

## **Aplicación móvil que implementa Inteligencia Artificial para detectar la presencia de enfermedades en el cacao**

Mobile application that implements Artificial Intelligence to detect the presence of cocoa diseases

Dulce María León de la O <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0877-7861>

Arcely Aquino Ruíz <sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7363-9992>

Raymundo García Mínguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4615-6654>

Carlos Raúl Muñoz Rodríguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-7329-3014>

José Ney Garrido Vázquez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0009-5282-2042>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Villahermosa. Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, Mexico.

\*Autor para la correspondencia. ([dulce.leono@villahermosa.tecnm.mx](mailto:dulce.leono@villahermosa.tecnm.mx))

## RESUMEN

La aplicación móvil que implementa Inteligencia Artificial, surge de la necesidad de detectar la presencia de enfermedades en el cacao específicamente el hongo de la moniliasis (*moniliophthora roreri*) en las plantaciones de cacao en el municipio del Centro del estado de Tabasco. Esta enfermedad afecta gravemente la producción de cacao, causando pérdidas de hasta el 90%. Asimismo, esta aplicación no solo permite detectar la moniliasis mediante la segmentación semántica de imágenes de cacao, sino que también facilita la comunicación entre agricultores y dependencias gubernamentales encargadas de dar seguimiento en este rubro para un manejo más eficaz. La implementación de esta tecnología pretende mejorar la calidad de los cultivos, reducir pérdidas y promover prácticas agrícolas sustentables.

**Palabras clave:** aplicación móvil; inteligencia artificial; moniliasis; cacao; agricultura sostenible.

## ABSTRACT

The mobile application that implements Artificial Intelligence arises from the need to detect the presence of diseases in cocoa, specifically the moniliasis fungus (*moniliophthora roreri*) in cocoa plantations in the municipality of the Center of the state of Tabasco. This disease seriously affects cocoa production, causing losses of up to 90%. Likewise, this application not only allows detecting moniliasis through the semantic segmentation of cocoa images, but also facilitates communication between farmers and government agencies in charge of monitoring this area for more effective management. The implementation of this technology aims to improve the quality of crops, reduce losses and promote sustainable agricultural practices.

**Keywords:** mobile application; artificial intelligence; moniliasis; cocoa; sustainable agriculture.

Recibido: 21/06/2024

Aceptado: 18/12/2024

## Introducción

La producción de cacao en Tabasco, México, es un pilar fundamental para la economía local y la cultura de la región. Sin embargo, enfrenta una crisis severa debido a la moniliasis, una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*. Desde su aparición en 2005, esta enfermedad ha provocado pérdidas devastadoras con reducciones de hasta el 90% en la producción según datos en los últimos años (Cevestab, 2021), hoy en día la producción de cacao en Tabasco ha disminuido en un 43.2%, lo que representa una pérdida económica de aproximadamente \$3,457,000 dólares. Este fenómeno no solo afecta a los agricultores y sus familias, sino que también impacta negativamente en la capacidad de exportación, genera un aumento del desempleo y la pobreza en la región. Por otra parte, el cambio climático, el envejecimiento de las plantaciones y la falta de herramientas tecnológicas adecuadas agravan aún más esta situación (Rural, 2022).

A pesar de que Tabasco posee más de 40,000 hectáreas dedicadas al cultivo del cacao, muchas de estas plantaciones están envejecidas y carecen de un manejo adecuado. Esto ha llevado al abandono de tierras y a la disminución en la calidad del producto, lo que impacta directamente a la reducción de su precio en el mercado (Rural, 2022; Carrasco-De La Cruz; Olivo-Vidal *et al.*, 2023).

En este contexto crítico se desarrolla una aplicación móvil, cuyo objetivo es implementar una solución innovadora basada en inteligencia artificial para identificar y gestionar la moniliasis en los cacaotales. La aplicación no solo busca facilitar la identificación temprana del hongo mediante fotografía, sino que también establece un canal de comunicación directo entre los agricultores y las dependencias gubernamentales encargadas del control fitosanitario; además proporciona un acceso rápido a la información sobre tratamientos sustentables y permite el registro de la producción. Finalmente, dicha aplicación contribuye a transformar las prácticas agrícolas en la región y mejorar la calidad del cacao producido.

## **Accesibilidad y diseño universal**

En este contexto, el diseño de la aplicación móvil se desarrolló siguiendo principios de accesibilidad, con un enfoque en el diseño universal. Este concepto se refiere al diseño de productos que sean utilizables por todas las personas, sin necesidad de adaptación o un diseño especializado. Al aplicar el diseño universal, la aplicación móvil asegura de que los agricultores, independientemente de sus habilidades tecnológicas o limitaciones físicas, puedan interactuar con la aplicación de manera efectiva e intuitiva, diseñada para ser comprensible por usuarios con diferentes niveles de alfabetización tecnológica. Esta característica es especialmente importante en las comunidades agrícolas, donde muchas personas pueden no estar familiarizadas con el uso de tecnologías avanzadas. La aplicación también ha sido optimizada para funcionar en dispositivos móviles Android, lo que permite un acceso más amplio debido a la prevalencia de estos dispositivos en zonas rurales.

Además de la simplicidad de la interfaz, no se requiere una conexión constante a Internet para operar. Esta característica es crucial en las regiones rurales donde el acceso a internet es limitado o inexistente. El hecho de que los agricultores puedan tomar fotografías y obtener diagnósticos sin necesidad de estar conectados asegura que las barreras tecnológicas no interfieran en el uso de la aplicación. Este enfoque refuerza el objetivo de accesibilidad, garantizando que incluso aquellos con restricciones de infraestructura tecnológica puedan beneficiarse de la herramienta.

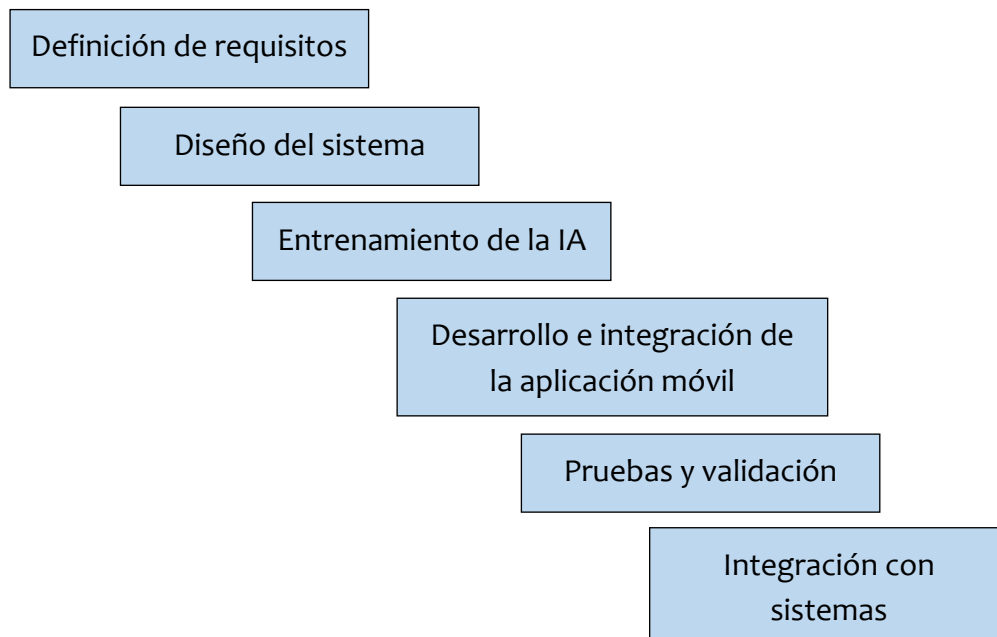
La accesibilidad tecnológica también implica atender las necesidades de grupos vulnerables, incluidas las personas con discapacidad. En este sentido, el diseño de la aplicación ha considerado principios de usabilidad, lo que incluye el uso de tipografías legibles, la optimización de colores para facilitar la lectura y la navegación, y la minimización de pasos en el proceso de diagnóstico. Lo cual facilita que personas con discapacidades visuales, motrices o cognitivas puedan utilizar la aplicación sin dificultad.

La aplicación móvil no solo tiene un impacto positivo en el ámbito agrícola, sino que también contribuye a la inclusión social y tecnológica de comunidades rurales y personas con discapacidades. Al promover el diseño accesible y universal, la herramienta combate indirectamente la brecha digital, acercando a los agricultores a tecnologías avanzadas que anteriormente podrían haber sido percibidas como inaccesibles o

complejas. Esta inclusión no solo mejora la calidad de vida de los usuarios, sino que también fomenta un desarrollo económico y social más equitativo.

## Métodos o Metodología Computacional

El desarrollo de la aplicación móvil siguió una metodología orientada a la ingeniería de software ágil, enfocada en la creación de un sistema de reconocimiento visual mediante Inteligencia Artificial (IA) para la identificación del hongo de la moniliasis en los cacaotales. La solución implementó Redes Neuronales Convolucionales (CNN), específicamente la arquitectura U-net, para realizar segmentación semántica de imágenes (Badillo; Hernández *et al.*, 2021; Lozada-Portilla; Suarez-Barón *et al.*, 2021; Eunice; Popescu *et al.*, 2022; Ahmad; Saraswat *et al.*, 2023). A continuación, se detallan las fases principales del desarrollo:



**Fig. 1** - Fases de desarrollo.

## 2.1. Definición de requisitos

Se realizó una fase inicial de obtención de requisitos donde se identificaron las necesidades de los agricultores y dependencias gubernamentales (usuarios claves). Además, se especificó que el sistema debía ser capaz de operar de manera offline, tener una interfaz de usuario simplificada para personas con limitado acceso a tecnologías, y ser compatible con dispositivos móviles Android. También se definió que el modelo de IA debía ser altamente preciso en la detección de la moniliasis, dadas las graves pérdidas económicas que esta enfermedad genera en la región.

## 2.2. Diseño del sistema

El diseño del sistema se estructuró bajo el principio de arquitectura de microservicios, separando las funcionalidades del análisis de imágenes y la interacción con los usuarios (Cano Ortega and Pineda Molina, 2023). La aplicación móvil fue desarrollada en Flutter (Dart) para su integración multiplataforma, aunque se focalizó en Android por su amplia utilización en las zonas rurales (Bailey and Biessek, 2021). El backend se implementó en Python usando el framework Django (Kumar; Arthi *et al.*, 2024), mientras que la base de datos se gestionó con MariaDB para el almacenamiento de imágenes y registros de diagnóstico.

## 2.3. Entrenamiento del modelo de IA

El modelo de IA fue entrenado utilizando redes neuronales convolucionales (CNN), particularmente la arquitectura U-net, que es ideal para la segmentación de imágenes (Fuentes Acosta; Primo Barrios *et al.*, 2022; Konovalenko; Maruschak *et al.*, 2022; Anand; Gupta *et al.*, 2023). Se alimentó el modelo con imágenes de los cacaotales afectados por moniliasis en diversas etapas de infección, lo que permitió ajustar los hiperparámetros del modelo para optimizar la precisión en la identificación. El entrenamiento se realizó utilizando TensorFlow, con aceleración por GPU para reducir los tiempos de entrenamiento y mejorar la eficiencia computacional (Ferrer Martínez, 2021; Kiran, 2021; Dai; Peng *et al.*, 2022; Hernández González, 2023).

## **2.4. Desarrollo e integración de la aplicación móvil**

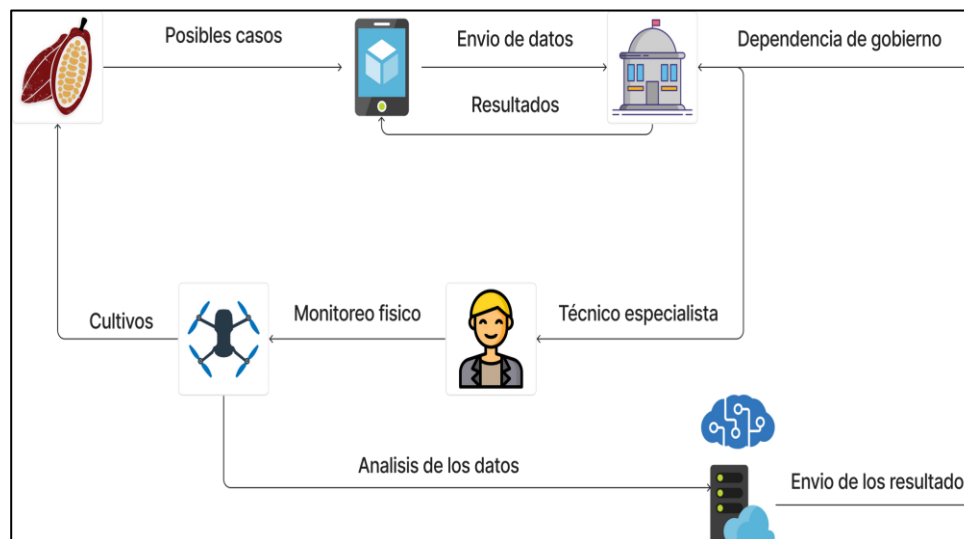
La aplicación móvil se diseñó con una interfaz de usuario (UI) accesible, basada en principios de usabilidad y diseño inclusivo. Además, se implementó la funcionalidad de captura de imágenes para los agricultores, que permite que las fotografías sean procesadas por el modelo de IA y que se proporcione un diagnóstico sobre la presencia y etapa de la enfermedad. El diseño, también incluyó una lógica de interacción offline que permite a los usuarios capturar y almacenar imágenes localmente cuando no tienen conexión a internet, y sincronizarlas cuando se restablezca la conectividad.

## **2.5. Pruebas y validación**

Las pruebas del sistema siguieron de una estrategia de pruebas en campo combinadas con pruebas de laboratorio; por lo cual se llevaron a cabo muestras para verificar la eficacia del modelo en escenarios reales en plantaciones de cacao de los productores de la localidad de R/A. González 2da. Sección del municipio del Centro, Tabasco. Además, se implementaron pruebas funcionales, de usabilidad y de rendimiento, tanto en la clasificación de imágenes como en la fluidez de la experiencia del usuario, bajo condiciones de conectividad limitada.

## **2.6. Integración con sistemas gubernamentales**

Una vez verificada la estabilidad del sistema, se integraron las funcionalidades para que los agricultores pudieran enviar reportes directamente al Organismo descentralizado encargado de establecer campañas y/o proyectos de prevención control y combate de plagas y enfermedades en los cultivos de la entidad; el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tabasco (CEVESTAB), así como también con las dependencias gubernamentales destinadas a implementar apoyos al campo, la SEDAFOP y la SADER, para facilitar esta comunicación entre las diferentes entidades se utilizó la API RESTful. Esto permitió automatizar el proceso de alerta sobre brotes de moniliasis y coordinar el seguimiento de los cultivos afectados.

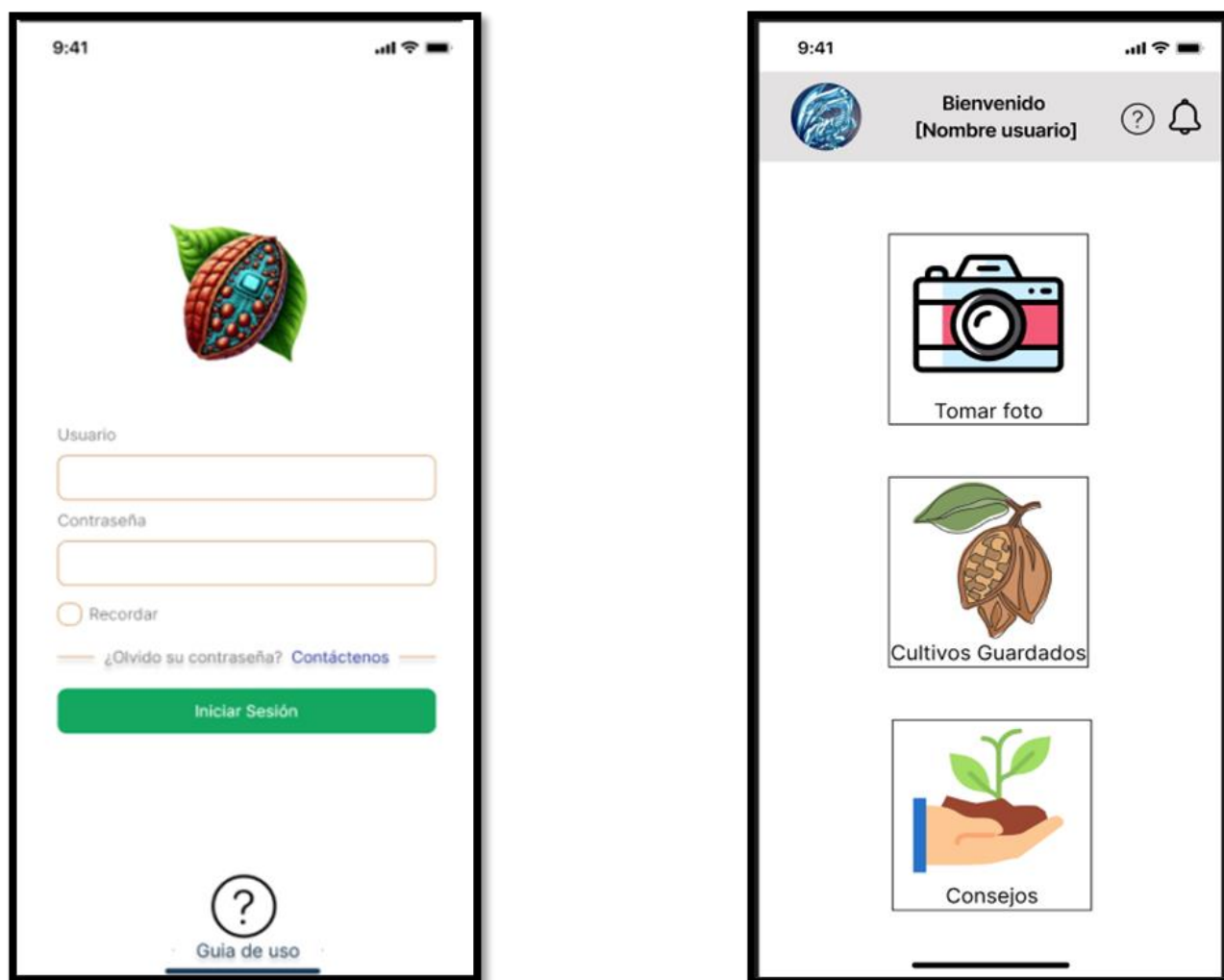


**Fig. 2** - Diagrama representativo de los elementos involucrados en la aplicación móvil.

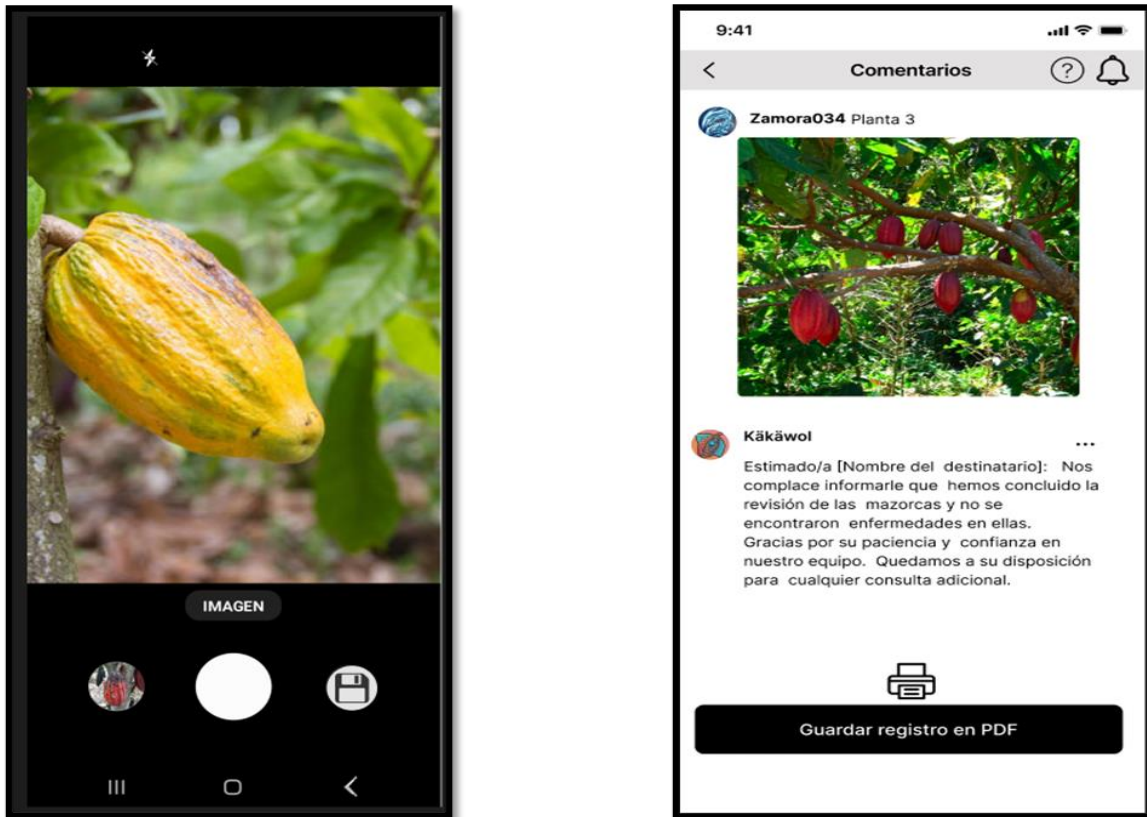
## Resultados y discusión

A continuación, se muestran las interfaces principales de la aplicación móvil:





**Fig. 3** - Registro y acceso a la aplicación / Menú principal.



**Fig. 4** - Toma de la imagen de la mazorca del cacao / Resultados del diagnóstico.

Adicionalmente, podemos mencionar los siguientes resultados obtenidos desde una perspectiva técnica, pero también su impacto en las prácticas agrícolas:

### **3.1. Precisión y eficiencia del modelo de IA**

El modelo de U-net entrenado en el sistema alcanzó una precisión del 95% en la detección de la moniliasis a partir de imágenes de los cacaotales. Comparado con otros algoritmos como YOLOv4, que obtienen una precisión entre 60% y 80% para la detección de objetos irregulares, U-net demostró ser más eficaz en la segmentación de áreas afectadas por el hongo, lo cual es indispensable para el diagnóstico temprano de la

enfermedad. Además, la segmentación semántica permitió identificar las diferentes fases de la infección, lo que proporcionó información más granular para la intervención en los cultivos.

### **3.2. Optimización del flujo de trabajo agrícola**

La implementación de la aplicación ha permitido a los agricultores mitigar las pérdidas derivadas de la moniliasis en aproximadamente un 30%, gracias a la detección temprana. Esto ha resultado en un manejo más eficiente de los cultivos, ya que los agricultores pueden tomar medidas preventivas antes de que la enfermedad se propague y afecte severamente su producción.

### **3.3. Generación de bases de datos para toma de decisiones**

La aplicación no solo proporciona diagnósticos, sino que también ha sido instrumental en la creación de una base de datos regional sobre la incidencia de moniliasis. Esta base de datos será accesible por las dependencias gubernamentales, lo que les permitirá realizar un seguimiento más preciso de los brotes de la enfermedad y gestionar recursos de manera más eficiente. Además, la base de datos facilita el análisis de patrones en la distribución de la enfermedad y su relación con factores ambientales.

### **3.4. Inclusión tecnológica y reducción de la brecha digital**

El diseño accesible de la aplicación, la cual es compatible con dispositivos Android y opera sin conexión a internet, lo que ha permitido aumentar la adopción tecnológica entre los agricultores, y que les ha proporcionado una herramienta accesible a comunidades no dejándolas excluidas de los avances tecnológicos debido a barreras económicas o geográficas. Además contribuye a la reducción de la brecha digital en las zonas rurales de Tabasco, empoderando a los agricultores para mejorar su producción y gestión de cultivos con tecnologías modernas.

### **3.5. Impacto en la sostenibilidad agrícola**

La aplicación móvil promueve el uso de prácticas agrícolas sustentables, al incluir un catálogo de tratamientos no basados en agroquímicos. Esto no solo reduce la dependencia de pesticidas, sino que

también mejora la salud del suelo y la biodiversidad de los cultivos, contribuyendo a una mayor sostenibilidad a largo plazo en la producción de cacao.

## Conclusiones

La aplicación móvil representa un avance disruptivo en la integración de tecnologías avanzadas para la gestión fitosanitaria del cacao, particularmente en el control de la moniliasis. Desde un enfoque de ingeniería de software aplicada al sector agrícola, la utilización de inteligencia artificial (IA) mediante redes neuronales convolucionales optimiza significativamente la detección y diagnóstico de enfermedades en tiempo real, lo que permite a los productores de cacao gestionar de manera más eficiente sus cultivos. Los beneficios que pudimos identificar son:

1. **Optimización de recursos y reducción de costos:** porque empodera a los agricultores al proporcionarles una herramienta automatizada y accesible, que minimiza la dependencia de expertos en el campo. Gracias al análisis avanzado de imágenes y la segmentación semántica de las mazorcas de cacao, los productores pueden identificar el estado de la infección por moniliasis de manera precisa y en fases tempranas. Esto les permite una intervención rápida y focalizada, optimizando los recursos financieros y reduciendo el uso excesivo de tratamientos químicos.
2. **Toma de decisiones informadas:** El acceso a diagnósticos en tiempo real facilita la implementación de estrategias de manejo integrado de plagas (MIP), promoviendo prácticas agrícolas más responsables y eficientes. Además, la posibilidad de operar sin conexión a internet asegura que los agricultores, incluso en áreas remotas, puedan beneficiarse de esta tecnología. Y al incorporar un catálogo de tratamientos sustentables en su plataforma, la aplicación fomenta el uso de alternativas menos agresivas para el medio ambiente, lo que contribuye a la salud del suelo y la sostenibilidad del ecosistema agrícola. Este enfoque integral puede revitalizar la industria del cacao en Tabasco y garantizar la calidad y viabilidad económica a futuro.

- 3. Colaboración efectiva con entidades gubernamentales:** La aplicación establece canales de comunicación directos con dependencias gubernamentales (como CEVESTAB, SEDAFOF y SADER), lo que optimiza la coordinación y respuesta ante brotes de moniliasis. Esta integración mejora la gestión de campañas fitosanitarias a nivel regional, permitiendo un uso más eficiente de los recursos públicos y privados en la lucha contra la enfermedad.

Finalmente, podemos concluir que esta aplicación no solo responde a una necesidad crítica en el manejo de plagas y enfermedades en el cacao, sino que establece las bases para un futuro tecnológicamente avanzado y sostenible en el sector agrícola.

## Referencias

- Cevestab. (2021). *Informe Sobre Moniliasis En Cacaotales. Centro De Estudios Y Vigilancia Epidemiológica Del Estado De Tabasco.*
- Rural, S. D. A. Y. D. (2022). *Investigaciones Forestales Agrícolas Y Pecuarias. Impacto Económico De Enfermedades En Cultivos.*
- Carrasco-De La Cruz, T. P.; Z. E. Olivo-Vidal; J. A. Sánchez-Peregrino And P. Mendoza-Lorenzo (2023). Evaluación Del Efecto Antifúngico Del Sulfato De Cobre (Ii) Pentahidratado En Moniliophthora Roreri. *Journal Of Basic Sciences*, 9(25): 8-18.
- Badillo, F. L.; C. A. R. Hernández; B. M. Narváez And Y. E. A. Trillos (2021). Redes Neuronales Convolucionales: Un Modelo De Deep Learning En Imágenes Diagnósticas. Revisión De Tema. *Revista Colombiana De Radiología*, 32(3): 5591-5599.
- Lozada-Portilla, W. A.; M. J. Suarez-Barón And E. Avendaño-Fernández (2021). Aplicación De Redes Neuronales Convolucionales Para La Detección Del Tizón Tardío Phytophthora Infestans En Papa Solanum Tuberosum. *Revista Udca Actualidad Divulgación Científica*, 24(2).

- Eunice, J.; D. E. Popescu; M. K. Chowdary And J. Hemanth (2022). Deep Learning-Based Leaf Disease Detection In Crops Using Images For Agricultural Applications. *Agronomy*, 12(10): 2395.
- Ahmad, A.; D. Saraswat And A. El Gamal (2023). A Survey On Using Deep Learning Techniques For Plant Disease Diagnosis And Recommendations For Development Of Appropriate Tools. *Smart Agricultural Technology*, 3: 100083.
- Cano Ortega, C. And J. Pineda Molina (2023). Desarrollo De Una Aplicación Móvil Para La Detección De Enfermedades En Los Frutos De Cacao.
- Bailey, T. And A. Biessek. (2021). *Flutter For Beginners: An Introductory Guide To Building Cross-Platform Mobile Applications With Flutter 2.5 And Dart*. Packt Publishing Ltd. 1800562365
- Kumar, D. M.; R. Arthi; M. Gokulakrishnan; T. P. Kumar And S. Vejaysuriyaa (2024). *A Food Wastage Reduction App Based On Django Python Application. 2024 3rd International Conference On Applied Artificial Intelligence And Computing (Icaaic)*. Ieee: 1200-1203. 9798350375190.
- Fuentes Acosta, M. E.; C. A. Primo Barrios And J. P. Ricardo Ariza (2022). Aplicación De Algoritmos De Visión Por Ordenador (Redes Neuronales Convolucionales) Para La Segmentación Celular En Imágenes De Microscopía Enfocado En Células Neuronales.
- Konovalenko, I.; P. Maruschak; J. Brezinová; O. Prentkovskis And J. Brezina (2022). Research Of U-Net-Based Cnn Architectures For Metal Surface Defect Detection. *Machines*, 10(5): 327.
- Anand, V.; S. Gupta; D. Koundal And K. Singh (2023). Fusion Of U-Net And Cnn Model For Segmentation And Classification Of Skin Lesion From Dermoscopy Images. *Expert Systems With Applications*, 213: 119230.
- Ferrer Martínez, C. (2021). Sistema De Monitorización Y Detección De Plagas En Cultivos Aplicando Algoritmos De Deep Learning.
- Kiran, T. (2021). Deep Inceptionism Learning Performance Analysis Using Tensorflow With Gpu-Deep Dream Algorithm. *Journal Of Emerging Technologies Innovative Research*, 8: 322-328.
- Dai, H.; X. Peng; X. Shi; L. He; Q. Xiong And H. Jin (2022). Reveal Training Performance Mystery Between Tensorflow And Pytorch In The Single Gpu Environment. *Science China Information Sciences*, 65: 1-17.

Hernández González, N. (2023). Análisis De Rendimiento De Modelos Basados En Aprendizaje Por Transferencia Con Tensorflow Y Tensorrt.

### **Conflicto de interés**

El autor autoriza la distribución y uso de su artículo.

### **Contribuciones de los autores**

Conceptualización: Arcely Aquino Ruíz.

Curación de datos: Arcely Aquino Ruíz.

Análisis formal: Dulce María León de la O

Investigación: Raymundo García Mínguez

Metodología: Dulce María León de la O

Administración del proyecto: Arcely Aquino Ruíz.

Software: José Ney Garrido Vázquez

Supervisión: Dulce María León de la O

Validación: Carlos Raúl Muñoz Rodríguez

Visualización: Dulce María León de la O

Redacción – borrador original: Arcely Aquino Ruíz

Redacción – revisión y edición: Raymundo García Mínguez