

RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES BASADO EN IA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE *MONILIOPHTHORA ROERI* EN GRANOS DE THEOBROMA CACAO

César Augusto Campos Rodríguez ⁽¹⁾

1. Piloto UAS, Técnico en IoT, Ingeniero en Mecatrónica, Servicio Nacional de Aprendizaje. Facilitador Robótica. Grupo de investigación GIDIS, Ibagué, Colombia.
ccamposr@sena.edu.co

RESUMEN

Este proyecto de la Tecnoacademia Tolima busca desarrollar un sistema de visión por computadora para la detección temprana de la plaga *Moniliophthora roreri*, que afecta los cultivos de cacao en la región. Utilizando tecnologías como drones, robots móviles y cámaras de alta resolución, los aprendices han explorado la adquisición y análisis de imágenes mediante inteligencia artificial (IA), específicamente redes neuronales convolucionales (CNN). Se ha generado un repositorio de imágenes y una guía tecnológica que identifica las plataformas más adecuadas para la implementación de un sistema de visión por computadora. El objetivo final es entrenar un modelo de IA con un conjunto robusto de imágenes, permitiendo una identificación precisa de la plaga y contribuyendo a la sostenibilidad del cacao en Colombia. El proyecto también resalta la necesidad de crear un repositorio público de imágenes que facilite el desarrollo de soluciones tecnológicas para el sector agrícola.

Palabras Claves:

Agricultura de precisión, cacao, inteligencia artificial, plagas agrícolas, visión por computadora.

ABSTRACT

This project by Tecnoacademia Tolima aims to develop a computer vision system for the early detection of the *Moniliophthora roreri* pest, which affects cacao crops in the region. Using technologies such as drones, mobile robots, and high-resolution cameras, the apprentices have explored image acquisition and analysis through artificial intelligence (AI), specifically convolutional neural networks (CNN). An image repository and a technological guide identifying the most suitable platforms for implementing a computer vision system have been created. The ultimate goal is to train an AI model with a robust set of images, enabling precise pest identification and contributing to the sustainability of cacao in Colombia. The project also highlights the need to create a public image repository to facilitate the development of technological solutions for the agricultural sector.

Keywords:

Agricultural pests, artificial intelligence, cacao, computer vision, precision agriculture.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo de gran relevancia para la economía agrícola de Colombia, especialmente en departamentos como Tolima, donde las condiciones climáticas y geográficas favorecen su producción (IGAC, 2019). Sin embargo, la plaga *Moniliophthora roreri*, conocida como "monilia", representa una amenaza significativa para la sostenibilidad de los cultivos de cacao. Esta plaga fúngica afecta los frutos, reduciendo la calidad y el rendimiento de la producción, con consecuencias económicas graves para los agricultores. Tradicionalmente, el control de esta plaga ha dependido de métodos manuales que son ineficaces y costosos, y que no permiten una detección temprana (Manejo, s.f.).

En este contexto, el uso de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y los sistemas de visión por computadora surge como una solución prometedora. Este proyecto, desarrollado por la **Tecnoacademia Tolima**, busca diseñar e implementar un sistema de detección temprana de la plaga utilizando drones, robots móviles y cámaras de alta resolución. A través del uso de redes neuronales convolucionales (CNN), se procesan imágenes para identificar la presencia de la plaga en etapas iniciales, lo que permitiría a los agricultores implementar medidas correctivas de manera oportuna.

El proyecto no solo apunta a mejorar la productividad y calidad del cacao, sino que también subraya la importancia de crear un repositorio público de imágenes que sirva de base para futuros desarrollos tecnológicos en la agricultura de precisión. Con ello, se espera contribuir de manera significativa a la sostenibilidad del cacao en Colombia, incorporando tecnologías innovadoras que optimicen los recursos y minimicen el impacto ambiental.

ESTADO DEL ARTE

El cacao es un cultivo fundamental para la economía colombiana, especialmente en departamentos como Tolima, que tienen un alto potencial agrícola debido a sus características climáticas y geográficas (IGAC, 2019). No obstante, la producción de cacao en Colombia ha sufrido altibajos, con una disminución del 10% en

2022, atribuida en parte a factores climáticos adversos, como las lluvias intensas que afectan las plantaciones (Revista SwissInfo, 2023; FEDECACAO, 2022). Estas condiciones adversas no solo afectan la producción, sino que también crean un entorno favorable para la proliferación de plagas, entre ellas la *Moniliophthora roreri*, comúnmente conocida como *Molinilla roeri*, que es una de las amenazas más importantes para el cacao (Manejo, s.f.).

Este contexto subraya la necesidad urgente de soluciones tecnológicas que permitan una identificación temprana y precisa de la plaga, de manera que los productores puedan implementar medidas de control eficaces. Una de las tecnologías emergentes con gran potencial en este ámbito es la inteligencia artificial (IA), aplicada en la detección y monitoreo de plagas mediante sistemas de visión por computadora. El uso de inteligencia artificial ha revolucionado la agricultura de precisión, permitiendo la automatización de procesos y optimizando la toma de decisiones a partir de grandes volúmenes de datos. En particular, el reconocimiento de imágenes, basado en técnicas avanzadas de IA como las redes neuronales convolucionales (CNNs), ha mostrado ser eficaz en la identificación de plagas en los cultivos (Awudzi et al., 2016).

Las CNNs son especialmente útiles para el análisis de imágenes, ya que tienen la capacidad de identificar patrones complejos en las imágenes mediante una serie de capas convolutivas que permiten extraer características relevantes (Barbedo, 2013). A medida que las capas procesan la información visual, el modelo "aprende" a reconocer patrones específicos, como las señales visuales características de infestación por *Molinilla roeri* en los granos de cacao. Estudios previos han demostrado que la aplicación de CNNs en la identificación de plagas puede ser particularmente exitosa en cultivos altamente vulnerables, como el cacao, debido a la capacidad de estos sistemas para diferenciar entre granos sanos y aquellos afectados por la plaga (Ferentinos, 2018). Además, la IA no solo ofrece precisión, sino también velocidad en el procesamiento de grandes cantidades de imágenes, lo que permite una detección temprana, crucial para el manejo de la plaga.

La moniliasis es una enfermedad devastadora causada por *Moniliophthora roreri*, un hongo que afecta los frutos del cacao, reduciendo drásticamente el rendimiento y la calidad del producto. El hongo se propaga en condiciones húmedas y lluviosas, lo que lo convierte en una amenaza persistente en regiones como Tolima, donde las condiciones climáticas pueden ser propicias para su expansión (Vázquez et al., 2022). Debido a su capacidad para propagarse rápidamente, los métodos tradicionales de control de plagas, como la inspección visual y la aplicación de fungicidas, suelen ser insuficientes. Además, estas prácticas conllevan riesgos ambientales y costos elevados. En este sentido, el uso de herramientas tecnológicas como drones y cámaras de alta resolución, combinadas con algoritmos de IA, ofrece una solución innovadora para el monitoreo de cultivos. Estas tecnologías permiten la captura de imágenes en tiempo real, que luego son procesadas por sistemas de IA para detectar signos tempranos de la enfermedad.

La implementación de IA para la identificación de plagas en el cacao se enmarca en el concepto de agricultura de precisión, que busca optimizar los recursos y minimizar el impacto ambiental mediante el uso eficiente de tecnologías avanzadas. En el caso de la identificación de plagas, el uso de drones equipados con cámaras de alta resolución permite capturar imágenes detalladas de las plantaciones. Estas imágenes son luego analizadas por sistemas de IA que utilizan CNNs para identificar áreas infestadas (Almeida & Valle, 2007). Por ejemplo, el estudio de Awudzi et al. (2016) destaca el uso de sistemas complementarios de monitoreo para optimizar el control de plagas en las plantaciones de cacao. Estos sistemas integran técnicas de reconocimiento de imágenes con datos adicionales, como la temperatura y humedad, lo que mejora la precisión en la detección de plagas y permite una intervención temprana. Este enfoque podría aplicarse directamente en el caso de la *Molinilla roeri*, utilizando CNNs entrenadas específicamente para detectar los signos visuales de esta plaga en los granos de cacao.

El reconocimiento de imágenes mediante IA ha evolucionado significativamente en los últimos años. En estudios recientes, Barbedo (2013) y Ferentinos (2018) demostraron que las CNNs pueden ser entrenadas para detectar de manera precisa diversas plagas y enfermedades en cultivos

como el cacao. Estos estudios resaltan la importancia de disponer de conjuntos de datos robustos y representativos que permitan al modelo aprender las características visuales de las plagas de manera efectiva. El estudio de Ferentinos (2018) mostró que los modelos de aprendizaje profundo, cuando se aplican al diagnóstico de enfermedades en las plantas, alcanzan tasas de precisión superiores al 90%. Esto sugiere que un modelo bien entrenado puede ser una herramienta poderosa para los agricultores, ayudándoles a tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus cultivos.

En resumen, la aplicación de tecnologías de IA para el reconocimiento de imágenes en la agricultura representa un avance significativo en la lucha contra plagas como *Molinilla roeri*. La capacidad de las CNNs para analizar imágenes y detectar signos tempranos de infestación ofrece a los agricultores una herramienta valiosa para gestionar de manera más eficiente sus cultivos. Además, la adopción de estas tecnologías no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir el uso de pesticidas y minimizar el impacto ambiental. Es evidente que, dado el contexto de la producción de cacao en Colombia y los desafíos que enfrenta debido a las plagas y las condiciones climáticas, la implementación de estas innovaciones tecnológicas es fundamental para garantizar la viabilidad a largo plazo del cultivo del cacao en regiones como Tolima.

RESULTADOS

Este proyecto en curso de la Tecnoacademia Tolima ha sido una importante experiencia de investigación formativa para los aprendices del semillero IDEATEC pues además de abordar áreas de la tecnología como la visión por computadora, la robótica móvil y los drones, ha permitido explorar conceptos agro industriales propios de los cultivos de cacao de la región Tolimense, enriqueciendo así la cultura local de este cultivo y las posibilidades de aportar a soluciones, tales como la identificación temprana de plagas como la *M. Roeri* que tanto afectan a los granos de este cultivo.



Imagen 1. Aprendiz Semillerista en sesión de captura de imágenes con medios digitales.

Fuente: Sara Castro, semillerista IDEATEC.



Imagen 2. Plataforma robótica ROBOMASTER S1

Fuente: Juan Camilo Arboleda, Semillerista IDEATEC.

En un enfoque STEAM e implementando la metodología de aprendizaje basado en proyectos se han desarrollado actividades que buscan alcanzar los objetivos propuestos, el primero de ellos, se centró en apropiar los conceptos de imagen, su captura por medios digitales y la exploración tecnológica de diferentes escenarios en campo que permitieron adquirir de una manera práctica

conceptos propios de la visión por computadora en su fase de adquisición.

Estas actividades involucraron no solo dispositivos tecnológicos como cámaras digitales, sino que también involucraron otras tecnologías como robots móviles, drones y sistemas embebidos, dando la posibilidad de conocer una diversa gama de tecnologías que más adelante serían estudiadas en cuanto a su pertinencia para la implementación de un sistema de visión por computadora. Finalmente, el producto obtenido fue un repositorio digital de imágenes utilizando la plataforma didáctica ClassDojo la cual permite de manera interactiva alojar y socializar estos productos multimedia entre los miembros del semillero en el área de robótica para su posterior uso.

El segundo objetivo propuesto en el proyecto fue la generación de una guía de selección tecnológica para implementar el sistema de visión por computadora, en esta guía de selección los aprendices empezaron con la recopilación de antecedentes tecnológicos en el mundo y la región, estudiando las características técnicas de los dispositivos tecnológicos utilizados: Robomaster S1, Robomaster TT, Mavic Mini 3, Raspberry Pi 3, Robot AGROT basado en ESP32CAM y Tello rize.

Mediante prácticas en campo se logró determinar aspectos como: costo, facilidad de uso, procesamiento, detección de imágenes y adaptabilidad en terrenos agrícolas, para finalmente lograr su análisis, identificación y evaluación, concluyendo con la guía de selección que fue generada con estos insumos, obteniendo que de las plataformas utilizadas el drone Mavic mini 3, el robot AGROT basado en ESP32CAM y la Raspberry Pi 3 eran las plataformas más completas para la implementación futura de un sistema de visión por computadora que brindara fiabilidad para la identificación de la plaga en el grano de cacao.

Plataforma	Costo Aproximado	Facilidad de Uso	Capacidad de Procesamiento	Precisión en la Detección	Adaptabilidad a Entornos Agrícolas
RoboMaster S1	\$550 - \$600	Alta (soporte educativo)	Media (basada en Raspberry Pi 3)	Alta (cámara HD y sensores avanzados)	Media (limitado a terreno llano)
RoboMaster TT	\$240 - \$280	Alta (programación fácil)	Media (procesador de vuelo ligero)	Media (cámara de menor calidad)	Media (buena maniobrabilidad aérea)
DJI Mavic Mini 3	\$450 - \$500	Media (requiere algo de experiencia)	Alta (procesador potente para IA)	Alta (cámara 4K y sensores)	Alta (excelente para aéreas)
DJI Tello Ryze	\$100 - \$120	Alta (orientado a principiantes)	Baja (procesamiento limitado)	Baja-Media (cámara 720p)	Media (buena maniobrabilidad aérea)
Raspberry Pi 3 + Cámara	\$60 - \$100	Media (requiere conocimientos de programación)	Media-Alta (depende de la configuración)	Media (dependiente de cámara y software)	Alta (flexible en implementación)
ESP32-CAM	\$10 - \$15	Media (requiere conocimientos de programación)	Baja-Media (limitado procesamiento)	Baja-Media (cámara de menor calidad)	Media (adaptable, pero limitada)

Tabla 1. Resultado de guía de selección.

Fuente: Autores.

Las pruebas de campo fueron cruciales para la consecución de este objetivo, en ellas se logró conocer más a fondo la dinámica biológica tanto del cultivo como del hongo, el entorno de un cultivo de cacao y los desafíos de movimiento que para el caso específico del robot AGROT, logró superar de manera exitosa. El tercer objetivo, el cual al momento de escribir este artículo aún está en curso, se basa finalmente en implementar un modelo de código abierto de visión por computadora en las plataformas elegidas, para esto se estableció un diagrama de flujo con el funcionamiento de la red neuronal a implementar.

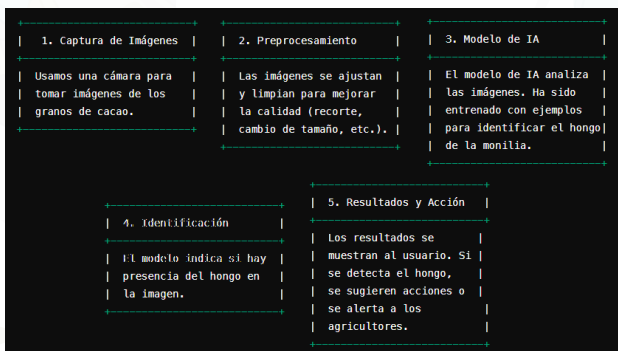


Imagen 3. Diagrama de flujo de funcionamiento la red neuronal propuesta.

Fuente: Autores

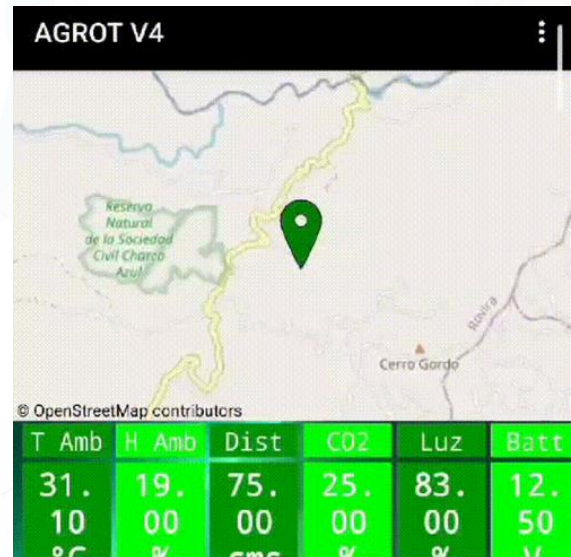


Imagen 4. Interfaz hombre máquina del robot AGROT en funcionamiento.

Fuente: Autores.



Imagen 5. Imágenes de granos de cacao infectados con monilia en diferentes fases.

Fuente: Autores.

Este último detalle no se tuvo en cuenta al plantear el proyecto y es realmente el aspecto innovador del mismo pues abre la puerta a la creación de un repositorio público, no solo de la plaga estudiada sino de diversas plagas que afectan los cultivos de cacao, para de esta manera utilizando herramientas tecnológicas como por ejemplo el robot AGROT, puedan ser de gran ayuda para la detección temprana de enfermedades y mejoren sustancialmente la calidad de los cultivos y su producto obtenido.

CONCLUSIONES

1. Importancia del Cacao en Colombia.

El cacao es crucial para la producción agroindustrial en Colombia, aportando significativamente a la

economía rural y generando empleo. Su desarrollo puede posicionar al país como líder en cacao fino y de aroma, mejorando la calidad de vida en las comunidades agrícolas y diversificando la economía nacional.

2. Uso de Tecnología e IA en Agroindustria.

La tecnología y la IA mejoran la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola, permitiendo la detección temprana de enfermedades y optimizando recursos. La adopción de estas herramientas fomenta la innovación y convierte al sector agroindustrial en un pilar moderno y competitivo.

3. Importancia de un Repositorio Abierto de Imágenes.

Un repositorio abierto de imágenes de enfermedades del cacao es esencial para desarrollar sistemas de IA precisos. La falta de acceso a estos datos es un obstáculo importante. Compartir y colaborar en la creación de repositorios acelera el desarrollo tecnológico y fomenta una agricultura más resiliente.

REFERENCIAS

- IGAC (2019). Tolima, uno de los departamentos con mayor potencial agrícola en Colombia recuperado el 2 de marzo de 2023 de: <https://www.igac.gov.co/es/noticias/tolima-uno-de-los-departamentos-con-mayor-potencial-agricola-en-colombia>
- Revista SwissInfo (2023). La producción del cacao en Colombia se disminuyó un 10% en 2022. recuperado el 4 de marzo de 2023 de: https://www.swissinfo.ch/spa/colombia-cacao_la-producci%C3%B3n-del-cacao-en-colombia-se-disminuy%C3%B3-un-10---en-2022/48267402
- FEDECACAO (2022). Año cacaotero 2021-2022 cierra con descenso en producción por intensas lluvias. Recuperado el 5 de marzo de 2023 de: <https://www.fedecacao.com.co/post/a%C3%B1o-cacaotero-2021-2022-cierra-con-descenso-en-producci%C3%B3n-por-intensas-lluvias>
- KUBOTA (2020). Kubota Concept Tractor. Recuperado el 6 de marzo de 2023 de: <https://www.kubota.com/innovation/concept-tractor/index.html>
- Manejo, E. Y. (s/f). LA MONILIASIS DEL CACAO: Agrosavia.co. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <https://www.agrosavia.co/media/11540/69317.pdf>
- Efecto del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo moniliophthora roreri y el cultivo de cacao (theobroma cacao) en ecuador continental. Revista Terra Latinoamericana, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1151>
- Awudzi, G. K., Cudjoe, A., Hadley, P., Hatcher, P. E., & Daymond, A. J. (2016). Optimizing mirid control on cocoa farms through complementary monitoring systems. Journal of Applied Entomology, 141(4), 247-255. <https://doi.org/10.1111/jen.12332>
- Almeida, A.-A. F. de, & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4), 425-448. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202007000400011>
- (N.d.). Agrosavia.Co. Recuperado Mayo 10, 2023, de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36668/Ver_Documento_36668.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Agronegocios. (2024, July 29). El cacao alcanza su nivel más bajo en cuatro meses ante las perspectivas de más oferta. AGRONEGOCIOS. <https://www.agronegocios.co/mercados/el-cacao-alcanza-su-nivel-mas-bajo-en-cuatro-meses-ante-las-perspectivas-de-mas-oferta-3917936>
- ANEXO 5. Technology Readiness Levels (TRL) Descripción1. (n.d.). Wwv.minciencias.gov.Co. Retrieved August 5, 2024, from https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo5_7.pdf
- Angel, M., Adombila, M. A., & Reuters. (2024, March 14). Las plantas de cacao africanas se quedan sin grano y se agrava la crisis mundial del chocolate. Público. <https://www.publico.es/internacional/plantas-cacao-africanas-quedan-grano-agrava-crisis-mundial-chocolate.html>
- Chandrasekhar, A. (2024, June 30). El chocolate del futuro tendrá poco o nada de cacao. www.swissinfo.ch. <https://www.swissinfo.ch/spa/multinacionales-suizas/el-chocolate-del-futuro-tendr%C3%A1-poco-o->