

Sistema para el diagnóstico de plagas de *Solanum tuberosum* L. mediante técnicas de inteligencia artificial



<https://cu-id.com/2247/v38e16>

A system for diagnosis of *Solanum tuberosum* L. pests by artificial intelligence techniques

✉ Dunia Pineda Medina^{1*}, ✉ Ileana Miranda Cabrera¹,
✉ Rolisbel Alfonso de la Cruz¹, ✉ Lizandra Guerra Arzuaga¹,
✉ Haymee Canales Becerra¹, ✉ Javier Gonzáles Torres¹, ✉ Saïd Amari²

¹Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Aparatado 10. Carretera Jamaica y Autopista Nacional, San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba.

²Universite Sorbonne Paris Nord, IUT Saint-Denis, France.

RESUMEN: Con el objetivo de detectar las plagas del cultivo de la papa, según imágenes de síntomas, se elaboró una plataforma web que facilita el diagnóstico del tizón temprano y tizón tardío a partir de imágenes de hojas afectadas. Se utilizó el lenguaje de programación Python, *framework* Flask, Bootstrap para los estilos de la plataforma, librerías necesarias y Pycharm, como entorno de desarrollo. El módulo de diagnóstico se implementó a partir de herramientas informáticas para el reconocimiento de imagen e inteligencia artificial, específicamente redes neuronales artificiales. El sistema incluye el registro de monitoreo de campo con las incidencias de plagas, de ahí, que permite incorporar nuevos datos y brindar información sobre el manejo, en correspondencia con la variabilidad del clima. Para validar el diagnóstico, se tomaron imágenes de síntomas confirmados por expertos. El modelo de redes neuronales empleado tuvo una precisión de 94,6 %. En trabajos futuros se incluirá la detección de virus, bacterias y otros hongos, a partir de imágenes. La herramienta es una aplicación novedosa y de gran utilidad en materia de seguridad agroalimentaria, ya que sirve de plataforma coordinada para los fitosanitarios y agricultores relacionados con el cultivo.

Palabras clave: sistema web, diagnóstico de plagas, papa, Redes Neuronales Artificiales.

ABSTRACT: In order to detect potato crop pests from symptom images, a web platform was developed to facilitate the diagnosis of early and late blight from images of affected leaves. The Python programming language, the Flask framework, Bootstrap for platform styling, the necessary libraries, and Pycharm as development environment were used. Image recognition and artificial intelligence software tools, specifically artificial neural networks, were used to implement the diagnostic module. The system also includes the field monitoring record with the incidences of pests, allows incorporating new data, and provides information on management in correspondence with climate variability. For the diagnosis validation, images of symptoms confirmed by experts were taken. The neural network model used was 94.6 % accurate. Future work will include the detection of viruses, bacteria and other fungi from images. The tool is a useful and novel application at the service of agri-food safety, serving as a coordinated platform for plant protection technicians and farmers involved in potato cultivation.

Key words: web system, pest diagnosis, potato, Artificial Neural Networks.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo más importante en el mundo después del trigo, maíz y arroz, debido a las excelentes propiedades del tubérculo y a su facilidad de crecimiento. Se trata de un alimento muy demandado por la población cubana, que destaca por su contenido de almidón, vitaminas, proteínas y varios minerales, de ahí que su cultivo es gran importancia para la alimentación (1).

En la región subtropical se describieron unas 27 plagas comunes en este tipo de cultivo (2). En los campos cubanos las que más alarman son el tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) y el tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer). Hasta el

presente, en Cuba, el investigador experto es quien realiza el diagnóstico de ambas plagas a través de muestreos de campo. Este puede decidir, a partir de los síntomas identificados, si está presente el tizón temprano o tardío en el cultivo. Si el muestreo es realizado por agricultores o técnicos no especializados, e incluso, ante la duda de un experto, las muestras se trasladan a los laboratorios del Sistema de Sanidad Vegetal o de centros de investigación para aislar el hongo y caracterizarlo. Estos resultados no quedan registrados en una base de información automatizada, lo que limita su posterior uso como fuente de información en otras investigaciones. Lo más conveniente sería contar con bases de datos de síntomas, ya verificados, a fin de diagnosticar la plaga en nuevas imágenes (3).

*Correspondencia a: Dunia Pineda Medina. E-mail: dpineda@censa.edu.cu

Recibido: 24/01/2023

Aceptado: 02/11/2023

Para satisfacer objetivos como este, la comunidad científica realiza investigaciones basadas en el Aprendizaje Automático (ML en sus siglas en inglés) como estrategia avanzada, la cual tiene un crecimiento vertiginoso en la última década (4, 5, 6). La importancia de su uso se sustenta en la factibilidad de las soluciones obtenidas y la rapidez para encontrar las mismas. Dentro de las técnicas del ML, se encuentran las Redes Neuronales Artificiales (RNA), método de múltiples ventajas y de gran utilidad para la ciencia y la sociedad en general. Las RNA o sistemas conexionistas se basan en las redes neuronales biológicas y tienen la capacidad de ser entrenadas para tareas específicas, como la clasificación automática de imágenes (7, 8).

En este sentido, autores como Berra *et al.* (9) y Pillaño *et al.* (10) utilizaron métodos de RNA para diagnosticar plagas en cultivos mediante el procesamiento de imágenes. Para ello almacenaron la información en bases de datos externas. Sin embargo, hay que considerar que, en Cuba, el acceso limitado a Internet dificulta la disponibilidad a soluciones internacionales.

La empresa GeoCuba, a partir de fotos satelitales, drones y técnicas de ML identifica las afectaciones en cultivos como caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) también con limitantes, pues esto requiere de herramientas avanzadas para capturar las imágenes en tiempo real, así como de plataformas con altas prestaciones de cómputo (11). Además, la distancia a la que se toman las imágenes, puede atentar contra la eficiencia del diagnóstico. Lo ideal, es tomar imágenes directamente de la hoja en los cultivos que se monitorean con regularidad, para así identificar con precisión los síntomas de una plaga, y establecer de esa manera un adecuado diagnóstico.

Dada la necesidad de un soporte electrónico para el diagnóstico temprano de las plagas en los campos de papa de Cuba, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un sistema web para el registro de plagas en papa y la identificación del tizón tardío y tizón temprano mediante el procesamiento de imágenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la aplicación web, se utilizó el lenguaje de programación Python (12) y el intérprete de Python (v.3.9) los *framework* Flask (v. 2.2.2)(13) Bootstrap (v. 3.3.7.1) y librerías asociadas.

Para el procesamiento de imágenes, se utilizó la plataforma Anaconda Navigator (v. 2.1.4)(14) y el IDE Spyder (v.5.1.5). Las librerías tensorflow (v.2.10.1), keras (v.1.1.2) y matplotlib (v.3.6.1) fundamentalmente (15, 16).

Como algoritmo matemático, se utilizó las RNA Convolucionales (CNN en sus siglas en inglés) (17) y para el conjunto de datos, se procesaron 1000 imágenes de cada categoría (tizón tardío, tizón temprano y sano) obtenidas del *dataset* PlantVillage (18). Para el entrenamiento de la red, se utilizó el 80 % de las

imágenes, 10 % para la validación y 10 % para la prueba.

Como métrica de evaluación del modelo, se utilizó el nivel de exactitud y la validación de las pérdidas.

Como sistema gestor de base de datos relacional, se utilizó PostgreSQL (v. 9.5) (19). Para la gestión y administración de datos, se trabajó con el PgAdmin3.

Para la obtención de la información sobre las características de cada una de las plagas, se consultaron las bases de datos internacionales AGRIS (20) y ScienceDirect (21), así como información disponible en Internet, a través del motor de búsqueda Google Académico.

Para la validación del sistema, se seleccionaron especialistas y técnicos de la dirección de Sanidad Vegetal, en el CENSA. Los usuarios accedieron a la aplicación web, al estar desplegada en modo prueba, en el servidor del centro. Posteriormente, se aplicó una encuesta para medir el grado de aceptación del sistema y su efectividad en el diagnóstico. La encuesta incluyó nueve preguntas a ser evaluadas en una escala del 1 al 5. Para la evaluación de la clasificación del tizón tardío y tizón temprano, los usuarios utilizaron imágenes propias, tomadas de los muestreos de campos realizados por los expertos de la dirección de Sanidad Vegetal, en el CENSA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Sistema web tiene una interfaz principal que permite acceso a información sobre 23 de las plagas presentes en *S. tuberosum*. También, incluye información sobre los desarrolladores y el contacto del personal de sanidad vegetal, encargado de proporcionar datos adicionales, en caso de que el usuario lo requiera (Fig. 1).

Por cada plaga, se registra una imagen, nombre común, nombre científico, patógeno, sintomatología, epidemiología, tácticas para el manejo y alguna observación que el experto decida incorporar. Esta funcionalidad tiene la opción de añadir una nueva plaga, editar, eliminar o consultar información (Fig. 2). También, se incorpora un hipervínculo a bibliotecas digitales para acceder a artículos científicos sobre el manejo de estas plagas, así como el instructivo técnico del cultivo vigente para Cuba.

Para facilitar el registro de los muestreos de campo, se desarrolló también, una funcionalidad que cubre las incidencias encontradas por los expertos. Se registra el nombre del experto, la fecha del muestreo, si encontró plagas o no, y cuál sería ésta en caso positivo; además la latitud y longitud si la conoce (Fig. 3). En el campo: “gestionar plaga” el sistema posibilita insertar, editar, eliminar y consultar la información correspondiente. En este sentido, el sistema incluye datos de los muestreos realizados en regiones paperas de Mayabeque, a fin de conservar datos históricos de la situación del cultivo y el posterior análisis de pronóstico y toma de decisiones.



Figura 1. Interfaz principal del sistema web / Main interface of the web system

Mostrar 10 registros

Buscar:

Ver todas

| Nombre | Nombre científico | Patógeno | Crear |
|---------------------------|---------------------------------------|----------|-------|
| TIZÓN TEMPRANO | Alternaria solani | Hongo | |
| CARBÓN DE LA PAPA | Angiosorus solani (Thecaphora solani) | Hongo | |
| VIROSIS | APLV, APMV, PVY, PVX, PLRV, PVV, PVS* | Virus | |
| ANTRACNOSIS | Colletotrichum atramentarium | Hongo | |
| Saltahojas | Empoasca sp | Insecto | |
| Gusano cortador granulado | Feltia subterranea Fabticius | Insecto | |

Figura 2. Interfaz gráfica donde se gestiona la información referente a las plagas en papa / Graphical interface to manage information on potato pests.

Nombre del experto: Ileana Miranda Cabrera

Fecha: 15/11/2022

Provincia: Mayabeque

Municipio: Jaruco

Latitud: 23.0428

Longitud: -82.0092

Encontró plaga?:

Plaga: TIZÓN TEMPRANO

Observaciones:

Figura 3. Interfaz gráfica para el registro de datos recogidos en el muestreo de campo / Graphical interface for recording data collected in field sampling.



Figura 4. Interfaz gráfica donde el sistema para identificar a qué categoría pertenece la imagen seleccionada / Graphical interface where the system identifies the category to which the selected image belongs.

Desde el sistema, el usuario selecciona la imagen que desea clasificar y, una vez presionado el botón “Clasificar”, el programa determina qué porcentaje de probabilidad corresponde al tizón tardío, tizón temprano y/o si la planta está sana (Fig. 4). Este modelo arrojó un nivel de exactitud del 94,6 %.

La precisión obtenida en el presente estudio para la clasificación de plagas, no difiere de manera significativa, de los encontrados en la literatura para el tratamiento de imágenes, Lozada (22) con un 91 %, Artola (23) con un 92 %, Militante *et al.* (24) con un 96,5 % y Fuentes (25) con un 98,44 %. El resultado alcanzado podría ser más efectivo si, para el entrenamiento, se hubieran utilizado imágenes propias, pues las imágenes del *dataset* PlantVillage son tomadas en entornos controlados, y dado el entrenamiento de las redes, podría generar modelos deficientes bajo condiciones reales (26).

La encuesta realizada a los usuarios arrojó un grado de aceptación de 4,3 puntos de 5, resultado que demuestra su utilidad en la toma de decisiones.

Una investigación similar realizaron Campos *et al.* (27) quienes desarrollaron una herramienta web en línea para el diagnóstico remoto de plagas, mediante la cual y dada una imagen del tubérculo, se identifica a qué plaga pertenece. No obstante, el diagnóstico no se realiza de manera automática, sino que las muestras se analizan por un grupo de expertos, lo cual difiere con el concepto de este trabajo.

El sistema desarrollado es una plataforma web cubana, que busca centralizar la información nacional relacionada con las incidencias de las plagas en papa. En medio de un entorno con bajas prestaciones, se nutre de tecnologías novedosas que se sustentan el mundo científico actual. Su utilidad, como plataforma de diagnóstico, radica en el hecho de que facilita la clasificación del tizón tardío y el tizón temprano de la papa. En trabajos futuros, se incorporará el diagnóstico de otras plagas presentes en el cultivo, así como las bases de datos correspondientes al monitoreo de insectos vectores.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación, recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH009-012 referido al proyecto Pronóstico de la distribución de las principales plagas de *Solanum tuberosum* L. en correspondencia con el desarrollo del cultivo en escenarios climáticos futuros, perteneciente al Programa Nacional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en Cuba y el cofinanciamiento por beca de investigación de la Universidad de Sorbonne Paris Nord, Francia.

REFERENCIAS

1. MINAG. Instructivo Técnico para la Producción de Papa en Cuba [Internet]. Cuba: MINAG; 2023 [cited 2023 Dec 5]. Available from: <https://docplayer.es/190871887-Instructivo-tecnico-para-la-produccion-de-papa-en-cuba.html>
2. Pérez W, Forbes G. Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP); 2011. 44 pp.
3. Ferro-Díaz J. Manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación. Revista ECOVIDA. 2015;5(1):139–86.
4. Brock J, Lange M, Tratalos JA, More SJ, Graham DA, Guelbenzu-Gonzalo M, *et al.* Combining expert knowledge and machine-learning to classify herd types in livestock systems. Sci Rep. 2021;11(1):2989. DOI: [10.1038/s41598-021-82373-3](https://doi.org/10.1038/s41598-021-82373-3)
5. Ezanno P, Picault S, Beaunée G, Bailly X, Muñoz F, Duboz R, *et al.* Research perspectives on animal health in the era of artificial intelligence. Veterinary Research. 2021;52(1):1–15. DOI: [10.1186/s13567-021-00902-4](https://doi.org/10.1186/s13567-021-00902-4)

6. Grimmer J, Roberts ME, Stewart BM. Machine Learning for Social Science: An Agnostic Approach. *Annu Rev Polit Sci.* 2021;24(1):395–419. DOI: [10.1146/annurev-polisci-053119-015921](https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-053119-015921)
7. Cuesta Tenorio J. Sistema de detección automático de placas de matrícula en tiempo real [Máster Universitario en Análisis de Datos Masivos (Big Data) internet]. Universidad Europea; 2021. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.12880/772>
8. Galindo EA, Perdomo JA, Figueroa-García JC. Estudio comparativo entre máquinas de soporte vectorial multiclasa, redes neuronales artificiales y sistema de inferencia neuro-difuso auto organizado para problemas de clasificación. *Información tecnológica.* 2020;31(1):273–86. DOI: [10.4067/S0718-07642020000100273](https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100273)
9. Berra V, Pérez C, Cuatle P. Redes neuronales artificiales para la detección de plagas en cultivo de jitomate bajo invernadero. *CIM* [Internet]. 2019;7(1). Available from: <https://zenodo.org/record/4426972/files/SC22.pdf>
10. MsALS P, MsLLS P, Cabascango ASC. Diagnóstico inteligente de enfermedades y plagas en plantas ornamentales. *Holopraxis.* 2019;3(2): 134–48.
11. Hernández R. La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola* [Internet]. 2021;11(1). Available from: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAagric/article/view/1347>
12. Lutz M. *Programming Python* [Internet]. O'Reilly Media, Inc.; 2001. Available from: https://www.goodreads.com/book/show/80436.Programming_Python
13. Mufid MR, Basofi A, Al Rasyid MUH, Rochimansyah IF, Rokhim A. Design an MVC Model using Python for Flask Framework Development. In: 2019 International Electronics Symposium (IES). Surabaya, Indonesia: IEEE; 2019. DOI: [10.1109/ELECSYM.2019.8901656](https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2019.8901656)
14. Rondón I. ¿Qué es Anaconda? - Escuela Internacional de Posgrados. *Eiposgrados* [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 2]; Available from: <https://eiposgrados.com/blog-python/que-es-anaconda/>
15. Ketkar N. *Introduction to Keras*. In: *Deep Learning with Python*. Berkeley, CA: Apress; 2017. DOI: [10.1007/978-1-4842-2766-4_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2766-4_7)
16. Goldsborough P. *A Tour of TensorFlow*. ArXiv [Internet]. 2016 [cited 2024 Feb 23];1610.01178. Available from: <http://arxiv.org/abs/1610.01178>
17. Massiris M, Delrieux C, Fernández Muñoz J. Detección de equipos de protección personal mediante red neuronal convolucional YOLO. In: XXXIX Jornadas de Automática. España: Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Extremadura; 2018. p. 1022–9.
18. PlantVillage. [cited 2022 Nov 2]; Available from: <https://plantvillage.psu.edu/>
19. Makris A, Tserpes K, Spiliopoulos G, Zissis D, Anagnostopoulos D. MongoDB Vs PostgreSQL: A comparative study on performance aspects. *Geoinformatica.* 2021;25(2):243–68. DOI: [10.1007/s10707-020-00407-w](https://doi.org/10.1007/s10707-020-00407-w)
20. AGRIS, sistema internacional para la información y tecnología agrícola. *datos.gob.es* [Internet]. [cited 2022 Nov 30]; Available from: <https://datos.gob.es/es/noticia/agris-sistema-internacional-para-la-informacion-y-tecnologia-agricola>
21. Science, health and medical journals, full text articles and books. *ScienceDirect.com* [Internet]. 2022 [cited 2022 Nov 30]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/>
22. Lozada-Portilla W, Suarez-Barón M, Avendaño-Fernández E. Aplicación de redes neuronales convolucionales para la detección del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum*. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica.* 2021;24(2). DOI: [10.31910/rudca.v24.n2.2021.1917](https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1917)
23. Artola Moreno Á. Clasificación de imágenes usando redes neuronales convolucionales en Python [Master's Thesis]. España: Universidad de Sevilla; 2019. Available from: <https://idus.us.es/handle/11441/89506>
24. Militante S, Gerardo B, Dionisio N. Plant Leaf Detection and Disease Recognition using Deep Learning. In: 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE). 2019. DOI: [10.1109/ECICE47484.2019.8942686](https://doi.org/10.1109/ECICE47484.2019.8942686)
25. Fuentes Plaza F. Visión por computadora para el manejo de plagas y enfermedades en cultivos de papa [Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Industrial]. Chile: Universidad de Concepción; 2021 [cited 2023 Jun 5]. Available from: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/6716>
26. Pereyra M. Detección de enfermedades y plagas en cultivos mediante Machine Learning [Master's Thesis]. Argentina: Universidad Nacional de La Plata; 2020. Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118496>
27. Campos C, Arribillaga García D, Chacón Cruz G, Uribe Cifuentes H, Acuña Bravo I. Descripción y usos de la Red de Agrometeorología INIA [Internet]. Colombia: INIA; 2019 [cited 2021 Jul 15]. Available from: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/29317>

Declaración de conflicto de intereses: los autores no poseen conflicto de intereses

Contribución de los autores: Dunia Pineda Medina: **Análisis Formal, Investigación, Metodología, Software, Validación, Visualización, Escritura-Borrador Original, Redacción: Revisión y Edición.** Ileana Cabrera Miranda: **Concepción de la idea, Administración de Proyectos, Supervisión, Escritura-Borrador Original, Redacción: Revisión y Edición.** Rolisbel Alfonso de la Cruz: **Curación de datos, Investigación, Recursos, Validación.** Lizandra Guerra Arzuaga: **Curación de datos, Investigación, Recursos, Validación.** Haymee Canales Becerra: **Recursos, Redacción: revisión y edición.** Javier González Torres: **Redacción: revisión y edición.** Saïd Amari: **Investigación, Recursos.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)