de las condiciones edáficas y nutricionales. Najdenko et al. (2024) subrayan que el análisis rápido de suelo en campo y la disponibilidad de datos en tiempo real favorecen recomendaciones más oportunas respecto al manejo del pH y los nutrientes. Cuando esta información se integra con variables climáticas y registros de producción, se construyen bases de datos con alto valor para la predicción y la gestión de riesgos.

Los modelos de aprendizaje automático han ganado relevancia por su capacidad para identificar patrones no lineales entre múltiples variables. Betew et al. (2026, publicación en línea anticipada de 2025) señalan que los métodos contemporáneos de predicción de rendimiento superan las limitaciones de los enfoques estadísticos más simples, particularmente en ambientes donde intervienen numerosos factores simultáneos. Akkem et al. (2023) sostienen que la integración de inteligencia artificial en la agricultura tiene valor cuando transforma información dispersa en conocimiento útil para la acción. Por su parte, Olivares et al. (2022) demostraron la eficacia del algoritmo Random Forest para predecir la producción de banano a partir de parámetros epidemiológicos de Sigatoka negra. La revisión de la literatura confirma que la aplicación combinada de estas técnicas posibilita una gestión preventiva frente a las amenazas fitosanitarias y climáticas que inciden sobre el rendimiento.

Desde la perspectiva tecnológica, el desarrollo de aplicaciones web para gestión agrícola posibilita centralizar la captura de datos, asegurar su disponibilidad en tiempo real y presentar resultados mediante paneles de control comprensibles para los usuarios. Frameworks como Next.js en el frontend y Django con Django REST Framework en el backend ofrecen condiciones favorables para construir soluciones escalables, seguras y compatibles con procesos de analítica avanzada. La combinación de estas herramientas con librerías científicas en Python facilita tanto la administración del sistema como el entrenamiento e implementación de modelos predictivos orientados al apoyo de la gestión agronómica (Hayat et al., 2024).

Con base en este escenario, la investigación se planteó como propósito desarrollar e implementar un sistema web integral que centralizara la información agronómica de la hacienda, facilitara la trazabilidad de variables críticas y permitiera incorporar un modelo de predicción del rendimiento. De manera específica, se buscó: (a) analizar los requerimientos técnicos y funcionales de producción en "La Fortuna"; (b) diseñar una arquitectura de analítica de datos orientada al seguimiento de las 18 variables agronómicas identificadas; y (c) evaluar el sistema mediante indicadores de eficiencia operativa, precisión matemática y aceptación de los usuarios finales.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló con un enfoque mixto, ya que combinó procedimientos cualitativos para comprender la realidad operativa de la hacienda con técnicas cuantitativas para construir y evaluar el modelo predictivo. Desde el punto de vista aplicado, el trabajo se orientó a resolver un problema concreto de gestión de información y planificación productiva en la hacienda "La Fortuna". El alcance fue descriptivo, porque permitió caracterizar los procesos existentes, identificar los puntos críticos en la trazabilidad de datos y valorar el comportamiento del sistema implementado.

En la fase inicial se realizó un diagnóstico de campo mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa de los procesos productivos. Participaron 15 actores estratégicos, entre ellos personal gerencial,

ingenieros agrónomos y técnicos de campo, seleccionados por su rol clave en la cadena productiva y administrativa de la hacienda. Esta etapa permitió reconocer debilidades en el registro de información, definir necesidades funcionales y establecer un conjunto de 18 variables agronómicas y productivas consideradas esenciales para el monitoreo y la predicción del rendimiento. Dichas variables se agruparon en seis categorías: climáticas (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa), edáficas (pH del suelo), nutricionales (dosis de fertilización), fitosanitarias (incidencia de plagas y severidad de Sigatoka negra), productivas (racimos cosechados, cajas producidas, mermas e índices de rechazo) y de gestión (reportes generados, tiempos de elaboración y registros de trazabilidad). La conformación de este conjunto de variables garantiza la coherencia con los anexos y tablas del estudio.

Con base en los requerimientos identificados, se diseñó la arquitectura del sistema web. Para la capa de presentación se emplearon Next.js, React, TypeScript, Tailwind CSS y Recharts, con el fin de ofrecer interfaces dinámicas y paneles de visualización accesibles desde distintos dispositivos. En el backend se utilizaron Django, Django REST Framework y Python, apoyados por bibliotecas como Pandas, NumPy y Scikit-Learn para el tratamiento de datos y la implementación del modelo de aprendizaje automático. La base de datos relacional se estructuró para asegurar consistencia, trazabilidad y consulta histórica de las 18 variables registradas.

Posteriormente se ejecutó la fase de desarrollo e integración del sistema, incorporando módulos para el ingreso de datos, la administración de registros, la visualización de indicadores y la predicción del rendimiento. Para el componente analítico se empleó un modelo de Regresión Ridge, debido a su utilidad para tratar conjuntos de datos con variables correlacionadas (multicolinealidad). El entrenamiento del modelo se realizó a partir de datos históricos depurados de la hacienda, considerando variables vinculadas con temperatura, precipitación, fertilización, condiciones fitosanitarias y rendimiento. El proceso de desarrollo siguió el marco ágil Scrum para organizar las iteraciones de construcción tecnológica.

La evaluación del sistema se efectuó desde dos perspectivas complementarias. Por una parte, se analizaron indicadores de exactitud matemática del modelo predictivo, particularmente el coeficiente de determinación R^2 y el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE). Por otra parte, se valoró el impacto operativo mediante un proceso de validación estructurado con los mismos 15 actores estratégicos que participaron en la fase de diagnóstico. La aceptación del sistema fue medida a través de una escala de Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo), que evaluó dimensiones de usabilidad, claridad de visualizaciones, pertinencia del simulador y utilidad para la toma de decisiones. Adicionalmente, se midió el tiempo administrativo requerido para la generación de reportes antes y después de la implementación del sistema, empleando cronometraje en condiciones reales de operación en la hacienda. Esta medición permitió cuantificar de forma objetiva la eficiencia operativa ganada con la plataforma.

Resultados y discusión

El diagnóstico inicial confirmó que la gestión de información en la hacienda presentaba un alto nivel de dispersión. Los registros en papel, las anotaciones informales y la ausencia de un repositorio centralizado generaban inconsistencias, duplicidad de tareas y retrasos en la consolidación de datos. Esta situación afectaba de manera directa la capacidad de seguimiento de las labores agronómicas y limitaba la oportunidad de las

decisiones técnicas. Frente a este escenario, la implementación del sistema web permitió organizar en una sola plataforma las 18 variables clave identificadas durante el diagnóstico. La centralización de estos datos constituyó la base operativa para la trazabilidad y el análisis posterior.

Tabla 1. Clasificación de las Variables Monitoreadas por el Sistema.

Categoría	Variables
Climáticas	Precipitación, Temperatura máxima, Temperatura mínima, Humedad relativa
Edáficas	pH del suelo
Nutricionales	Dosis de fertilización (nitrógeno, fósforo, potasio)
Fitosanitarias	Incidencia de plagas, Severidad de Sigatoka negra
Productivas	Racimos cosechados, Cajas producidas, Mermas, Índices de rechazo
De gestión	Reportes generados, Tiempos de elaboración de reportes, Registros de trazabilidad operativa

Nota. Elaboración propia a partir del diagnóstico de campo (2026).

Sobre la información histórica depurada se entrenó el modelo de Regresión Ridge, cuya selección respondió a la necesidad de manejar relaciones complejas y correlacionadas entre las 18 variables agronómicas. Los resultados evidencian que la plataforma no se limitó a digitalizar registros, sino que incorporó una capacidad real de análisis prospectivo para estimar comportamientos productivos y respaldar la toma de decisiones.

Tabla 2. Desempeño del Modelo Predictivo de Regresión Ridge.

Métrica	Valor
Coeficiente de Determinación (R^2)	0.70
Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)	17.9%

Nota. Resultados obtenidos sobre el conjunto de datos históricos depurados de la hacienda "La Fortuna".

Los hallazgos guardan correspondencia con la literatura especializada sobre modelos predictivos aplicados a agricultura. Betew et al. (2026, publicación en línea anticipada de 2025) señalan que los mejores desempeños suelen alcanzarse en escenarios con alta disponibilidad de datos y condiciones experimentales controladas; sin embargo, en contextos productivos reales, donde la información histórica es incompleta o heterogénea, los niveles de ajuste suelen ser más moderados. Desde esta perspectiva, el resultado obtenido en "La Fortuna" confirma la pertinencia del algoritmo seleccionado y demuestra que es posible alcanzar una predicción funcional aun cuando los datos provienen de procesos previamente desorganizados.

La experiencia coincide con lo expuesto por Akkem et al. (2023), quienes sostienen que la integración de inteligencia artificial en la agricultura adquiere valor real cuando transforma información dispersa en conocimiento útil para la acción. El módulo de simulación de escenarios que permite explorar el efecto sobre

la producción esperada, el peso proyectado del racimo y la tasa de rechazo refuerza esta orientación al fortalecer la interpretación técnica de los datos antes de ejecutar decisiones en campo.

Los efectos operativos del sistema fueron igualmente significativos. La medición del tiempo administrativo mediante cronometraje en condiciones reales antes y después de la implementación reveló una reducción del 93% en el tiempo requerido para estructurar información gerencial. Esta mejora no solo representa eficiencia documental, sino una transformación en la manera de planificar acciones correctivas o preventivas.

Paralelamente, la validación funcional con los 15 actores estratégicos, realizada a través de una escala de Likert de cinco puntos, arrojó una aceptación del 96.7%. Los participantes valoraron positivamente la claridad de las visualizaciones, la utilidad de los paneles de control y la pertinencia del simulador para apoyar sus decisiones. Estos resultados son consistentes con los criterios de usabilidad señalados por Hayat et al. (2024) para sistemas de gestión agrícola orientados a usuarios no especializados en tecnología.

El módulo de recomendaciones y reentrenamiento progresivo, orientado a actualizar el comportamiento del modelo conforme ingresan nuevos registros semanales, añade una dimensión adaptativa al sistema. A partir de las correlaciones detectadas entre las variables climáticas y los indicadores de merma, la plataforma puede emitir alertas tempranas ante condiciones de temperatura crítica, lo cual favorece una respuesta más anticipada en la gestión del cultivo.

En la investigación se presentaron algunas limitaciones inherentes al desarrollo del trabajo, una de ellas fue el tamaño reducido del dataset de entrenamiento, dado que la hacienda tenía un volumen limitado de registros históricos. Esta restricción afectó la capacidad de generalización del modelo, particularmente frente a condiciones agronómicas no representadas en los datos disponibles, otra limitación en particular fue que el estudio de la investigación se circunscribe a un único caso la hacienda "La Fortuna" lo que limita la extrapolación directa de los resultados a otros contextos productivos con características edáficas, climáticas o de gestión diferentes,

Dado el carácter exploratorio de la investigación, los hallazgos relativos al impacto sobre la toma de decisiones requieren validación longitudinal para confirmar su sostenibilidad en el tiempo, lo cual fue otra limitación, por lo que se sugiere en estudios futuros contemplar períodos de observación más amplios, la incorporación de nuevas fuentes de datos y la comparación con haciendas de características similares, a fin de incrementar la robustez y transferibilidad de los resultados.

Conclusiones

La implementación del sistema web integral resolvió no solo la falta de una estructura organizada para registrar, validar y analizar la información agronómica, sino también la necesidad de centralizar las variables críticas climáticas, edáficas, nutricionales, fitosanitarias, productivas y de gestión y establecer una base confiable para la trazabilidad del cultivo.

El modelo de Regresión Ridge integrado en la plataforma, evidenció un desempeño sólido para la predicción del rendimiento agrícola, alcanzando un coeficiente de determinación de 0.70 y un Error Porcentual Absoluto Medio de 17.9%. Estos indicadores permiten afirmar que la incorporación de técnicas de aprendizaje automático representa una alternativa para apoyar la planificación de cosecha, optimizar la organización

operativa y orientar la toma decisiones técnicas en escenarios agrícolas reales, donde la disponibilidad de información oportuna marca una diferencia concreta.

La plataforma demostró un impacto significativo en la eficiencia institucional, el tiempo destinado a la elaboración de reportes se redujo un 93%, cifra obtenida mediante cronometraje en condiciones reales de operación, y la aceptación por parte de los usuarios alcanzó el 96.7%, evaluada a través de una escala de Likert de cinco puntos. Estos resultados evidencian que el valor de la herramienta trasciende lo meramente técnico, consolidándose también como una solución funcional y organizativa de alto impacto para el equipo de trabajo.

Todo el desarrollo de la investigación demuestra que centralizar la información del campo, tener trazabilidad digital y usar predicciones automáticas tiene un potencial gigante para ayudar a decidir mejor que hacer con los cultivos, la tecnología es una herramienta clave para tomar decisiones y optimizar el trabajo en la bananera.

Referencias

- Aeberli, A., Phinn, S., Johansen, K., Robson, A., y Lamb, D. W. (2023). Characterisation of banana plant growth using high-spatiotemporal-resolution multispectral UAV imagery. *Remote Sensing*, 15(3), 679. <https://doi.org/10.3390/rs15030679>
- Akkem, Y., Biswas, S. K., y Varanasi, A. (2023). Smart farming using artificial intelligence: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>
- Betew, A. G., Gebresenbet, G., Gelaw, G. K., Mengistu, D. A., y Yibre, A. M. (2026). Historical and contemporary crop yield prediction models: Key lessons and innovations. *Smart Agricultural Technology*, 13, 101672. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101672>
- Garabi, L., y Robinson, H. (2026). Modelos predictivos del impacto del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas. *Polo del Conocimiento*, 11(1), 720–747. <https://doi.org/10.23857/pc.v11i1.11038>
- Hayat, A., Baglat, P., Mendonça, F., Mostafa, S. S., y Morgado-Dias, F. (2024). Machine learning system for commercial banana harvesting. *Engineering Research Express*, 6(3), 035202. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad5cd2>
- Najdenko, E., Lorenz, F., Dittert, K., y Olf, H.-W. (2024). Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 25(6), 3189–3218. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10181-6>
- Olivares, B. O., Vega, A., Rueda Calderón, M. A., Montenegro-Gracia, E., Araya-Almán, M., y Marys, E. (2022). Prediction of banana production using epidemiological parameters of Black Sigatoka: An application with Random Forest. *Sustainability*, 14(21), 14123. <https://doi.org/10.3390/su142114123>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Buenas prácticas agrícolas para bananos. Foro Mundial Bananero. <https://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/good-agricultural-practices/es/>
- Rapetti, M., y Dorel, M. (2022). Bunch weight determination in relation to the source-sink balance in 12 Cavendish banana cultivars. *Agronomy*, 12(2), 333. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020333>
- Romero-García, C. V., Saraguro-Reyes, C. M., Mazon-Olivo, B. E., y Morocho-Román, R. F. (2025). Agricultura de precisión en la producción de banano: Revisión sistemática. *Ingenium et Potentia*, 7(12), 50–76. <https://doi.org/10.35381/i.p.v7i12.4450>
- Yáñez-Cajo, D., Vásconez-Montúfar, G., Villamar-Torres, R. O., Godoy-Montiel, L., Jazayeri, S. M., Pérez-Porras, F., y Mesas-Carrascosa, F. (2025). Banana yield prediction using Random Forest, integrating phenology data, soil properties, spectral technology, and UAV imagery in the Ecuadorian Littoral Region. *Sustainability*, 17(22), 10098. <https://doi.org/10.3390/su172210098>
- Silva-Arero, E. A., Cardona, W. A., Bolaños-Benavides, M. M., y Morales-Osorno, H. (2022). Nutrient injection: an efficient technique to increase plantain (*Musa AAB*) crop yield. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48192. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48192>
- Fernández-Ledesma, C. M., Garcés-Fiallos, F. R., Rosso, F., Cordero, N., Ferraz, S., Durigon, A., y Portalanza, D. (2023). Assessing the risk of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 outbreaks in Ecuadorian banana crops using spatial climatic data. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 301-314. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.026>
- Acuña, R., Rouard, M., Leiva, A. M., Marques, C., Olortegui, A., et al. (2022). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4, causing *Fusarium* wilt in Cavendish bananas in Peru. *Plant Disease*, 106(8), 2268. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1951-PDN>
- Batjes, NH; Calisto, L; de Sousa, LM. 2024. Providing quality assessed and standardised soil data to support global mapping and modelling (WoSIS snap-shot 2023). *Earth System Science Data* 16(10):4735-4765. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-16-4735-2024>