

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



**Sistema predictivo para la detección y control de la plaga de la araña roja
del tomate en Lambayeque**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

AUTOR

Manuel Alejandro Llontop Soplapuco

ASESOR

Karla Cecilia Reyes Burgos

<https://orcid.org/0000-0003-3520-5076>

Chiclayo, 2024

**Sistema predictivo para la detección y control de la plaga de la
araña roja del tomate en Lambayeque**

PRESENTADA POR

Manuel Alejandro Llontop Soplapuco

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

APROBADA POR

Luis Augusto Zuñe Bispo
PRESIDENTE

Marlon Eugenio Vilchez Rivas
SECRETARIO

Karla Cecilia Reyes Burgos
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por guiarme y permitirme finalizar esta investigación con éxito para terminar con mis estudios.

A mi madre, por su apoyo y confianza en mi persona, además de ser una fuente de inspiración y guía en este camino.

A mis hermanos, cuñados y ahijada por su motivación e inspiración para superarme en el paso de los días.

Agradecimientos

A los agricultores con las que tuve oportunidad de reunirme para poder adquirir la información necesaria y relevante.

Al Ingeniero Jorge Llontop por brindarme su tiempo y conocimientos a lo largo de la investigación.

A mi asesora de tesis la Mgtr. Karla Reyes por su paciencia, conocimientos y tiempo para la mejora del presente proyecto.

TURNITIN ARTICULO - Llontop Soplapuco Manuel Alejandro

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Catolica de Manizales Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	www.investigacion.biblioteca.uvigo.es Fuente de Internet	<1%
9	www.foodbanking.org Fuente de Internet	

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	9
Antecedentes	9
Bases teóricas.....	10
Materiales y métodos	11
Resultados y discusión	18
Conclusiones	25
Recomendaciones	26
Referencias.....	28
Anexos	33

Resumen

Este presente estudio aborda un problema crítico en la agricultura peruana, centrándose en la detección y control de la plaga de la araña roja en los cultivos de tomate en Lambayeque. Los objetivos incluyeron la aplicación de métricas de calidad de datos para seleccionar y preprocesar imágenes de tomates y la implementación de modelos de deep learning para la detección y clasificación de la plaga. La metodología combinó eXtreme Programming (XP) y CRISP-DM, lo que permitió un enfoque ágil y de alta calidad para el desarrollo del sistema web y la creación de modelos de deep learning. Los resultados fueron altamente alentadores: obtuvimos un dataset de imágenes de hojas de tomate de alta calidad, con una tasa de aprobación superior al 95%, sentando una base sólida para el sistema. Los modelos de deep learning alcanzaron una precisión excepcional en la detección y clasificación de la plaga. La funcionalidad del sistema cumplió con las normas ISO 25010, respaldada por el alto grado de satisfacción de 18 pequeños agricultores encuestados. La validación por comité también fue exitosa, con tres expertos calificando el sistema como "nivel bueno". En resumen, esta investigación presenta un sistema predictivo eficaz para la detección y control de la plaga de la araña roja en los cultivos de tomate en Lambayeque, respaldado por resultados sólidos en la selección de imágenes, la implementación de modelos de deep learning y la funcionalidad del sistema. Este enfoque tiene el potencial de marcar una diferencia significativa en la gestión agrícola y la sostenibilidad en la región.

Palabras clave: Tomates, plagas del tomate, redes neuronales, visión artificial.

Abstract

This study addresses a critical problem in Peruvian agriculture, focusing on the detection and control of the red spider mite pest in tomato crops in Lambayeque. The objectives included the application of data quality metrics to select and preprocess tomato images and the implementation of deep learning models for pest detection and classification. The methodology combined eXtreme Programming (XP) and CRISP-DM, which enabled an agile and high-quality approach to web system development and deep learning model creation. The results were highly encouraging: we obtained high quality tomato leaf image datasets with a pass rate of over 95%, laying a solid foundation for the system. The deep learning models achieved exceptional accuracy in pest detection and classification. The functionality of the system met ISO 25010 standards, supported by the high level of satisfaction of 18 smallholder farmers surveyed. Validation by committee was also successful, with three experts rating the system as "good level". In summary, this research presents an effective predictive system for the detection and control of the red spider mite pest in tomato crops in Lambayeque, supported by robust results in image selection, deep learning model implementation and system functionality. This approach has the potential to make a significant difference in agricultural management and sustainability in the region.

Keywords: Tomatoes, tomato pests, neural networks, computer vision.

Introducción

El sector agrario de Perú, siguiendo las directrices del Plan Estratégico Sectorial Multianual (PESEM), busca estimular el crecimiento económico y el desarrollo de los pequeños productores agrarios. Esto incluye un enfoque en el fortalecimiento de la sanidad agraria para combatir plagas, hongos y enfermedades [1]. Un cultivo de gran importancia en este contexto es el tomate, que coloca a Perú en el puesto 73 de exportadores a nivel mundial, con una producción total de 126 millones de toneladas [2] y [3]. El tomate es fundamental en la dieta peruana y se cultiva en todas las regiones, destinando un 9% de la producción al mercado de exportación (US\$1.19 millones en 2019). Durante la última década, el precio del tomate ha experimentado un aumento del 165%, pasando de S/. 0.49 a S/. 0.81 por kilogramo [4], [5] y [6].

La costa peruana lidera la producción de tomate con un 83%, mientras que la sierra y la selva contribuyen con el 17%. En 2018, se cosecharon 5494 hectáreas con una producción de 253 toneladas en 21 departamentos [7].

Las plagas y enfermedades representan una amenaza significativa para los cultivos de tomate. A nivel mundial, se pierde hasta un 40% de los cultivos debido a estas amenazas [8]. En 2019, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) informó que las pérdidas de tomate en la costa peruana alcanzaron el 42.9% debido a plagas, enfermedades y limitaciones en la infraestructura del sistema alimentario. Lambayeque, en particular, se enfrenta a pérdidas de hasta el 50% debido a plagas que afectan la calidad y el rendimiento [6]. El control de estas plagas es desafiante debido a las condiciones de cultivo en Perú [9].

Las plagas se detectan principalmente a través de cambios en las hojas, flores y frutos, siendo la araña roja una plaga importante en Perú y Lambayeque, que se detecta inicialmente en las hojas puede causar pérdidas de hasta el 80% de un cultivo [10]. Para predecir y gestionar estas plagas, se utilizan varios métodos de control, incluyendo enfoques basados en diagnóstico en línea y herramientas móviles de alta resolución [6].

Ante esta problemática, surge la pregunta fundamental: ¿Qué características debe tener un sistema que genere información precisa para predecir la presencia de la plaga por araña roja en cultivos de tomate de Lambayeque?

Actualmente, la detección y control de esta plaga dependen en gran medida de la experiencia de los agricultores, lo que a menudo conduce a la aplicación ineficiente de productos químicos e insecticidas, con un impacto negativo en el medio ambiente y fuertes inversiones económicas.

Por lo tanto, se requiere una herramienta precisa y efectiva que apoye a los agricultores y contribuya a la sostenibilidad de la agricultura [7].

Para abordar este desafío, se definió como solución desarrollar un sistema con características de visión artificial y aprendizaje profundo para predecir la presencia de la plaga por araña roja en cultivos de tomate de Lambayeque. El objetivo general desarrollar un sistema predictivo que apoye a la detección y control de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate de Lambayeque, con objetivos específicos que incluyen la selección y preprocesamiento de imágenes, la implementación de un modelo de Deep Learning, la medición de su funcionalidad y eficacia, y la validación por comité [11].

Esta investigación se clasifica como aplicada, ya que aborda un problema específico en el sector agrícola. Se justifica económica, social y tecnológicamente, ya que busca optimizar recursos, contribuir al bienestar social y promover la tecnología en la agricultura [11].

Revisión de literatura

Antecedentes

Kibriya et al. [12] presentaron investigaciones relevantes en la detección temprana de enfermedades en plantas, utilizando modelos basados en redes neuronales convolucionales como GoogleNet y VGG16. Estos modelos lograron una alta precisión en la clasificación de enfermedades en plantas, lo que destaca la utilidad de las redes neuronales en la agricultura.

Raman et al. [13] se centraron en la detección de enfermedades en tomates, especialmente el tizón temprano, utilizando modelos de redes neuronales convolucionales pre-entrenadas como ResNet y Xception. Esta investigación resaltó la eficacia de estas redes en la detección de enfermedades en plantas y el uso de extractores de características YOLOv3 en imágenes con múltiples hojas enfermas.

Díaz y Vilcas [14] se enfocaron en la detección del virus del mosaico en la yuca y desarrollaron una aplicación móvil basada en redes neuronales con una precisión superior al 90%. Esta tesis también exploró las metodologías de eXtreme Programming y SCRUM.

Flores y Mejía [15] presentaron un sistema de inteligencia artificial basado en redes neuronales para detectar enfermedades en el café. Su sistema alcanzó una precisión del 99.6%, lo que demuestra la eficacia de esta tecnología en la agricultura.

Reupo [16] utilizó redes neuronales convolucionales, incluyendo MobileNetV2 y ResNet50, para identificar enfermedades en la caña de azúcar. Estos modelos alcanzaron altas precisiones, lo que resalta la importancia de las redes neuronales en la detección de plagas.

Liu et al. [17] abordaron la detección de la mancha gris del tomate y desarrollaron un modelo de aprendizaje profundo basado en MobileNetV2 y el extractor de características YOLOv3. Esta fuente destacó la importancia de elegir la arquitectura de red neuronal adecuada y resaltó la eficacia de Faster R-CNN en entornos naturales.

Ramos [18] desarrolló un sistema inteligente para identificar la calidad de los mangos Kent en una empacadora, utilizando metodologías de XP y Machine Learning. Aunque no se centró en enfermedades o plagas, ofreció una guía para la implementación de soluciones basadas en procesamiento de imágenes en la agricultura.

Galan [19] se enfocó en el reconocimiento de plagas y enfermedades en cultivos de arroz, utilizando redes neuronales y aplicativos móviles. Esta fuente proporcionó información sobre la construcción de redes neuronales para la detección de plagas en cultivos.

Piscoya [20] abordó la identificación de plagas en cultivos de sandía mediante una aplicación móvil basada en visión artificial. La tesis se centró en el procesamiento de imágenes para la detección de plagas y enfermedades.

Bases teóricas

La inteligencia artificial (IA), según Ramos [18] y Nilsson [21], es una herramienta esencial para la detección y control de plagas en la agricultura. La IA busca emular el comportamiento humano en máquinas, permitiendo la automatización de tareas de detección y clasificación.

La visión artificial, según IBM [22], se basa en el procesamiento de información a partir de imágenes. Este proceso implica adquisición, preprocesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación de objetos en imágenes.

YOLO, según Rozada [23], es un algoritmo de visión artificial utilizado para la detección de objetos en tiempo real. Es especialmente útil para procesar imágenes a alta velocidad, como en la detección de hojas de tomate en esta investigación.

Machine Learning, según Harrington [24] y Martínez [25], es una herramienta de la IA que convierte datos en información valiosa, siendo esencial para la clasificación de cultivos y la identificación de enfermedades en plantas.

Deep Learning, o aprendizaje profundo, según Rubio [26], se basa en redes neuronales artificiales para el aprendizaje de patrones y la representación jerárquica de datos, lo que se aplica en la identificación de patrones en fotografías de plantas.

Las redes neuronales artificiales, según Rusell et al. [27], se inspiran en las neuronas del cerebro humano y se utilizan para el procesamiento de información y la clasificación de objetos, como hojas de tomate y plagas.

Las redes neuronales convolucionales, según Ramos [18], son ideales para la clasificación de imágenes en la detección de plagas en cultivos. Estas redes están diseñadas para trabajar con datos de píxeles y reconocer características en imágenes.

Los sistemas predictivos, según Mediacloud [28], se basan en el análisis de datos históricos y externos para anticipar resultados futuros, lo que se aplica en la detección y control de la plaga de la araña roja.

La planta de tomate, según Herrera [29], es el objeto de estudio de esta investigación, y se describen sus características, condiciones óptimas de cultivo y las plagas que la afectan, con un enfoque especial en la plaga de la araña roja.

La plaga de la araña roja, según Calvo [30], es un desafío común en la agricultura, ya que puede causar daños significativos a los cultivos de tomate. Su detección temprana es esencial para su control y prevención.

Los controles para la plaga de la araña roja del tomate, según SENASA [10] y FAO [31], implican el uso de controles químicos, biológicos y culturales para prevenir y controlar la plaga de la araña roja. Estas estrategias son importantes para garantizar la salud de los cultivos.

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Gracias al manual de Frascati [11] se determinó que el tipo de investigación es aplicada puesto que se enfoca en resolver un problema específico práctico en el ámbito agrícola, para el cual se planteó una solución destinada al apoyo y cuidado de cultivos de tomate.

Diseño de investigación

Se aplicó un diseño de investigación basado en Hernández [32], este consistió en una prueba inicial y prueba final con 18 pequeños agricultores de Lambayeque. En la prueba inicial (O1), se recopiló datos a través de un instrumento de evaluación como cuestionario para conocer el nivel de la detección y control de la plaga de la araña roja antes de la intervención del sistema web. Luego, se llevó a cabo la intervención (X) por medio de la implementación del sistema web. Finalmente, se realizó la prueba final (O2) para la recopilación de datos mediante un cuestionario para evaluar el impacto en la detección y control de la plaga de la araña roja del tomate.

Población y muestra

La población objetivo de este estudio son los agricultores del departamento de Lambayeque y se llevó a cabo la investigación, con una muestra de 18 pequeños agricultores.

Operacionalización de variables

La variable independiente en este estudio ha sido “Sistema predictivo web”. Se utilizó un sistema web específicamente desarrollado específicamente para la detección y control de la plaga del tomate en la región de Lambayeque. La variable dependiente se centró en la “Detección y control de la plaga de la araña roja”.

Métodos de investigación

La investigación, según Bernal [33] y Berndtsson [34], se apoyó en diferentes métodos: análisis exhaustivo de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate, obtención de conocimiento a partir de investigaciones y bases teóricas, revisión de literatura científica y tecnológica, y desarrollo de un sistema web predictivo para agricultores. Estos métodos permitieron comprender la plaga, adquirir conocimiento sólido, fundamentar el proyecto y crear una herramienta interactiva para los agricultores en Lambayeque.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la investigación se utilizaron varias técnicas e instrumentos para recopilar información sobre la detección y control de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate en Lambayeque. Esto incluyó encuestas dirigidas a 18 agricultores del distrito de Monsefú, específicamente del Caserío de Callanca Villa Azul, para entender los factores que causan pérdidas en los cultivos. También se realizaron entrevistas a un ingeniero agrónomo especializado en tomates para obtener información detallada sobre el comportamiento de la plaga de la araña roja del tomate. Además, se empleó el análisis documental, utilizando una ficha de recolección de datos centrada en la biodiversidad del tomate y una guía de consulta sobre enfermedades y plagas del tomate en el Perú para adquirir conocimiento sobre estas cuestiones [6].

Procedimientos

Metodología de desarrollo

El sistema web se construyó utilizando la metodología eXtreme Programming (XP) debido a su enfoque en la calidad, velocidad de desarrollo del código y flexibilidad en los requisitos [18]. Para el desarrollo de los modelos de detección y clasificación de hojas de tomate, se optó por la metodología CRISP-DM debido a su documentación respaldada y su enfoque en la calidad del modelo, comprensión de los datos y adaptación para modelos de deep learning [35].

Se realizó una hibridación de ambas metodologías, con XP como eje principal para el desarrollo general de la solución y la incorporación de CRISP-DM para la creación de modelos de deep learning. La figura 1 ilustra esta hibridación con sus respectivas iteraciones.

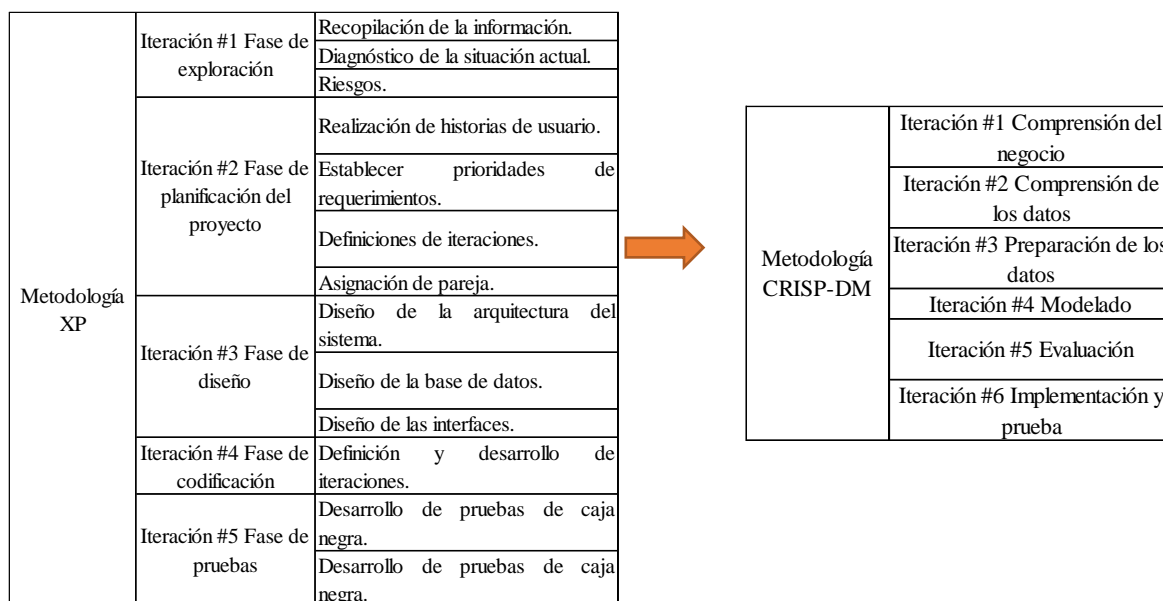


Fig. 1. Hibridación de las metodologías XP y CRISP-DM (Elaboración Propia)

XP - Iteración #1 Fase de exploración: Se tuvo aquí la recolección de datos y el planteamiento de los riesgos.

XP - Iteración #2 Fase de planificación del proyecto: Es la elaboración de historias de usuario, priorización de requerimientos e iteraciones.

XP - Iteración #3 Fase de diseño: Aquí se tuvo la estructura del proyecto y se basará en la arquitectura, base de datos y diseño de las interfaces.

XP - Iteración #4 Fase de codificación: Aquí se tuvo toda la elaboración del código.

CRISP-DM - Iteración #1 Comprensión del negocio: Tiene por finalidad identificar los objetivos y requerimientos del proyecto desde una perspectiva de negocio, estos serán convertidos en objetivos y en un plan de proyecto.

CRISP-DM - Iteración #2 Comprensión de los datos: Tiene por finalidad hacer una recolección de los datos mediante el cual se hará un contacto con la situación problemática, familiarización con los datos y ver su calidad.

CRISP-DM - Iteración #3 Preparación de los datos: Se busca una adecuación de los datos a las técnicas que se van a aplicar. Esta etapa abarca la selección de los datos, su limpieza y darles su formato correspondiente.

CRISP-DM - Iteración #4 Modelado: Se escogerán las técnicas apropiadas para cumplir con los objetivos que se han estipulado con anterioridad, se aplicarán y por último se evaluará si cumple con los criterios de éxito o no.

CRISP-DM - Iteración #5 Evaluación: Se hará una evaluación de los modelos generados, se verá si cumplen los objetivos del negocio para así pasar a la última fase.

CRISP-DM - Iteración #6 Implementación y Prueba: Se busca explicar al cliente como poner en despliegue el proyecto construido.

XP - Iteración #5 Fase de pruebas: Se corroboraron que todas las funcionalidades de los requerimientos este desarrolladas correctamente.

Producto acreditable

Se construyeron las interfaces del sistema predictivo haciendo uso del framework Flask por medio de los lenguajes Python, HTML5, Javascript y el gestor de base de datos MySQL con el objetivo de detectar la plaga de la araña roja en cultivos de tomate, considerando un diseño responsivo. Se diseñó una arquitectura idónea para el funcionamiento del sistema predictivo que se detalló en la figura 2 y una infraestructura tecnológica detallada.

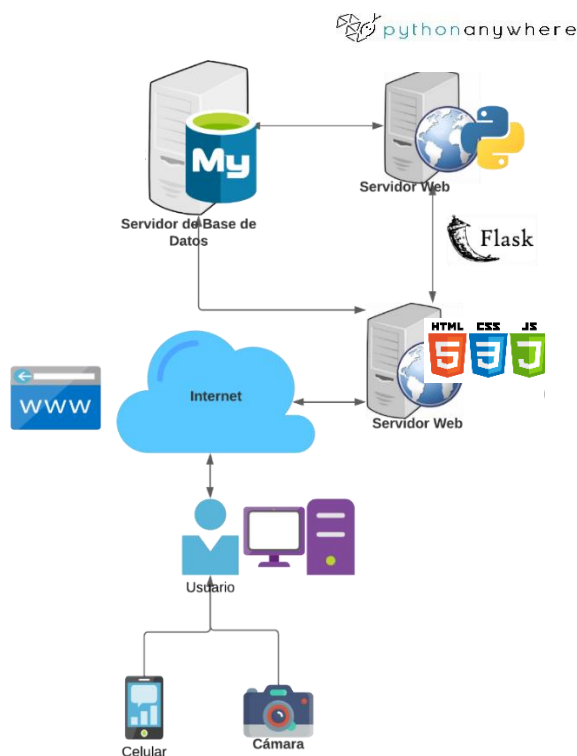


Fig. 2. Arquitectura del sistema predictivo (Elaboración propia)

Consideraciones éticas

En cuanto a las consideraciones éticas en esta investigación, se tomaron medidas para salvaguardar la confidencialidad de los datos proporcionados por los agricultores sobre su información personal y la ubicación de sus terrenos de cultivos de tomate. Se han empleado técnicas de recolección de datos que involucraron encuestas a los agricultores y el uso de bases de datos abiertas de fotos de la plaga de la araña roja. Para garantizar la seguridad de la información, se ha implementado la autenticación de usuarios mediante correo y contraseña, con autorización basada en roles (administrador o agricultor) para limitar el acceso a personas autorizadas. Las contraseñas se han protegido mediante algoritmos criptográficos, y se han utilizado tokens de seguridad, como protección contra falsificación de peticiones en sitios cruzados (CSRF), para asegurar que los datos registrados se almacenan de manera segura en la base de datos. Además, se ha establecido un proceso de respaldo mensual de la base de datos para garantizar la seguridad y confidencialidad de la información.

Matriz de consistencia

TABLA I
MATRIZ DE CONSISTENCIA

<u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>		<u>MÉTODOLÓGÍA DE INVESTIGACIÓN</u>	
¿Qué características debe tener un sistema que genere información precisa para predecir la presencia de la plaga por araña roja en cultivos de tomate de Lambayeque?		<u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> Aplicada	
<u>OBJETIVO GENERAL</u>	<u>MÉTODO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>	
Desarrollar un sistema predictivo que apoye a la detección y control de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate de Lambayeque	Analítico	Estudio y análisis del problema que presenta el sector agrícola con respecto a la plaga de la araña roja del tomate. Se ha recopilado y analizado información relevante sobre el comportamiento de la plaga de la araña roja en los cultivos de tomate, así como sus formas de propagación que lo favorecen. Este análisis ha permitido comprender su naturaleza y gravedad, lo cual ha servido para la detección y control de la plaga de la araña roja.	
	Deductivo	Se logró obtener un conocimiento dado, gracias a las investigaciones y a la información recopilada en las bases teóricas. Por medio del razonamiento se logró obtener un conocimiento sólido de la plaga de la araña roja y su desarrollo en el sector agrícola. La combinación de esta información con los hallazgos obtenidos durante la investigación pudo establecer un marco conceptual para el sistema. Las deducciones que resultaron de todo este proceso permitieron diseñar un método efectivo para la detección y control de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate en Lambayeque.	
	Revisión de la literatura	El presente proyecto ha empleado un enfoque que ha sido fundamentado en la revisión exhaustiva de la literatura científica y tecnológica que se encuentra relacionada con la detección y el control de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate, específicamente en el departamento de Lambayeque. Se hizo un análisis minucioso de antecedentes, manuales fitosanitarios y artículos científicos. La revisión permitió obtener un conocimiento actualizado de la plaga de la araña roja, evaluar los diferentes controles en el contexto local y las posibles tecnologías de aplicación.	
	Implementación	Se llevó a cabo por medio del desarrollo y despliegue de un sistema predictivo web. Se han empleado tecnologías modernas en desarrollo web y modelos predictivos para así poder crear una plataforma de fácil acceso e interactiva. El sistema permitió a los agricultores ingresar datos de gran relevancia y así recibir resultados con respecto a las hojas de tomate en campos de cultivo de Lambayeque. Su implementación ha incluido pruebas y retroalimentación continua para garantizar la eficiencia y precisión que puede tener el sistema.	
	<u>TÉCNICAS</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>	<u>ELEMENTOS DE LA POBLACIÓN</u>
Encuesta	Formularios	Agricultores del departamento de Lambayeque	Recopilar información de los agricultores en Lambayeque, para determinar los factores de pérdidas de cultivos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	DESCRIPCIÓN DEL LOGRO DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INDICADORES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ OE1: Obtener un dataset de imágenes de calidad de hojas de tomate ➤ OE2: Implementar un modelo de Deep Learning basado en procesamiento de imágenes para la detección de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate. ➤ OE3: Alcanzar un nivel aceptable en la funcionalidad del sistema predictivo, medido en base a la norma ISO 25010. ➤ OE4: Alcanzar una eficacia aceptable en la validación por comité para el sistema predictivo 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ OE1: Se tuvo como logro la obtención de un dataset de imágenes de hojas de tomate que cumplen con las métricas de calidad de datos. Las métricas que se aplicaron fueron confiabilidad, calidad, unicidad y completitud. Esto fue comprobado mediante el conjunto de 3415 imágenes que se recopiló. ➤ OE2: Se tuvo como logro un modelo de deep learning elaborado y validado. Este fue comprobado mediante sus reportes de precisión y de la misma arquitectura utilizada para el modelo ➤ OE3: Se tuvo como logro que la funcionalidad del sistema predictivo este validado. Esto se comprobó por medio del Test de funcionalidad ISO 25010. ➤ OE4: Se tuvo como logro un sistema predictivo validado con una eficacia moderada. Esto se comprobó mediante el informe de validación por comité de expertos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ OE1 <ul style="list-style-type: none"> ○ Porcentaje de imágenes seleccionadas que cumplen con las métricas superior a un 90% ➤ OE2 <ul style="list-style-type: none"> ○ Porcentaje de exactitud equivalente o superior a un 80% ○ Porcentaje de precisión equivalente o superior a un 80% ➤ OE3 <ul style="list-style-type: none"> ○ Métricas de funcionalidad con un nivel satisfactorio (75%): <ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de completitud funcional. - Porcentaje de corrección funcional. - Porcentaje de pertenencia funcional ➤ OE4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Tasa de aprobación entre el 70% y el 90% en la detección y control de enfermedades del tomate

Resultados y discusión

En base a la metodología desarrollada

XP - Iteración #1 Fase de exploración

Se llevó a cabo una recopilación de información relacionada con el diagnóstico de plagas en campos de cultivo. Se utilizó la observación, la experiencia de los agricultores y la contratación de expertos en agronomía para diagnosticar y recomendar controles. Se realizó un diagnóstico de la situación actual, descubriendo que el diagnóstico de plagas se hacía principalmente a través de expertos en agronomía. Se identificaron riesgos, estimando su probabilidad e impacto, y se elaboró un plan de riesgos. Los riesgos identificados incluyeron datos limitados, modelos construidos de forma incorrecta y problemas de adaptabilidad o diseño responsivo. Se crearon hojas de gestión de riesgos detalladas para cada uno de estos riesgos, estableciendo su nivel de riesgo, causas y consecuencias. Este proceso permitió una comprensión exhaustiva de los desafíos potenciales y cómo abordarlos en el proyecto.

XP - Iteración #2 Fase de planificación del proyecto

Se realizaron las siguientes actividades: se crearon historias de usuario que abordaban requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto, tales como acceso al sistema, registro de administradores y usuarios, diagnóstico de plagas, seguimiento y resumen de diagnósticos. Se asignaron prioridades a estos requerimientos, estableciendo una jerarquía de alta, media y baja prioridad. Luego se organizó un cronograma para implementar cada historia de usuario. Además, se definieron tres iteraciones para agrupar los requerimientos: Mantenimientos, Diagnóstico y Reportes. Finalmente, se asignaron desarrolladores responsables para cada historia de usuario.

XP - Iteración #3 Fase de diseño

Se llevaron a cabo las siguientes actividades. En primer lugar, se diseñó la arquitectura del sistema, implementando servicios web mediante el framework Flask y utilizando un servicio de hosting como PythonAnywhere. Se optó por un plan básico que brindaba las capacidades necesarias para el proyecto. Se utilizó un servidor de base de datos MySQL para almacenar fotos y datos de acceso al sistema, y la comunicación se realizó a través del lenguaje Python y Flask. La arquitectura se dividió en varios componentes, incluyendo PythonAnywhere, el servidor de BD, Internet, el servidor web Python, API Rest Flask, usuarios, cámaras o celulares y la infraestructura tecnológica.

Además, se diseñó la base de datos del sistema con varias tablas, como ‘Tomate’, ‘Seguimiento’, ‘Control’, ‘Plaga’ y ‘Usuario’, para registrar información relacionada con los tomates, su seguimiento y el control de plagas. Se definieron relaciones entre estas tablas para garantizar la integridad de los datos.

Por último, se diseñaron las interfaces del sistema, que incluyen las pantallas de inicio de sesión, registro, gestión de hojas de tomate, registro de predicciones y seguimiento, visualización de seguimientos, continuación de seguimiento, información adicional, informes, gestión de usuarios agricultores y administradores. Cada interfaz se creó con el objetivo de proporcionar a los usuarios una experiencia intuitiva y eficiente al interactuar con el sistema. Se detallaron los componentes y características de cada interfaz, asegurando que cumplieran con los requisitos del proyecto.

XP - Iteración #4 Fase de codificación

Se llevaron a cabo las siguientes actividades: se definieron y desarrollaron tareas de iteraciones para satisfacer los requisitos establecidos en las Historias de Usuario (HU). En la primera iteración, se enfocó en diseñar interfaces de inicio de sesión, registro, eliminación de administradores y usuarios, así como validar datos y guardar información en la base de datos. En la segunda iteración, se diseñaron interfaces para la realización de diagnósticos, se desarrollaron modelos para la detección y clasificación de hojas de tomate, se validaron datos y se crearon interfaces para mostrar los resultados de diagnósticos, así como para continuar y ver el seguimiento. En la tercera iteración, se diseñaron interfaces para el resumen de diagnósticos y se implementó la consulta de información de diagnósticos según parámetros de tiempo y usuario. Estas actividades permitieron avanzar en la implementación del sistema siguiendo la metodología CRISP-DM y cumplir con los objetivos de las Historias de Usuario.

CRISP-DM - Iteración #1 Comprensión del negocio

En la fase de comprensión del negocio de la Iteración #1 de CRISP-DM, se determinaron los objetivos del negocio relacionados con la detección temprana y el control adecuado de la plaga de la araña roja en campos de cultivo de tomate, considerando las condiciones climáticas de América del Sur que favorecen la propagación de esta plaga. Se evaluó la disponibilidad de datos, incluyendo un dataset abierto de PlantVillage y fotografías tomadas en campos de cultivo en el departamento de Lambayeque para el reconocimiento de enfermedades del tomate. Se identificaron recursos de software y se estableció un plan de proyecto que detalla las etapas y actividades a realizar, incluyendo la construcción de modelos de detección y

clasificación de deep learning, el uso del framework Flask para la aplicación web, y el almacenamiento de datos en una base de datos MySQL. Los objetivos de la minería de datos se alinearon con los objetivos del negocio, enfocándose en determinar la presencia de la plaga de la araña roja en hojas de tomate y su nivel de infestación. Se estableció un plan de proyecto que incluye las actividades y el tiempo estimado para cada etapa del proyecto.

CRISP-DM - Iteración #2 Comprensión de los datos

En la fase de comprensión de los datos de la Iteración #2 de CRISP-DM, se llevó a cabo la recolección de datos a partir de un conjunto de imágenes de hojas de tomate. Estas imágenes se organizaron en formatos específicos y se etiquetaron para el modelo de detección utilizando el algoritmo YOLO. Además, se prepararon conjuntos de datos para los modelos de clasificación, categorizando las imágenes en tres niveles: "Sanas," "Con la Plaga" y "Otros." Estos conjuntos de datos se organizaron en carpetas específicas y se reservaron imágenes para los conjuntos de entrenamiento, validación y prueba. También, se verificó la calidad de los datos, eliminando imágenes que presentaban problemas visuales, ruido o partes faltantes. En total, se obtuvieron 1615 imágenes para el modelo de detección, 3284 imágenes para la primera red neuronal de clasificación y 1678 imágenes para la segunda red neuronal de clasificación, lo que asegura un conjunto de datos adecuado para el desarrollo de los modelos de inteligencia artificial.

CRISP-DM - Iteración #3 Preparación de los datos

En la iteración de preparación de los datos (Iteración #3) en el marco de CRISP-DM, se realizaron tareas para seleccionar imágenes de alta calidad, sin distorsiones ni brillo excesivo, como parte de la preparación de datos para los modelos de detección y clasificación de hojas de tomate. No se requirió llenar datos, ya que se trabajó con imágenes no estructuradas. Además, se diseñó la estructura de la base de datos utilizando MySQL, creando tablas llamadas 'tomate' y 'seguimiento' con atributos que almacenan información relevante, como fecha de registro, diagnóstico, fotos de hojas de tomate y otros detalles. No se realizaron integraciones de datos, y se estandarizaron las imágenes al formato .jpg. Estas acciones prepararon los datos para su uso en la construcción de modelos de inteligencia artificial en etapas posteriores del proyecto.

CRISP-DM - Iteración #4 Modelado

En la iteración de Modelado (Iteración #4) dentro del proceso CRISP-DM, se seleccionaron las técnicas de modelado adecuadas para el proyecto. Se optó por utilizar Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y el algoritmo YOLOv5 para la detección y clasificación de hojas de tomate. Estas elecciones se basaron en la naturaleza de las imágenes y su capacidad para clasificar objetos y detectar objetos en imágenes. Se generó un plan de prueba que incluyó el uso de un conjunto de imágenes para validar la calidad de los modelos de detección y clasificación. A través de la plataforma Google Colaboratory, se construyeron los 2 diferentes tipos de modelos (detección y clasificación), y se especificaron los parámetros y detalles de entrenamiento. Para la evaluación, se utilizaron métricas como precisión y exactitud para validar la efectividad de los modelos. El modelo de detección se elaboró con 25 capas, una arquitectura YOLOV5x, un total de 100 épocas y un tamaño de lotes de 32, un obtuvo una precisión de 0.99 y una sensibilidad de 1; el primer modelo de clasificación se construyó con 5 capas, una arquitectura propia, el optimizador Adam, 50 épocas y un tamaño de lotes de 32 obtuvo una precisión de 0.99 y una exactitud de 0.985; y el segundo modelo de clasificación se construyó con las mismas que el primero obteniendo una precisión de 0.82 y una exactitud de 0.83. También, gracias a la aplicación de mapas de activación, se identificaron las variables que representan los patrones en los modelos como la forma de la hoja y el color. Estos resultados mostraron que los modelos tenían un alto rendimiento, con altos porcentajes de precisión y exactitud en la detección y clasificación de hojas de tomate. Estas acciones conformaron una fase crucial en la construcción de los modelos de inteligencia artificial para el proyecto.

CRISP-DM - Iteración #5 Evaluación

En la iteración de Evaluación (Iteración #5) del proceso CRISP-DM, se evaluaron los resultados obtenidos en las fases anteriores. Se recomendó el uso de los modelos construidos y se planteó un plan de 12 meses para futuras mejoras, que podría incluir la adquisición de más datos o la implementación de modelos preentrenados. Los modelos de detección y clasificación mostraron resultados exitosos y se recomendó su utilización. El modelo de detección con YOLOv5X logró detectar hojas de tomate con alta precisión de 0.99, lo que facilitará la aplicación en el sistema predictivo. Los modelos de clasificación propios que se construyeron en la iteración #4 superaron a los modelos preentrenados como Inception solo obtuvieron una exactitud de 0.09, VGG16 una exactitud de 0.80 y VGG19 obtuvo 0.75. Estos resultados comparados

con los obtenidos en la anterior iteración respaldaron la decisión de avanzar a la siguiente iteración sin necesidad de volver a realizar las iteraciones anteriores con diferentes parámetros.

CRISP-DM - Iteración #6 Implementación y Prueba

En la iteración de Implementación y Pruebas (Iteración #6) del proceso CRISP-DM, se detalló el plan de implantación de los modelos de detección y clasificación. Los modelos se integrarán en un sistema web desarrollado en el framework Flask, trabajando en conjunto. El modelo de detección YOLOv5x reconocerá las hojas de tomate, recortará la imagen y luego los modelos de clasificación determinarán si la hoja está sana o infectada con la plaga de la araña roja, así como el nivel de infestación. Se estableció un plan de monitorización y mantenimiento a lo largo de 10 meses para garantizar el funcionamiento eficaz de los modelos. El proceso de revisión del proyecto concluyó de manera exitosa, con altos niveles de precisión en los conjuntos de prueba. Se planteó la posibilidad de futuras mejoras, como el uso de versiones mejoradas de YOLO, la exploración de otros algoritmos preentrenados y la adquisición de más datasets para mejorar la precisión de los modelos construidos.

XP - Iteración #5 Fase de pruebas

Se llevaron a cabo pruebas tanto de caja negra como de caja blanca para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Las pruebas de caja negra incluyeron la revisión de las funcionalidades de los requisitos desarrollados, como el análisis de imágenes, visualización de diagnósticos según parámetros de tiempo, y visualización de diagnósticos según parámetros de usuario. Se realizaron pruebas de registro de usuarios agricultores y administradores, así como actualización y eliminación de usuarios.

Las pruebas de caja blanca incluyeron la revisión de la funcionalidad interna del sistema, como el análisis de resultados de los modelos de detección y clasificación, donde se evaluaron diferentes caminos y casos posibles para garantizar la correcta interpretación de los datos. Además, se realizaron pruebas para ver los detalles de seguimientos previamente realizados y finalizados.

En base a los objetivos de la investigación

Obtener un dataset de imágenes de calidad de hojas de tomate

El primer objetivo de obtener un dataset de imágenes de calidad de hojas de tomates se llevó a cabo, gracias a Pérez [38], para elegir imágenes de alta calidad y prepararlas para entrenamiento y validación. Se consideraron métricas de calidad de datos como confiabilidad, calidad, unicidad y completitud. La evaluación detallada de estas métricas

reveló que más del 95% de las imágenes seleccionadas (específicamente 96.16%), que constan de 3284 imágenes en comparación con el total inicialmente de 3415, confirman la idoneidad del conjunto de datos, según Mathworks en [43].

Implementar un modelo de deep learning basado en procesamiento de imágenes para la detección de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate

En este objetivo de aplicar métricas de calidad de datos en la selección y preprocesamiento de imágenes de tomates, se evaluaron dos tipos de modelos para detección y clasificación de fotos. El modelo de detección, utilizando YOLO, mostró una alta precisión con una media del 0.995 en el 50% de las imágenes y un promedio de 0.987 en el otro 50%, reflejando una precisión general del 0.999. El primer modelo de clasificación para determinar el estado del cultivo de tomate, sano, con plaga de araña o no siendo un tomate, también obtuvo una alta exactitud de 0.985, superando el valor mínimo requerido de 0.8. El segundo modelo de clasificación, para determinar el nivel de infestación de la araña roja en el tomate (alto, medio o bajo), alcanzó una exactitud de 0.83, nuevamente superando el umbral mínimo de 0.8. En resumen, los resultados de entrenamiento y validación indican la creación exitosa de modelos precisos para la detección y clasificación de imágenes de tomates.

Alcanzar un nivel aceptable en la funcionalidad del sistema predictivo, medido en base a la norma ISO 25010

El objetivo de alcanzar un nivel aceptable en la funcionalidad del sistema predictivo, según la norma ISO 25010, se logró mediante una evaluación exhaustiva de las subcaracterísticas de completitud funcional, corrección y pertenencia funcionales en base a ISO [39]. Se realizó una encuesta a 18 pequeños agricultores del Caserío de Callanca Villa Azul en el distrito de Monsefú entre los meses de junio y setiembre del 2023, y los resultados indicaron que el sistema se valora positivamente en términos de distinguir hojas de tomate, proporcionar información precisa sobre su estado, brindar resultados precisos y minimizar errores en la detección de la plaga de la araña roja. Además, se considera que el sistema tiene funcionalidades específicas y está alineado con los objetivos y necesidades de detección y control de la plaga en la región de Lambayeque, cumpliendo así con los estándares de la norma ISO 25010 para la funcionalidad del sistema.

Alcanzar una eficacia aceptable en la validación por comité para el sistema predictivo

Se ha llevado a cabo un test de validación por comité de expertos siguiendo las pautas de Robles [41], evaluando criterios de detección y clasificación, así como controles del sistema.

Los resultados de esta validación muestran que cada experto calificó el sistema en niveles de "bueno". Esto condujo a un alto nivel de aprobación del sistema o un nivel considerado "aceptable". Tres expertos en agronomía participaron en el proceso. Se destaca que el sistema es evaluado positivamente en la identificación precisa de hojas de tomate, así como en la detección de la plaga de la araña roja y su nivel de infestación.

Discusión

Así como el trabajo de Kibriya et al [9], en el cual se utilizan modelos pre-entrenados para la construcción del modelo de Deep Learning como es el caso de GoogleNet y Cifar10; la presente investigación también hizo uso de estos modelos pre-entrenados, con la diferencia de haber combinado YOLO con las Redes Neuronales convolucionales para lograr una clasificación de mayor precisión.

Por otro lado, Raman et al. y Liu et al., en sus resultados [10] y [11], también hacen uso de modelos pre-entrenados, como ResNet, MobileNet y Xception, y los combinan con YOLOv3 para la detección en las hojas de tomate. Estos proyectos se han desarrollado utilizando Google Colaboratory y el framework de aprendizaje profundo Caffe. Aunque existe una similitud en la detección, nuestra tesis se enfoca en la plaga de la araña roja y proporciona una clasificación precisa según el nivel de infestación, lo que facilita la implementación de medidas de control adecuadas.

La investigación de Díaz y Vilcas [12] se centró en la detección oportuna del virus del mosaico en los cultivos de yuca mediante una aplicación móvil, mientras que este proyecto no solo se enfoca en la detección, sino también en la clasificación y en la implementación de guías de control para la plaga de la araña roja en el tomate.

Flores y Mejía destacaron su éxito en la construcción de una red neuronal altamente precisa, alcanzando un asombroso 99.6% de precisión en la detección de enfermedades en plantas de café en su estudio referenciado como [13]. Este avance tiene como objetivo respaldar la producción de café en Perú. A pesar de este logro destacado, esta investigación se enfoca en un desafío agrícola diferente. Nos esforzamos por proporcionar un control más minucioso que abarca aspectos como la duración y los métodos de aplicación, junto con un sistema de seguimiento basado en las fechas de aplicación del control.

Reupo [14] utilizó redes neuronales convolucionales como MobileNet, VGG16 y ResNet50 para detectar enfermedades en la caña de azúcar. Aunque hay similitudes en el procesamiento de imágenes de hojas para su clasificación, esta investigación va un paso más

allá al implementarla en un sistema web que proporciona una detección de la hoja de tomate, el respectivo nivel de la plaga y un control adecuado, no limitándose a la clasificación.

Ramos [15] evaluó el mango para su exportación utilizando una red neuronal convolucional con un 85% de precisión y la metodología XP para desarrollar un sistema inteligente. Aunque ambos proyectos buscan ayudar al sector agrícola, esta tesis se enfoca en detectar una plaga, determinar su nivel de infestación y proporcionar un control adecuado, mientras que el estudio de Ramos se centra en la evaluación de la calidad del mango para exportación.

Galan [16] desarrolló un sistema inteligente basado en redes neuronales para la clasificación de enfermedades y plagas en el arroz, con el objetivo de adaptarlo a una aplicación móvil. A diferencia de esta investigación, esta tesis se centra en un desafío agrícola relacionado con los tomates y una de sus plagas. Dicho enfoque incluye la detección, clasificación y determinación de su nivel, además de proporcionar opciones para su control adecuado a través de un sistema web.

Piscoya [17] analizó los desafíos que enfrentan los agricultores de sandía en relación con las plagas, centrándose en lograr una detección precisa mediante una aplicación móvil basada en redes neuronales. A diferencia de este proyecto, que se enfoca en abordar el problema de las plagas en los tomates, esta investigación busca proporcionar una guía más completa que incluye la determinación del nivel de la plaga y su control. Esto implica la consideración de enfoques biológicos y culturales, junto con un seguimiento continuo para garantizar una gestión integral.

Conclusiones

Se ha logrado con éxito la obtención de un dataset de imágenes de calidad de hojas de tomate. Esta fase es crítica para preparar imágenes de alta calidad que se utilizarán en el proceso de entrenamiento y validación de nuestro sistema por medio de las métricas de calidad de datos. Nuestra rigurosa evaluación de las métricas de calidad de datos, que incluye confiabilidad, calidad, unicidad y completitud, ha resultado en la selección de un conjunto de imágenes de alta calidad con un índice de aprobación superior al 95%. Esto valida la disponibilidad de un dataset adecuado y de alta calidad para la aplicación efectiva del sistema predictivo. Este logro sienta las bases sólidas para el desarrollo y la eficacia del sistema en su objetivo principal de detección y control de la plaga de la araña roja en la región de Lambayeque.

Se ha abordado con éxito el objetivo específico de implementar un modelo de deep learning basado en procesamiento de imágenes. Durante este proceso, evaluamos dos tipos de modelos,

uno para la detección de hojas de tomate y otro para la identificación y clasificación de la plaga. Ambos modelos han demostrado un rendimiento sobresaliente con precisión promedio superior al 99%. Estos resultados respaldan de manera sólida la efectividad de los modelos de deep learning en la detección y clasificación de la plaga de la araña roja en los cultivos de tomate en Lambayeque.

La aplicación de un test basado en la norma ISO 25010 para evaluar la adecuación funcional del sistema ha logrado resultados satisfactorios. El sistema ha alcanzado un nivel promedio de puntuación del 87.0% en las preguntas evaluadas, lo que indica un alto desempeño. Los resultados se respaldan a través de encuestas a pequeños agricultores, que indicaron un nivel satisfactorio de funcionalidad. Esto demuestra que el sistema es efectivo en términos de funcionalidad y puede servir como modelo para investigaciones futuras y desarrollos en sistemas predictivos agrícolas.

Se ha tenido éxito en el objetivo de alcanzar una eficacia aceptable en la validación por comité de expertos. Tres de los encuestados obtuvieron una calificación de "nivel bueno," lo que condujo a una alta aprobación del sistema. Estos resultados confirman la validez y la utilidad del sistema predictivo en la detección y control de la plaga de la araña roja en la región de Lambayeque. El sistema ha demostrado estar preparado para abordar eficazmente los desafíos asociados con esta problemática, lo que respalda el logro exitoso del objetivo de validación por comité.

Recomendaciones

Se recomienda que en futuras investigaciones relacionadas con la detección de la plaga de la araña roja en cultivos de tomate se considere la optimización de las variables de salida en los modelos. Además, se sugiere la utilización de técnicas de selección de características para aumentar la eficiencia en el entrenamiento de los modelos y reducir el riesgo de overfitting. Estas prácticas pueden mejorar la precisión y robustez del sistema predictivo.

Se sugiere ampliar la compatibilidad de formatos de imagen admitidos por el sistema desarrollado. Actualmente, el sistema solo acepta formatos de imagen en JPG. Para aumentar la accesibilidad y comodidad de los usuarios, se recomienda que se considere la inclusión de otros formatos populares, como PNG o JFIF. Esto facilitaría la utilización del sistema con una variedad más amplia de imágenes.

Se recomienda llevar a cabo evaluaciones y pruebas del sistema en cultivos diferentes al tomate. Explorar la aplicabilidad de la tecnología en otros tipos de cultivos agrícolas podría

aumentar su alcance y utilidad en la agricultura en general. Esto permitiría adaptar la solución a diversas necesidades agrícolas.

Para investigaciones futuras, se sugiere explorar la posibilidad de utilizar dispositivos de monitoreo en campo mediante cámaras montadas en drones. Esta tecnología permitiría la captura de datos en tiempo real y la obtención de diagnósticos más oportunos y precisos. La implementación de drones como herramienta de monitoreo podría mejorar significativamente la eficacia de la detección y el control de plagas en los cultivos.

Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura, “Aprueban Plan Estratégico Sectorial Multianual Actualizado - PESEM 2015-2021”, Sector Agricultura y Riego, 14 de diciembre de 2016 (1era) [Online]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/569783/PESEM_Agricultura_2015_2021_Actualizado.pdf
- [2] Ministerio de Agricultura, “Aprueban Plan Estratégico Sectorial Multianual Actualizado - PESEM 2015-2021”, Sector Agricultura y Riego, 14 de diciembre de 2016 (1era) [Online]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/569783/PESEM_Agricultura_2015_2021_Actualizado.pdf
- [3] The Observatory of Economic Complexity. “Tomates en Perú | OEC”. OEC - The Observatory of Economic Complexity. Accedido el 13 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/tomatoes/reporter/per#:~:text=Acerca%20de&text=Exportaciones:%20En%202021,%20Perú%20exportó,483%20más%20exportado%20en%20Perú>.
- [4] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, "Tomate: Semana Nacional de Frutas y Verduras 2021", 9 de marzo de 2021, Dossier tomate, Lima, Perú, Año Internacional de las frutas y verduras 2021. Accedido el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1828921/Dossier%20Tomate.pdf>
- [5] E. Ramos, “¿Cuánto tomate produce el Perú en un año?”, Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias, el 9 de septiembre de 2021. <https://agraria.pe/noticias/cuanto-tomate-produce-el-peru-en-un-ano-25389> (consultado el 14 de junio de 2022).
- [6] Ministerio del Ambiente, Línea de base de la diversidad del tomate peruano con fines de bioseguridad, 1a ed., vol. 1. Lima-Perú: Dirección General de Diversidad Biológica del sector, 2020. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/01/libro_tomate_peruano.pdf
- [7] J. C. Mejía Olivas, “Producción y comercialización del cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en el Perú”, M.S, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2022. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5279>

- [8] A. Rubio, “¿Cuáles han sido las plagas que más han afectado durante 2020?”, agroautentico.com, el 30 de diciembre de 2020. <https://agroautentico.com/2020/12/las-plagas-que-mas-han-afectado-en-2020/> (consultado el 13 de octubre de 2023).
- [9] Gestión Noticias, “Pérdida de alimentos: supera el 40% en tomate y banano en Perú, según la FAO | PERU”, Gestión, el 5 de septiembre de 2019. <https://gestion.pe/peru/perdida-de-alimentos-supera-el-40-en-tomate-y-banano-desde-el-cultivo-hasta-distribucion-noticia/> (consultado el 14 de junio de 2022).
- [10] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), "Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de tomate", Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Alimentaria, Lima, 30 de julio de 2020. Accedido el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1092200/Gu%C3%ADa-BPA%20Tomate.pdf?v=1623876632>
- [11] OECD, Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. OECD, 2018. doi: 10.1787/9789264310681-es.
- [12] H. Kibriya, R. Rafique, W. Ahmad y S. M. Adnan, "Tomato Leaf Disease Detection Using Convolution Neural Network," 2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST), Islamabad, Pakistan, 2021, pp. 346-351, doi: 10.1109/IBCAST51254.2021.9393311.
- [13] A. S. Chakravarthy y S. Raman, “Early Blight Identification in Tomato Leaves using Deep Learning”, en 2020 International Conference on Contemporary Computing and Applications (IC3A), Lucknow, India, 2020, pp. 154–158. doi: 10.1109/IC3A48958.2020.233288.
- [14] R. Diaz y D. R. Vilcas, “Aplicativo móvil para la detección de la enfermedad del Mosaico común en la yuca (Manihot esculenta) utilizando redes neuronales convolucionales”, M.S, UNAMAD, 2022, Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/889>
- [15] J. C. Flores y G. Mejía “Aplicación Móvil usando redes neuronales convolucionales para la detección de enfermedades en las plantas de café en el distrito de Chirinos”, M.S, UNPRG, 2023, Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11478>
- [16] P. G. Reupo, “Evaluación de la eficiencia de técnicas de aprendizaje automático para la identificación de enfermedades en los cultivos de caña de azúcar”, M.S, USS,

- 2023, Consultado: el 17 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11510>
- [17] J. Liu y X. Wang, “Early recognition of tomato gray leaf spot disease based on MobileNetv2-YOLOv3 model”, *Plant Methods*, vol. 16, núm. 1, p. 83, 2020, doi: 10.1186/s13007-020-00624-2.
- [18] E. A. Ramos, “Sistema inteligente para identificar adecuadamente el mango Kent no exportable en el área de muestreo de una empresa agroindustrial de la región Lambayeque”, M.S, USAT, 2021. Consultado: el 19 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3936>
- [19] J. L. Galan Zapata, “Sistema inteligente de reconocimiento de imágenes para apoyar el diagnóstico de plagas y enfermedades en el cultivo de arroz en el departamento de Lambayeque en el año 2019”, M.S, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2021. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3216>
- [20] J. E. Piscocoya Ferreñan, “Sistema de visión artificial para apoyar en la identificación de plagas y enfermedades del cultivo de sandía en el distrito de Ferreñafe”, M.S, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2019. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2356>
- [21] N. John Nilsson, *Inteligencia artificial: Una nueva síntesis*. Madrid: McGraw Hill, 2004.
- [22] International Business Machines Corporation (IBM), “What is Computer Vision? | IBM”. <https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision> (consultado el 13 de octubre de 2023).
- [23] S. Rozada Raneros, “Estudio de la arquitectura YOLO para la detección de objetos mediante deep learning”, 2021, Consultado: el 13 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/45359>
- [24] P. Harrington, *Machine learning in action*. Shelter Island, N.Y: Manning Publications Co, 2012.
- [25] S. Martínez, “Las diferencias entre Deep Learning y Machine Learning”, Jasmin Software, el 2 de junio de 2020. <https://www.jasminsoftware.es/blog/deep-learning/> (consultado el 28 de mayo de 2022).

- [26] A. Rubio, “¿Cuáles han sido las plagas que más han afectado durante 2020?”, agroautentico.com, el 30 de diciembre de 2020. <https://agroautentico.com/2020/12/las-plagas-que-mas-han-afectado-en-2020/> (consultado el 13 de octubre de 2023).
- [27] S. Russell y P. Norvig. *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno*, Madrid: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [28] Mediacloud, “¿Modelos predictivos o aprendizaje automático? Comparativa y diferencias - ADN Cloud”, #ADNCLOUD, el 14 de julio de 2019. <https://blog.mdcloud.es/modelos-predictivos-o-aprendizaje-automatico-comparativa/> (consultado el 13 de octubre de 2023).
- [29] F. Herrera Uriarte, “Efecto de dos dosis de fosfocompost en el rendimiento y calidad de *Lycopersicum esculentum* Mill Var. Rio Grande en Pampas Mocupe - Lambayeque”, M.S, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2013. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7642>
- [30] A. Calvo, “La araña roja en tomate: principales efectos y cómo combatirla”, Agroptima, el 16 de julio de 2020. <https://www.agroptima.com/es/blog/la-arana-roja-en-tomate-principales-efectos-y-como-combatirla/> (consultado el 28 de agosto de 2023).
- [31] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “Gestión de plagas | Manejo integrado de plagas y plaguicidas | IPM and Pesticide Risk Reduction”. <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/ipm/integrated-pest-management/es/> (consultado el 13 de octubre de 2023).
- [32] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 6 ed. Mexico: México: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. de CV, 2024.
- [33] C. A. Bernal et al., “Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales”, 2016.
- [34] M. Berndtsson, J. Hansson, B. Olsson y B. Lundell, “Thesis projects a guide for students in computer science and information systems”, Springer, 2008
- [35] R. Pardo y C. David, “Desarrollo de aplicativo web que mediante aprendizaje de maquina ayude al diagnóstico del cáncer en niños, en la fundación Mujeres Trabajando por el Meta.”, M.S, Universidad Cooperativa de Colombia, 2023. Consultado: el 13 de

- octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/51485>
- [36] F. Herrera Uriarte, “Efecto de dos dosis de fosfocompost en el rendimiento y calidad de *Lycopersicum esculentum* Mill Var. Rio Grande en Pampas Mocupe - Lambayeque”, M.S, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2013. Consultado: el 14 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7642>
- [37] C. A. Bernal et al., “Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales”, 2016.
- [38] F. J. Pérez Carrega, “Calidad de Datos: La clave para decisiones acertadas y resultados exitosos.” Consultado: el 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/calidad-de-datos-la-clave-para-decisiones-acertadas-y-perez-carrega>
- [39] ISO, “Adecuación Funcional”. Consultado: el 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010/20-adequacion-funcional>
- [40] M. Berndtsson, J. Hansson, B. Olsson y B. Lundell, “Thesis projects a guide for students in computer science and information systems”, Springer, 2008
- [41] P. Robles y M. Rojas, “La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada”, Revista Nebrija de Lingüística Aplicada, vol. 1, pp 1-16, marzo 2015.
- [42] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, 6 ed. Mexico: México: MCGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. de CV, 2024.
- [43] Mathworks, “Deep Learning: Tres cosas que es necesario saber”. Consultado: el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/discovery/deep-learning.html>

Anexos

ANEXO N° 01. CARTA DE PRESENTACIÓN



Chiclayo, 2 de noviembre de 2023

CARTA N° 054-2023-USAT- EISC

Señor(a)
Pablo Ayasta Llontop
Agricultor Propietario
CAMPO DE CULTIVO CASERÍO DE CALLANCA SAN PEDRO
Presente. -

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a usted para expresarle mis saludos a nombre de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y desearle éxitos en su gestión al frente de su representada.

Asimismo, por este medio presentarle al estudiante **MANUEL ALEJANDRO LLONTOP SOPLAPUCO**, identificado con **DNI N° 74176174** y código universitario **181CV78165** de la **ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**; quien se encuentra desarrollando su tesis denominada: **SISTEMA PREDICTIVO PARA LA DETECCIÓN Y CONTROL DE LA PLAGA DE LA ARAÑA ROJA DEL TOMATE EN LAMBAYEQUE**, para lo cual le solicito tenga a bien otorgarle las facilidades, permisos y apoyo pertinentes en acceder a la información necesaria para el desarrollo de la misma; teniendo en cuenta los protocolos de bioseguridad para la prevención y control de COVID-19, decretado por el gobierno.

Agradezco de antemano su atención a la presente, me despido expresando mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Ing. Maximiliano Arroyo Ulloa
 Decano (e) de la Facultad de Ingeniería
 USAT

ANEXO N° 02 CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE DE
LA ENTIDAD DONDE SE EJECUTÓ LA TESIS

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE EN EL CAMPO DE CULTIVO

Callanca, 01 de julio del 2023

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

ASUNTO: APROBACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE

De mi especial consideración:

Por medio del presente nos dirigimos a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo para certificar la aprobación del trabajo titulado **“SISTEMA PREDICTIVO PARA LA DETECCIÓN Y CONTROL DE LA PLAGA DE LA ARAÑA ROJA EN LAMBAYEQUE”**, cuya realización se ha ejecutado de forma correcta por el estudiante **MANUEL ALEJANDRO LLONTOP SOPLAPUCO**, identificado con **DNI N° 74176174**.

Atentamente:



Señor: Pablo Ayasta Llantop

DNI: 16555259

Agricultor del campo de cultivo:

Callanca San Pedro



Señor: Carlos Ayasta Pisfil

DNI: 46698143

Agricultor del campo de cultivo:

CALLANCA ⇒ SAN PEDRO