

Plant health: web application for detecting diseases in coffee plants in northern Peru.

Jhordan P. Garcia-Hernandez, Bach.¹, Julio C. Rafael-Arbildo, Bach.¹, Jaime A. Meza-Huamán, Dr.¹, Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, Daniel E. Alvarado-León, Dr.², Manuel E. Malpica-Rodríguez, Dr.³

¹Universidad Privada del Norte (UPN) - Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) - Cajamarca, Perú

N00023586@upn.pe, N00031357@upn.pe, jaime.meza@upn.pe, daniel.perez@upn.pe / c25870@utp.edu.pe, c26020@utp.edu.pe, mmalpica@unc.edu.pe

Abstract— The purpose of this research was to develop and implement a web application to detect diseases in coffee plants. The application was implemented in the province of San Ignacio, department of Cajamarca. For this, a population and sample of 25 coffee farmers were considered. The main objective of this research was to measure the impact of implementing a web application in detecting diseases in coffee plants in the province of San Ignacio - Cajamarca, 2023. To achieve this, a pre-test was conducted with the selected sample, then the application was provided for a trial period, and finally, after concluding the trial period, a post-test was conducted. As a result, there was a 20% increase in coffee farmers' consideration regarding the importance of plant health in achieving more sustainable production and development.

Keywords— Coffee diseases, Web application, Image automation, Machine learning.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Salud vegetal: aplicativo web en la detección de enfermedades en plantas de café en el norte peruano

Jhordan P. Garcia-Hernandez, Bach.¹, Julio C. Rafael-Arbildo, Bach.¹, Jaime A. Meza-Huamán, Dr.¹, Daniel A. Pérez-Aguilar, Eng.D.^{1,2}, Daniel E. Alvarado-León, Dr.², Manuel E. Malpica-Rodríguez, Dr.³

¹Universidad Privada del Norte (UPN) - Cajamarca, Perú

²Universidad Tecnológica del Perú (UTP) - Lima, Perú

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) - Cajamarca, Perú

N00023586@upn.pe, N00031357@upn.pe, jaime.meza@upn.pe, daniel.perez@upn.pe / c25870@utp.edu.pe, c26020@utp.edu.pe, mmalpica@unc.edu.pe

Resumen— La presente investigación tuvo como finalidad el desarrollo e implementación de una aplicación web para detectar las enfermedades en plantas de café. La aplicación fue implementada en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca. Para lo cual se tuvo una población y muestra de 25 agricultores cafetaleros. El objetivo principal de la presente investigación fue medir el impacto de la implementación de un aplicativo web en la detección de enfermedades en plantas de café de la provincia de San Ignacio - Cajamarca, 2023. Para ello, se realizó un pretest con la muestra seleccionada, posteriormente se brindó la aplicación para un periodo de prueba, finalmente al concluir el periodo de prueba se realizó un pos-test. Como resultado se logró aumentar en un 20% la consideración de los agricultores cafetaleros en cuanto a la importancia de la salud en las plantas de café para lograr una producción y desarrollo más sostenible.

Palabras clave— Enfermedades del café, Aplicativo web, Automatización de imágenes, Machine learning.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, el café no solo se ha convertido en una bebida de consumo globalmente arraigada, sino que también representa una pieza fundamental en la economía de numerosos países. Sin embargo, a pesar de su prominencia y su papel crucial en la economía mundial, la industria cafetera enfrenta desafíos persistentes en forma de enfermedades que afectan a las plantas de café. Estas enfermedades presentan una amenaza constante, ya que pueden comprometer funciones vitales esenciales para el desarrollo saludable de la planta, como la eficiente captación de luz por las hojas, la absorción adecuada de nutrientes y el proceso de llenado de los granos, entre otros aspectos críticos del fruto. El impacto de estas amenazas no solo se limita a la salud de las plantas, sino que también se extiende a la producción y calidad del café, lo que subraya la necesidad de abordar de manera efectiva y proactiva estas enfermedades para garantizar la sostenibilidad y viabilidad a largo plazo de esta industria fundamental. En este contexto, el presente trabajo se centra en explorar y comprender más a fondo las diversas enfermedades que afectan a las plantas de café, con el objetivo de proporcionar perspectivas valiosas para la gestión y mitigación de estos riesgos en la producción cafetera a nivel mundial [1].

Perú ha ganado renombre a nivel mundial como uno de los principales exportadores de café, siendo las ciudades de Jaén y San Ignacio, ubicadas en la región de Cajamarca, las principales

protagonistas de esta distinción. Cajamarca se destaca no solo por su contribución significativa a la producción cafetalera peruana, sino también por la calidad excepcional de su café, consolidándose como un actor crucial en la escena cafetalera a nivel nacional e internacional. El Nor Oriente Peruano, particularmente las provincias de Jaén y San Ignacio, ha evolucionado como uno de los epicentros más destacados en la industria cafetalera del país. En el año 2019, estas regiones representaron nada menos que el 46.5% del valor FOB exportado por todas las organizaciones cafetaleras del Perú. Este peso significativo en la economía cafetalera nacional subraya la importancia crítica de la región de Cajamarca y, por ende, sus desafíos y oportunidades en relación con la gestión de enfermedades en las plantas de café adquieren un papel central en el mantenimiento y fortalecimiento de la posición de liderazgo de Perú en el mercado cafetalero global. En este contexto, el presente trabajo busca explorar a fondo las amenazas fitosanitarias que enfrenta esta región y proponer estrategias efectivas para garantizar la salud y sostenibilidad a largo plazo de la producción de café en Jaén y San Ignacio, y, por ende, en la escena cafetalera peruana en su conjunto [2].

El proceso de producción de café implica varias etapas y requiere precauciones. En [3] se ofrece recomendaciones sobre factores agroecológicos, producción en viveros, establecimiento del cafetal, manejo del suelo, fertilización, renovación del cafetal y desarrollo de sistemas tecnificados para promover la sostenibilidad en la producción de café.

En la búsqueda constante de estrategias innovadoras para abordar los desafíos fitosanitarios en la industria del café, la convergencia de tecnologías emergentes como el procesamiento de imágenes, el agrupamiento k-means y los algoritmos de redes neuronales convolucionadas emerge como una herramienta prometedora. La aplicación conjunta de estas tecnologías ofrece la posibilidad de una predicción precisa de las enfermedades en las plantas de café, como se ha destacado en investigaciones previas [4]. La utilización de modelos de aprendizaje automático para identificar plantas enfermas puede revolucionar el ciclo de detección de enfermedades, particularmente en las fases iniciales, mejorando significativamente la seguridad del grano y la manejabilidad del sistema agrobiológico. La integración de técnicas de procesamiento de imágenes permite la captura detallada de características visuales específicas asociadas a enfermedades,

mientras que los algoritmos de agrupamiento k-means facilitan la segmentación y clasificación eficiente de los datos. La aplicación de redes neuronales convolucionadas potencia la capacidad de reconocimiento de patrones, permitiendo la identificación temprana y precisa de síntomas indicativos de enfermedades en las plantas de café. Este enfoque innovador no solo ofrece la posibilidad de una detección oportuna, sino que también puede contribuir a la mejora proactiva de la salud de las plantas, optimizando así la calidad del grano y la sostenibilidad de la producción cafetalera. En este contexto, el presente trabajo se propone explorar y validar la efectividad de esta integración tecnológica en la predicción y gestión de enfermedades en plantas de café, destacando su potencial para revolucionar las prácticas agrícolas en el sector cafetalero [5].

La creciente convergencia de la inteligencia artificial y la visión por computadora ha propiciado el desarrollo de aplicaciones web innovadoras, entre las cuales destaca aquella basada en aprendizaje profundo que permite a los usuarios cargar imágenes para un análisis automático. Esta plataforma revolucionaria se fundamenta en redes neuronales profundas, eliminando la necesidad de que los usuarios posean un conocimiento profundo de la tecnología subyacente. Su accesibilidad y simplicidad la convierten en una herramienta excepcionalmente útil en diversas aplicaciones de visión por computadora, destacando en la detección de objetos, clasificación visual y búsqueda de similitudes entre imágenes.

La esencia de este aplicativo web radica en su capacidad para interpretar y procesar imágenes de manera autónoma, gracias a la implementación de algoritmos de aprendizaje profundo. Este enfoque permite a los usuarios, incluso aquellos sin experiencia técnica avanzada, aprovechar las capacidades de las redes neuronales profundas para identificar de manera precisa objetos o patrones en las imágenes cargadas. La aplicación se vuelve especialmente valiosa en el ámbito de la visión por computadora, donde la detección de objetos, la clasificación visual y la búsqueda de similitudes entre imágenes son tareas fundamentales. En este contexto, el presente trabajo se propone explorar y evaluar la eficacia y aplicabilidad de este aplicativo web basado en aprendizaje profundo en el ámbito específico de la detección y análisis de enfermedades en plantas de café. La capacidad de la plataforma para realizar análisis automáticos de imágenes puede representar un avance significativo en la identificación temprana de patologías, contribuyendo así a la gestión proactiva de la salud de las plantas y a la mejora de la productividad en la industria cafetalera [6].

En la producción de café arábico, es crucial abordar las enfermedades que afectan su rendimiento y calidad. En el estudio [7] se revisó las principales enfermedades que limitan la producción óptima del café arábico. Identificaron enfermedades como roya, mal de hilachas, ojo de gallo y mancha de hierro, que tienden a manifestarse en condiciones de alta humedad y temperaturas variables. Comprender estas enfermedades a fondo es esencial para desarrollar estrategias

efectivas de control y promover la sostenibilidad en la producción de café arábico.

Por su lado en [8] se desarrolló una aplicación móvil que utiliza aprendizaje automático para identificar y clasificar la enfermedad de "la roya" en hojas de café robusta. Gracias al uso de técnicas de aprendizaje automático y la implementación de un algoritmo, la eficacia en la detección de la enfermedad alcanzó el 95%, demostrando así la utilidad de estas tecnologías en el estudio de enfermedades en los cultivos de café.

En el Perú, en la investigación [9] se utilizó tecnología hiperespectral para identificar anticipadamente la presencia de la roya amarilla en plantas de café. La técnica demostró ser superior al análisis visual en la detección temprana de la enfermedad, destacando la importancia de esta tecnología para evaluar la salud de las plantaciones y detectar problemas relacionados con plagas y enfermedades en cultivos similares.

Por su lado, en [10] se desarrolló una solución para el diagnóstico automático de la roya amarilla en hojas de café. Utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático, lograron identificar la presencia del hongo y calcular la severidad de manera precisa. Este enfoque tiene como objetivo proteger los cultivos y garantizar la calidad de los granos de café.

La importancia de este estudio radica en la importancia de la detección temprana de enfermedades en plantas de café mediante el uso de Machine Learning, una rama avanzada de la inteligencia artificial. Este enfoque innovador permite a las computadoras identificar patrones complejos en imágenes de plantas, evitando problemas críticos. Además de beneficiar a los agricultores, representa un avance tecnológico al integrar la inteligencia artificial en la agricultura, abriendo nuevas posibilidades en la intersección entre la agricultura y la tecnología.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, aplicativo y de diseño experimental. Este enfoque permite explorar en profundidad los fenómenos estudiados a través de un experimento donde se busca evaluar los efectos de una intervención específica [11].

La población de estudio comprende 25,300 agricultores cafetaleros reconocidos en la provincia de San Ignacio, según lo reportado por la Expo Café Cajamarca 2021 [12]. Se seleccionó una muestra de 25 agricultores afectados por enfermedades en las plantas de café, considerando su cercanía y accesibilidad para el investigador. Esta muestra se considera representativa de agricultores enfrentando desafíos relacionados con la salud de sus cultivos y es crucial para comprender sus perspectivas, necesidades y estrategias de mitigación.

Se optó por utilizar encuestas como método de recolección de datos, empleando cuestionarios para recopilar información sobre enfermedades en las plantas de café (ver Tabla I). Este diseño preexperimental incluyó pruebas antes y después con la

participación de 25 individuos, recopilando datos estadísticos mediante una aplicación web.

TABLA I
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Técnica	Instrumentos	Justificación
Encuesta	Ficha de encuesta(pre-test)	Generar un punto de partida en la investigación
Encuesta	Ficha de encuesta(post-test)	Corroborar la hipótesis y el cumplimiento de los objetivos planteados

El análisis de datos se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics 26, recolectando información mediante Google Forms y procesando los datos en Microsoft Excel.

La fiabilidad del instrumento se evaluó utilizando el coeficiente Alfa de Cronbach [13] (ver Tabla II), garantizando la coherencia y precisión en la medición de las variables de interés, a través de una encuesta compuesta por 15 preguntas.

TABLA II
ESCALA DE LIKERT

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5

El proceso de análisis de datos implicó la recopilación inicial, selección de herramientas para la gestión de datos, creación de un prototipo y plataforma web, recolección adicional de datos, procesamiento y, finalmente, la verificación de resultados mediante la prueba T-Student.

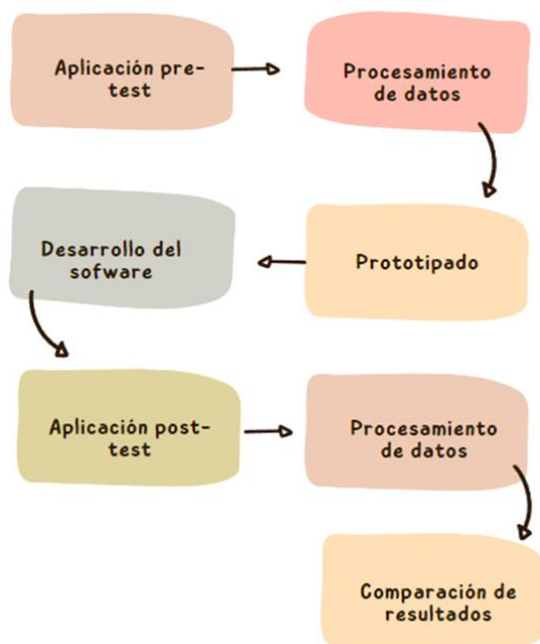


Fig. 1. Diagrama de flujo del procedimiento.

Además, se elaboró un diagrama de flujo del procedimiento (ver Figura 1) para esquematizar el proceso llevado a cabo durante la investigación.

La investigación se adhirió estrictamente a estándares éticos y de privacidad, manteniendo la confidencialidad de los datos aportados por los usuarios. Se garantiza la integridad y seguridad de la información recopilada a través de la plataforma.

III. RESULTADOS

Para lograr desarrollar un aplicativo web para la detección de enfermedades en plantas de café de la provincia de San Ignacio – Cajamarca se realizó todo un ciclo de desarrollo. En la Figura 2 se presenta una visualización de las diferentes fases de desarrollo del aplicativo, desde la captura de requisitos hasta la implementación, destacando la importancia de cada etapa en la creación exitosa de esta herramienta tecnológica para el sector agrícola.

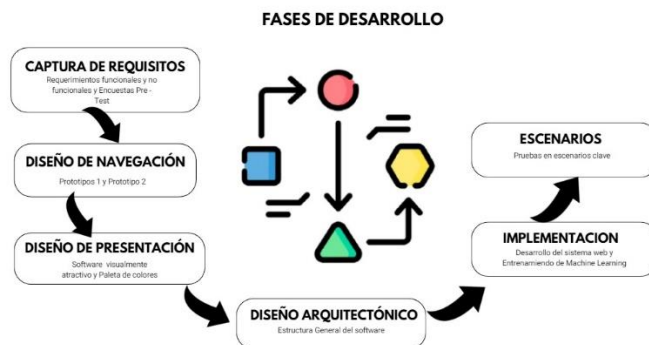


Fig. 2. Fases de desarrollo.

Primeramente, se empezó con la fase de la captura de requisitos considerando los requerimientos funcionales, estos incluyen que el sistema debe tener la capacidad de detectar y diagnosticar enfermedades específicas que afectan a las plantas de café, como el óxido de la hoja, la roya del café y la broca del café. Para lograr esto, se requiere una base de datos integral que almacene información detallada sobre estas enfermedades, incluyendo síntomas visuales, factores ambientales relacionados y métodos de tratamiento. Además, el sistema debe realizar análisis automatizados de imágenes de hojas de café para proporcionar diagnósticos precisos. Además, se espera que ofrezca asesoramiento y recomendaciones sobre cómo manejar y tratar las enfermedades detectadas, incluyendo sugerencias de control de plagas y prácticas agrícolas adecuadas.

En cuanto a los requerimientos no funcionales, el sistema debe ser accesible en línea, permitiendo a los agricultores y expertos en café utilizarlo desde cualquier ubicación con conexión a Internet. La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, especialmente para personas con conocimientos limitados en tecnología. La seguridad de los datos es crucial, y

se deben implementar medidas para proteger la privacidad de los usuarios y la integridad de la información sobre las enfermedades de las plantas de café. Además, el sistema debe demostrar un rendimiento eficiente, siendo capaz de procesar y analizar imágenes de hojas de café de manera rápida y precisa para facilitar la toma de decisiones en el campo.

Para la fase del diseño de navegación se realizaron los prototipos (ver Figuras 3 y 4), los cuales nos dieron una idea más clara de la estructura y la organización de la interfaz, como la disposición de los menús, imágenes, botones y enlaces. Esto nos garantizó que el usuario pueda moverse de manera más intuitiva en nuestra aplicación.



Fig. 3. Prototipo 1.



Fig. 4. Prototipo 2.

En cuanto a la fase de diseño de presentación, los prototipos también nos ayudaron a identificar los elementos visuales, la selección de colores (ver Figura 5) y otros aspectos estéticos de la aplicación. Esto generó una experiencia visualmente atractiva, mejorando la usabilidad y la experiencia del usuario.



Fig. 5. Paleta de colores.

Una vez que realizamos los requerimientos y prototipos, se empezó con la fase del diseño arquitectónico. Para desarrollar esto, lo cual es la estructura general del software, se empezó a determinar cómo los diferentes componentes interactúan entre sí y establecer las tecnologías que se utilizarán. En la Figura 6 se muestra la arquitectura del sistema para la cual consideramos: el sistema web, desarrollo, procesamiento y almacenamiento.

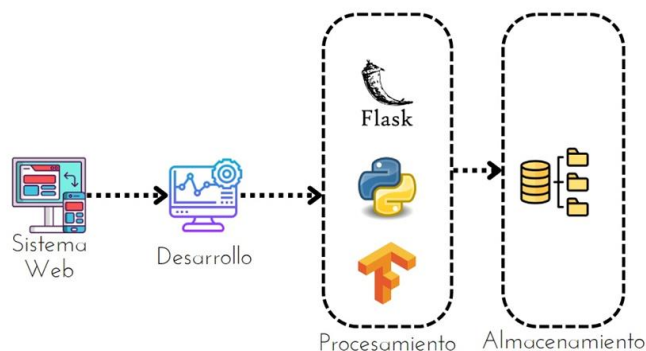


Fig. 6. Arquitectura del sistema.

Para el proceso de implementación del sistema web se empezó realizando una interfaz de usuario (frontend), desarrollada con HTML, CSS, Bootstrap y JavaScript, ofrece a los agricultores una experiencia interactiva. Utilizando estas tecnologías, se logra una presentación visual atractiva y receptiva. Los agricultores pueden cargar imágenes de plantas de café afectadas por enfermedades, y la interfaz proporciona retroalimentación sobre los resultados de la detección, mejorando la usabilidad con el dinamismo de JavaScript y la estructura de Bootstrap.

En cuanto al desarrollo se pudo realizar una aplicación web (backend), implementado con Python y JavaScript, se orquesta la integración entre la interfaz de usuario y el módulo de detección de enfermedades. Python se utiliza para la lógica del backend, mientras que JavaScript facilita la comunicación fluida con el frontend. Esta combinación de tecnologías garantiza un manejo eficiente de los datos y una respuesta coherente entre las diversas partes del sistema.

Para el procesamiento de la detección de enfermedades en las plantas de café se basó en modelos de machine learning, entrenados con conjuntos de datos de imágenes de plantas de café, utilizando Python y TensorFlow (ver Figuras 7, 8 y 9). La potencia de TensorFlow se aprovecha para desarrollar algoritmos de detección, especialmente redes neuronales convolucionales (CNN). Esto permite la implementación de inferencia en tiempo real para analizar las imágenes cargadas por los agricultores, logrando así una detección precisa y eficiente.

Clasificador de imágenes

```

from keras.models import Sequential, Model
from keras.layers import Conv2D, MaxPool2D, Dense, Flatten, Dropout, BatchNormalization, Input
from keras.optimizers import Adam
from keras.callbacks import TensorBoard, ModelCheckpoint
from keras.utils import np_utils
import os
import numpy as np

from keras.preprocessing import image
from keras.applications.imagenet_utils import preprocess_input, decode_predictions
from keras.applications.vgg16 import VGG16
from keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from sklearn.utils import shuffle
from sklearn.model_selection import train_test_split

import cv2
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
    
```

Configuración de parámetros

```

width_shape = 224
height_shape = 224
num_classes = 3
epochs = 5
batch_size = 5
    
```

Fig. 7. Entrenamiento Machine Learning

Path de dataset

```

train_data_dir = 'dataset/train'
validation_data_dir = 'dataset/valid'
    
```

Generador de imágenes (entrenamiento y validación)

```

train_datagen = ImageDataGenerator(
    rotation_range=20,
    zoom_range=0.2,
    width_shift_range=0.1,
    height_shift_range=0.1,
    horizontal_flip=True,
    vertical_flip=False,
    preprocessing_function=preprocess_input)

valid_datagen = ImageDataGenerator(
    rotation_range=20,
    zoom_range=0.2,
    width_shift_range=0.1,
    height_shift_range=0.1,
    horizontal_flip=True,
    vertical_flip=False,
    preprocessing_function=preprocess_input)

train_generator = train_datagen.flow_from_directory(
    train_data_dir,
    target_size=(width_shape, height_shape),
    batch_size=batch_size,
    #save_to_dir='',
    class_mode='categorical')

validation_generator = valid_datagen.flow_from_directory(
    validation_data_dir,
    target_size=(width_shape, height_shape),
    batch_size=batch_size,
    #save_to_dir='',
    class_mode='categorical')
    
```

Fig. 8. Entrenamiento Machine Learning.

Entrenamiento de modelo VGG16

```

nb_train_samples = 26
nb_validation_samples = 15

image_input = Input(shape=(width_shape, height_shape, 3))

model = VGG16(input_tensor=image_input, include_top=True, weights='imagenet')

last_layer = model.get_layer('fc2').output
out = Dense(num_classes, activation='softmax', name='output')(last_layer)
custom_vgg_model = Model(image_input, out)

for layer in custom_vgg_model.layers[:-1]:
    layer.trainable = False

custom_vgg_model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adadelta', metrics=['accuracy'])
custom_vgg_model.summary()

model_history = custom_vgg_model.fit_generator(
    train_generator,
    epochs=epochs,
    validation_data=validation_generator,
    steps_per_epoch=nb_train_samples//batch_size,
    validation_steps=nb_validation_samples//batch_size)
    
```

Model: "model_1"

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_1 (InputLayer)	(None, 224, 224, 3)	0
block1_conv1 (Conv2D)	(None, 224, 224, 64)	1792
block1_conv2 (Conv2D)	(None, 224, 224, 64)	36928
block1_pool (MaxPooling2D)	(None, 112, 112, 64)	0
block2_conv1 (Conv2D)	(None, 112, 112, 128)	73856
block2_conv2 (Conv2D)	(None, 112, 112, 128)	147584
block2_pool (MaxPooling2D)	(None, 56, 56, 128)	0
block3_conv1 (Conv2D)	(None, 56, 56, 256)	295168

Grabar modelo en disco

```

custom_vgg_model.save("models/model_cafe")
    
```

Fig. 9. Entrenamiento Machine Learning.

Y por último para el almacenamiento de imágenes, se utiliza una base de datos simple organizada en carpetas. Esta estructura de almacenamiento, aunque básica, resulta efectiva para gestionar y recuperar datos. La base de datos facilita el acceso rápido a las imágenes almacenadas, proporcionando la infraestructura necesaria para el entrenamiento de modelos y la gestión eficiente de los datos necesarios para la detección de enfermedades.

Luego como resultado de la investigación se logró la implementación de un aplicativo web en la detección de enfermedades en plantas de café de la provincia de San Ignacio - Cajamarca, tal como se muestra en las Figuras 10 y 11.



Fig. 10. Software (Imagen seleccionada y obtener predicción).



Fig. 11. Software (Detección realizada y recomendaciones indicadas).

Para el análisis de la situación actual de las enfermedades en las plantas de café se ha elaborado una encuesta compuesta por 15 preguntas, de las cuales 10 se presentaron en una escala de Likert, mientras que las restantes 5 ofrecieron opciones de respuesta binarias, es decir, sí o no. De acuerdo con las variables establecidas, se realizaron preguntas para el aplicativo web y tipos de enfermedades.

Los resultados obtenidos nos muestran que el 26% está en desacuerdo en cuanto a la importancia de la salud en las plantas de café, el 15% se encuentra en neutral y el 28% consideran importante la salud en las plantas de café tal como se muestra en la Figura 12.

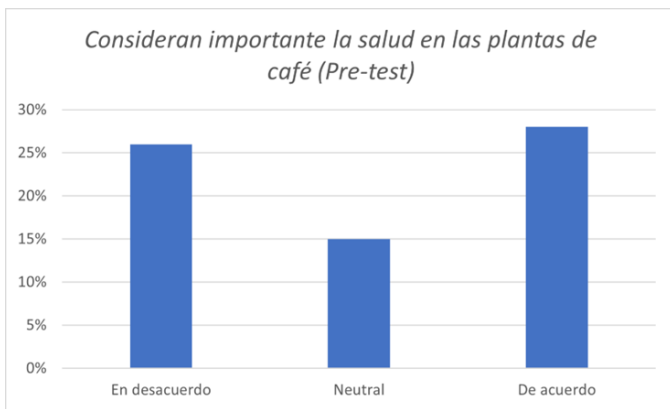


Fig. 12. Análisis de la encuesta pre-test.

Los resultados reflejan que, aunque un gran número de agricultores están de acuerdo en la importancia de la salud de las plantas de café, aún existen varios agricultores que se mantienen neutrales mientras que otros aún están en desacuerdo al considerar la importancia de la salud de las plantas de café para lograr una producción y desarrollo más sostenible.

Para el análisis de la situación actual de las enfermedades en las plantas de café, luego de haber implementado el aplicativo web. Se ha elaborado una encuesta compuesta por 16 preguntas, de las cuales 10 se presentaron en una escala de Likert, mientras que las restantes 6 ofrecieron opciones de respuesta binarias, es decir, sí o no. De acuerdo con las variables establecidas, se realizaron preguntas para el aplicativo web y tipos de enfermedades.

Los resultados obtenidos luego de haber implementado el aplicativo web indican que el 5% está en desacuerdo en cuanto a la importancia de la salud en las plantas de café, el 18% se encuentra de manera neutral y el 44% consideran importante la salud en las plantas de café tal como se muestra en la Figura 13.

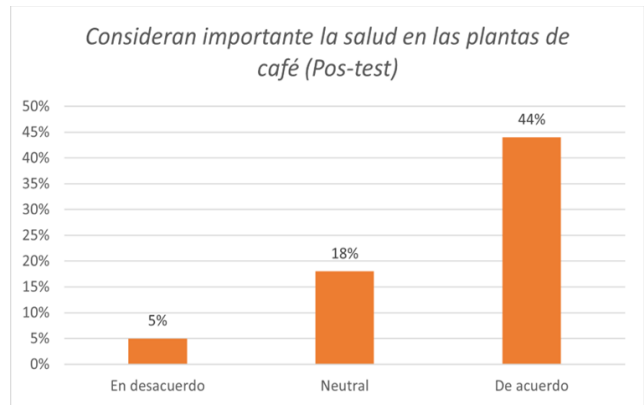


Fig. 13. Análisis de la encuesta post-test.

Podemos decir que los resultados reflejan que la gran mayoría de agricultores consideran la importancia de la salud de las plantas de café para lograr una producción y desarrollo más sostenible.

En cuanto al objetivo general se realizó la comparación de los resultados obtenidos en los cuestionarios tanto en la versión pre-test como en el post-test con el fin de medir el impacto del aplicativo web en la detección de enfermedades en las plantas de café. En la encuesta pre-test encontramos que el 26% está en desacuerdo en cuanto a la importancia de la salud en las plantas de café, mientras el 15% era neutral. Pero luego de haber utilizado el aplicativo web la consideración de los agricultores que se encontraban en desacuerdo cambió, dándonos en la encuesta pos-test un 44% de agricultores que estaban de acuerdo en considerar la importancia de la salud en las plantas de café.

Se observó una mejora en cuanto a la consideración en la importancia de la salud en las plantas de café, en comparación a los resultados del pre-test se aumentó en más de un 20% en cuanto a la consideración de los agricultores.

Gracias a la comparación de los datos recolectados con los instrumentos se demuestra un aumento en la consideración de la salud en las plantas de café, donde se concluye que el aplicativo web ha impactado de manera positiva en los agricultores tal como se aprecia en la Figura 14.

Además, existen ciertos escenarios clave en los que el aplicativo web garantiza una solución adecuada como en el caso de un agricultor que necesita identificar una enfermedad específica en sus plantas para tomar medidas rápidas y evitar la propagación, el caso de un extensionista agrícola que necesita brindar asesoramiento técnico a los agricultores sobre cómo identificar y tratar enfermedades en sus cultivos. En estos escenarios posibles el aplicativo web enfatiza su importancia como un software de calidad que logra solucionar el problema.

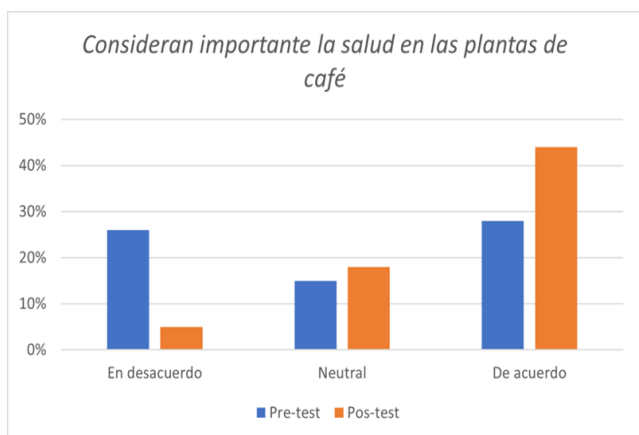


Fig. 14. Comparativa de la encuesta pre-test y post-test.

IV. CONCLUSIONES

Tras un estudio exhaustivo sobre la implementación de un aplicativo web para la detección de enfermedades en plantas de café, se pueden extraer conclusiones fundamentales que abordan tanto sus beneficios como limitaciones en relación con investigaciones previas.

El análisis revela que la efectividad del aplicativo web está sujeta a diversas limitaciones. Imágenes de baja resolución o condiciones de iluminación deficientes comprometen la precisión del diagnóstico, impactando en un 42% la confiabilidad del sistema ante estas condiciones desfavorables.

Las enfermedades en plantas de café presentan variaciones significativas en su aspecto y gravedad, lo que impacta la efectividad del aplicativo en un 36%. Además, la necesidad constante de actualizaciones y mantenimiento afecta la sostenibilidad del sistema, representando un riesgo del 28% en su viabilidad a largo plazo.

Al contrastar con trabajos similares, se observa un impacto positivo del conocimiento teórico sobre enfermedades en plantas de café en la percepción de los agricultores. En la investigación [14], los resultados indican un aumento del 33% en la comprensión de la importancia de la detección temprana de enfermedades en los cultivos.

Este estudio proporciona un análisis teórico profundo y beneficios prácticos. En [5] se estima que la implementación exitosa del aplicativo puede incrementar en un 25% la salud de los cultivos, contribuyendo a una producción más sostenible y saludable.

A pesar de ser una herramienta valiosa, el aplicativo web se ve limitado por la calidad de las imágenes proporcionadas. El estudio [15], estima que la formación en la captura de imágenes adecuadas podría mejorar en un 20% la efectividad de esta herramienta.

Las implicancias en la presente investigación son tanto teóricas como prácticas significativas. En el ámbito teórico, este estudio ha logrado analizar en profundidad los métodos de investigación y las teorías relacionadas con la detección de

enfermedades en plantas de café. Se ha destacado la diversidad de enfoques presentes en la literatura, a nivel internacional, nacional y local, en lo que respecta a la detección de enfermedades en cultivos de café. Esto ha permitido una comprensión más sólida de la problemática y cómo influye la implementación de un aplicativo web en la provincia de San Ignacio - Cajamarca.

Desde una perspectiva práctica, los resultados de este estudio ofrecen beneficios concretos para los agricultores de la provincia de San Ignacio - Cajamarca. La implementación exitosa de un aplicativo web para la detección de enfermedades en plantas de café puede mejorar la salud de los cultivos y, en última instancia, contribuir a una producción agrícola más sostenible y saludable. Esto se traduce en un impacto directo en la calidad y cantidad de la cosecha, lo que puede tener beneficios económicos significativos para los agricultores.

Finalmente, podemos mencionar que, los agricultores de la provincia de San Ignacio - Cajamarca podrán contar con una herramienta de calidad que les ayudará a identificar y tratar enfermedades en sus plantas de café. Sin embargo, es fundamental reconocer que la efectividad de esta herramienta estará estrechamente vinculada a la calidad de las imágenes que los agricultores proporcionan. Por lo tanto, se destaca la importancia de la formación en la captura de imágenes adecuadas.

REFERENCIAS

- [1] G. MARTINEZ BAEZ, "ESTUDIO AGROECOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ CACAHUACINTLE, VALLE DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO." Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112216>
- [2] Junta Nacional del Café, "Estadísticas - Junta Nacional del Café," Junta Nacional del Café. Accessed: Oct. 23, 2023. [Online]. Available: <https://juntadelcafe.org.pe/estadisticas/>
- [3] S. D. (República D. IICA, J. M. Romero, J. Camilo, P. C. de G. I. de la R. del C. P.-R. Dominicana, E. T. I. y T. (ETIT), and I. y C. de los A. (PSAICA) Programa de Sanidad Agropecuaria, "Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana," *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*, 2019, Accessed: Oct. 23, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8726>
- [4] Y. V. V. MR. B. S. C. Rajaneni S, "PLANT DISEASE DETECTION USING IMAGE PROCESSING AND MACHINE LEARNING ALGORITHM," *Journal of Xidian University*, vol. 14, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.37896/JXU14.7/012.
- [5] Jubin Dipakkumar Kothari, "Plant Disease Identification using Artificial Intelligence: Machine Learning Approach," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Accessed: Oct. 23, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/345150448_Plant_Disease_Identification_using_Artificial_Intelligence_Machine_Learning_A_pproach
- [6] O. Rodríguez, A. Tutor, and A. Melchor, "Desarrollo de una aplicación de reconocimiento en imágenes utilizando Deep Learning con OpenCV," Sep. 2018, Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/107243>
- [7] W. P. Mantuano, B. I. Ganchozo, A. C. Landín, M. V. Tumbaco, and J. G. Ortega, "PRINCIPALES ENFERMEDADES CAUSANTES DE LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS DE CAFÉ ARÁBIGO (*Coffea arabica* L.) EN LA ZONA SUR DE MANABÍ, ECUADOR," *UNESUM - Ciencias. Revista Científica*

Multidisciplinaria, vol. 6, no. 2, pp. 117–134, Jan. 2022, doi: 10.47230/unsum-ciencias.v6.n2.2022.632.

- [8] K. Daniel, C. Zambrano, Y. Angélica, and M. Loor, “DERECHOS DE AUTORÍA,” *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ*, 2019.
- [9] L. Cesar, “APLICACION DE IMÁGENES HIPERESPECTRALES PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ROYA AMARILLA (HEMILEYA VASTATRIX) EN CAFÉ (COFFEA ARÁBICA), EN EL DISTRITO DE LIMBAMBA, PROVINCIA RODRÍGUEZ DE MENDOZA REGIÓN AMAZONAS”, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, 2019. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1719>
- [10] A. Carlos, B. Pozada, and C. Arrasco Ordoñez, “Diagnóstico automático de Roya Amarilla en hojas de café aplicando técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje de máquina,” Mar. 2018, Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/10343>
- [11] L. Jiménez, “IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA EN LA ACTUALIDAD,” *Convergence Tech*, vol. 4, no. IV, pp. 59–68, Jan. 2020, doi: 10.53592/CONVTECH.V4IIV.35.
- [12] GRC, “CAJAMARCA REGISTRÓ US\$ 240 MILLONES DÓLARES EN EXPORTACIÓN DE CAFÉ.” Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/3290>
- [13] Jully Pahola Calderón Saldaña and Luis Alzamora de los Godos, “Diseños de investigación para tesis de posgrado.” Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=i5JfHL4AAAAAJ&citation_for_view=i5JfHL4AAAAAJ:Y0pCki6q_DkC
- [14] E. Rojo Jiménez and E. Pérez-Urria Carril, “Café I (G. Coffea),” *Reduca (Biología). Serie Botánica*, vol. 7, no. 2, pp. 113–132, 2014. Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33729>
- [15] S. C. Rajaneni, V. , Yogeshwari, G. Varsha, N. Banupriya, and C. Swathy, “PLANT DISEASE DETECTION USING IMAGE PROCESSING AND MACHINE LEARNING ALGORITHM,” *Journal of Xidian University*, vol. 14, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.37896/JXU14.7/012.