



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA DE SOFTWARE
Creada Ley No. 10 – Registro Oficial 313 de noviembre 13 de 1985

TEMA

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL BASADO EN EFFICIENTNET-
B4 PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE MONILIOPHTHORA
RORERI EN CULTIVOS DE CACAO EN LA GRANJA
EXPERIMENTAL EL CARMEN

PROYECTO INTEGRADOR
MONITOREO FITOSANITARIO DIGITAL DEL CACAO

AUTOR
RODRIGUEZ CEDAÑO CARLOS DEIVI

DIRECTOR DEL TEMA
ING. REASCOS PINCHAO RAUL SAED, MG.

EL CARMEN, 2025



CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante RODRIGUEZ CEDEÑO CARLOS DEIVI, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería de Software, periodo académico 2025(2)-2026(1), cumpliendo el total de 288 horas, cuyo tema del proyecto es "SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL BASADO EN EFFICIENTNET-B4 PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE MONILIOPHTHORA RORERI EN CULTIVOS DE THEOBROMA CACAO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL ULEAM EL CARMEN".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 31 de julio de 2026.

Lo certifico,



Ing. Saed Reascos Pinchao, Mg.
Docente Tutor
Área: Tecnologías de la Información & Software
Software



Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Extensión El Carmen

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Título del Trabajo de Titulación:

Sistema de visión artificial basado en Efficientnet-b4 para la detección temprana de Moniliophthora roreri en cultivos de cacao en la granja experimental el Carmen

Modalidad:

Proyecto Integrador

Autora:

Rodriguez Cedeño Carlos Deivi

Tutora:

Ing. Reascos Pinchao Raúl Saed, Mg.

Tribunal de Sustentación:

Presidente: Ing. Minaya Macias Renelmo Wladimir

Miembro: Ing. Arévalo Hermida Rómulo Danilo

Miembro: Ing. Mendoza Villamar Rocío Alexandra

Fecha de Sustentación:

27 de Agosto de 2026



DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

La responsabilidad del contenido de este Trabajo de titulación, cuyo tema es: **SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL BASADO EN EFFICIENTNET-B4 PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE MONILIOPTHORA RORERI EN CULTIVOS DE CACAO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL EL CARMEN**, corresponde exclusivamente a: **CARLOS DEIVI RODRIGUEZ CEDEÑO** con CI. 2300551393 y los derechos patrimoniales de la misma corresponden a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Carlos Deivi Rodríguez Cedeño
2300551393

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, de manera especial a mis PADRES y hermana quienes fueron el pilar fundamental en este proceso de formación académica y personal, brindándome su apoyo confianza, comprensión, paciencia y sacrificio que fueron esenciales a lo largo de toda mi carrera para superar cada una de las dificultades que se presentaron en esta etapa de mi vida.

A mis amigos que fueron quienes estuvieron en cada una de mis etapas por el apoyo brindado en los momentos de dificultades que se presentaban, por cada una de sus palabras de ánimo para no rendirme y las risas que hicieron más llevadero el esfuerzo. Su amistad fue un impulso invaluable para motivarme y seguir que los grandes objetivos también se instruyen con compañía y solidaridad.

Carlos Deivi Rodríguez Cedeño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

A mis padres quienes fueron las personas que lograron que cumpla una meta más, brindándome su apoyo en todos los aspectos y por la paciencia que tuvieron en todo este ciclo, también agradezco a mi hermana mayor quien fue la persona que me ayudo en ciertas dificultades.

A la universidad por brindarme información integral, y un espacio donde pude crecer como profesional, su calidad de educación fue pilar fundamental en mi crecimiento

A los ingenieros quienes a partir de su exigencia, conocimiento, experiencia y orientación educativa me ayudaron en esta investigación, a mis amigos y compañeros por brindarme su amistad sus consejos que me ayudaron a seguir adelante

Finalmente agradezco a todas la quienes ayudaron directa o indirectamente en esta investigación, su aporte forma parte de este logro.

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XVII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT	XX
CAPÍTULO I.....	1
1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Presentación del tema	2
1.3 Contextualización de la problemática.....	2
1.4 Planteamiento del problema	3
1.4.1 Problematización.....	3
1.4.2 Génesis del problema.....	4

1.4.3	Estado actual del problema	4
1.5	Diagrama causa-efecto	5
1.6	Objetivos.....	5
1.7	Justificación	6
1.8	Impactos esperados.....	7
1.8.1	Tecnológico	7
1.8.2	Social.....	7
1.8.3	Ecológico.....	7
CAPÍTULO II		9
2.	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	Antecedentes históricos	9
2.2	Investigaciones relacionadas	12
2.2.1	Modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección y clasificación de la moniliasis en el cacao.	12
2.2.2	Incidencia del Manejo Cultural de Monilla (Moniliophthora Roreri) y Escoba de Bruja (Moniliophthora Perniciosa) en Cacao CCN-51 (Teobroma Cacao L) en la Provincia del Cañar	14
2.2.3	Uso de U-Net y Redes Neuronales Convolucionales para la Detección de la Moniliasis (Moniliophthora Roreri) en Mazorcas De Cacao.....	16
2.3	Definiciones conceptuales y categorías clave	17
2.3.1	Introducción a la inteligencia artificial.....	17
2.3.2	Arquitectura general de una red neuronal artificial	17

2.3.3 Sistemas inteligentes aplicados al agro	17
2.3.4 Flujo de datos en sistemas de visión artificial	18
2.3.5 Redes neuronales convolucionales (CNN).....	18
2.3.6 Aplicaciones de CNN en visión por computadora	18
2.3.7 Introducción al modelo EfficientNet	19
2.3.8 Características del modelo EfficientNet-B4.....	19
2.4 Variable dependiente la moniliophthora roreri en cultivos de cacao	19
2.4.1 Importancia del cultivo de cacao en el ecuador y su impacto socio económico	19
2.4.2 Condiciones agronómicas y manejo de cultivo de cacao.....	20
2.4.3 Características generales de la monilla roreri	20
2.4.4 Ciclo biológico de la propagación del hongo.....	21
2.4.5 Síntomas y fases de la moniliasis	21
2.4.6 métodos tradicionales de la detección de enfermedades	21
2.4.7 Impacto de la molíais en la producción de cacao.....	22
2.4.8 Factores ambientales que influyen en la aparición de la moniliasis.....	22
2.5 Conclusiones del marco teórico.....	23
CAPÍTULO III	24
3. MARCO INVESTIGATIVO	24
3.1 Introducción.....	24
3.2 Tipo y métodos de investigación	25
3.2.1 Investigación bibliográfica	25

3.2.2 Investigación de campo.....	25
3.2.3 Investigación aplicada.....	26
3.2.4 Método inductivo	26
3.2.5 Método deductivo.....	26
3.3 Fuentes de información	27
3.4.1 Encuestas.....	27
3.4.2 Entrevistas	27
3.4 Estrategia de recolección de datos.....	27
3.4.1 Población.....	27
3.4.2 Muestra.....	28
3.5 Análisis e interpretación de resultados	28
3.5.1 Plan de recolección de datos	29
3.5.2 Análisis de encuestas realizadas a estudiantes de agropecuaria en la Uleam extensión el Carmen.....	29
3.5.3 Análisis de la entrevista aplicada a un ingeniero de la faculta de agropecuaria	32
3.5.4. Interpretación de resultados	36
CAPÍTULO IV	38
4. MARCO PROPOSITIVO.....	38
4.1 Introducción.....	38
4.2 Descripción de la propuesta tecnológica	38
4.2.1 Descripción de la propuesta	38

4.2.2 Propósito del producto	39
4.2.3 Funcionalidades clave	39
4.2.4 Usuarios objetivos.....	39
4.2.5 Condiciones de éxito del producto	40
4.2.6 Metodología scrum.....	40
4.3 Recursos requeridos (humanos, tecnológicos, económicos).....	42
4.3.1 Humanos	42
4.3.2 Tecnológicos	42
4.3.3 Económicos	43
4.4 Fases de desarrollo del software mediante sprint	44
4.4.1 Sprint 1 Levantamiento y preparación del proyecto	44
4.4.2 Sprint 2 Recolección y gestión de datos.....	47
4.4.3 Sprint 3 Preprocesamiento y augmentación	50
4.4.4 Sprint 4 Baseline de modelos y pruebas iniciales	52
4.4.5 Sprint 5 Mejora del modelo y validación.....	55
4.4.6 Sprint 6 Interfaz de prueba e inferencia	57
4.4.7 Sprint 7 Interfaz de usuario y funcionalidades de campo	59
4.4.8 Sprint 8 validación de campo test y entrega final	66
4.5 Descripción técnica del sistema.....	70
4.5.1 Diagrama de flujo de la aplicación.....	70
4.5.2 Diagrama de secuencia.....	70
4.4.4.3 Diagrama de estado.....	71

4.6 Pantallas del sistema.....	72
4.6.1 pantalla de inicio	72
4.6.2 pantalla de análisis	73
4.6.3 pantalla de mostrar resultados	74
CAPÍTULO V	75
5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	75
5.1 Introducción.....	75
5.2 Validación técnica y funcional del producto.....	76
5.2.2 Ejecución de la validación.....	76
5.2.2.1 Proceso de análisis de imágenes	77
5.2.2.2 Resultados de precisión del modelo	77
5.3 Análisis de impacto y resultados obtenidos	79
5.3.1 Análisis de la precisión.....	79
5.3.2 Análisis del rendimiento.....	79
5.3.3 Cumplimiento del objetivo.....	80
CAPÍTULO VI.....	81
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
6.1 Conclusiones	81
6.2 Recomendaciones	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS	86
GLOSARIO.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de recolección de datos.....	29
Tabla 3 Análisis de encuesta.....	29
Tabla 4 Análisis de entrevista.....	32
Tabla 5 Usuario objetivo	39
Tabla 6 Recursos humanos.....	42
Tabla 7 Recursos tecnológicos	42
Tabla 8 Recurso económicos.....	43
Tabla 9 Historia de usuario 1	44
Tabla 10 Historia de usuario 2	45
Tabla 11 Backlog inicial.....	45
Tabla 12 Backlog final sprint 1.....	46
Tabla 13 Historia de usuario 3	47
Tabla 14 Historia de usuario 4	48
Tabla 15 Backlog final sprint 2	48
Tabla 16 Backlog final sprint 2	49
Tabla 17 Historia de usuario 5	51
Tabla 18 Backlog inicial.....	51
Tabla 19 Backlog final sprint 1	51
Tabla 20 Historia de usuario 6	53
Tabla 21 Backlog final del sprint 4	54
Tabla 22 Historia de usuario 7	56
Tabla 23 Backlog final del sprint 5	56
Tabla 24 Historia de usuario 8	57

Tabla 25 Backlog final del sprint 6	58
<i>Tabla 26 Historia de usuario 10</i>	60
Tabla 27 Historia de usuario 11	60
Tabla 28 Caso de uso: Analizar imagen por captura	61
Tabla 29 Historia de usuario 10	62
Tabla 30 Caso de uso: Analizar imagen por galería	63
Tabla 31 Backlog final del sprint 7	64
Tabla 32 Historia de usuario 8	67
Tabla 33 Historia de usuario 11	67
Tabla 34 Historia de usuario 12	68
Tabla 35 Backlog final del sprint 8	68
Tabla 36 Planificación de evaluación	76
Tabla 37 Proceso de análisis de imágenes	77
Tabla 38 Precisión del modelo	77
Tabla 39 Tiempo de respuestas	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de Fases de Metodología scrum	40
Ilustración 2 arquitectura EfficientNet-B4.....	46
Ilustración 3 Dataset público.....	49
Ilustración 4 Dataset recolectados.....	49
Ilustración 5 Limpieza de ruido en las imágenes	52
Ilustración 6 Clasificación de imágenes.....	52
Ilustración 7 Aplicación del modelo EfficientNet-B4.....	54
Ilustración 8 Primer modelo de IA entrenado	54
Ilustración 9 Mejora del modelo	57
Ilustración 10 Mejoras de interferencia de imágenes.....	58
Ilustración 11 caso de uso 1	60
Ilustración 12 Caso de uso: Analizar imagen de galería	62
Ilustración 13 Interfaz web.....	64
Ilustración 14 Prueba uno del modelo.....	65
Ilustración 15 Prueba dos del modelo	65
Ilustración 16 Prueba 3 del modelo.....	66
Ilustración 17 Prueba uno del modelo.....	69
Ilustración 18 Prueba dos del modelo	69
Ilustración 19 Prueba 3 del modelo.....	69
Ilustración 20 Diagrama de flujo de la aplicación.....	70
Ilustración 21 Diagrama de secuencia de la aplicación.....	70
Ilustración 22 Diagrama de estado de la aplicación.	71
Ilustración 23 Pantalla menú.....	72
Ilustración 24 Pantalla de análisis	73

Ilustración 25 Pantalla de resultados	74
Ilustración 26 del tutor asignado	86
Ilustración 27 Parte 1 de la encuesta	87
Ilustración 28 Parte 2 de la encuesta	87
Ilustración 29 Parte 3 de la encuesta	88
Ilustración 30 Parte 4 de la encuesta	88
Ilustración 31 Preguntas de la entrevista.....	89
Ilustración 32 Anexo entrevista.....	90
Ilustración 33 Proceso de análisis del sistema	91

RESUMEN

El cultivo de cacao constituye una de las principales actividades agrícolas del Ecuador, sin embargo, la presencia de enfermedades fitosanitarias, especialmente la *Moniliasis* causada por el hongo *Moniliophthora roreri* afecta significativamente la productividad y la calidad de las cosechas. La detección de esta enfermedad continúa realizándose en gran medida, mediante inspecciones visuales, lo que dificulta un diagnóstico oportuno y aumenta el riesgo de propagación del patógeno.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un sistema de visión artificial basado en la arquitectura Efficientnet-B4 para la detección de la enfermedad *Moniliasis* en cultivos de cacao del cantón El Carmen de la provincia de Manabí. La metodología empleada integró investigación bibliográfica de campo y aplicada, para la recolección de información se aplicaron encuestas a estudiantes de ULEAM extensión El Carmen, y una entrevista a un profesional del área siendo una muestra de la población de estudio conformada por 389 estudiantes de la facultad de agropecuaria. Así mismo se construyó un conjunto de imágenes mediante la recopilación de fotografías obtenida en la granja experimental Uleam y dataset públicos para el entrenamiento del modelo.

Como resultado se obtuvo un sistema capaz de analizar imágenes de mazorcas de cacao y generar un diagnóstico automatizado, constituyendo una herramienta de apoyo para el monitoreo fitosanitario y la detección de esta enfermedad. La propuesta evidencia el potencial de la inteligencia artificial para contribuir al fortalecimiento del sector cacaotero.

ABSTRACT

Cocoa cultivation is a key agricultural activity in Ecuador; however, the presence of plant diseases particularly Moniliasis, caused by the fungus *Moniliophthora roreri* significantly impacts crop productivity and quality. Detection of this disease still relies largely on visual inspections, which hinders timely diagnosis and increases the risk of pathogen spread.

This research aimed to develop a computer vision system based on the EfficientNet-B4 architecture to detect Moniliasis in cocoa crops in the El Carmen canton of Manabí province. The methodology combined literature reviews with field and applied research; data collection involved surveys of students from the ULEAM El Carmen extension and an interview with a professional in the field, drawing from a study population of 389 students from the Faculty of Agricultural Sciences. Additionally, an image dataset was compiled using photographs obtained from the ULEAM experimental farm and public datasets to train the model.

The result was a system capable of analyzing images of cocoa pods and generating an automated diagnosis, serving as a support tool for phytosanitary monitoring and disease detection. This proposal demonstrates the potential of artificial intelligence to contribute to strengthening the cocoa sector.

CAPÍTULO I

1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente proyecto presentado como un sistema de visión artificial basado en EfficientNet-B4 para la detección de monilla en cultivos de cacao integra dos conceptos clave; visión artificial y red neuronal convolucional. Estos conceptos son claves para el desarrollo de una herramienta de trabajo en la industria agropecuaria que facilite la detección de monilla en cultivos de cacao.

En la actualidad, el diagnóstico de un cultivo de cacao depende únicamente de la experiencia del productor o técnico, quienes realizan una inspección de forma visual. Este proceso requiere de un conocimiento especializado para identificar los síntomas y enfermedades presentes en la mazorca. Generalmente la falta de conocimiento, la ausencia de personal capacitado y la dificultad de reconocimiento de enfermedades son las principales causas que reducen el nivel de calidad en la producción del cacao. Sin embargo, en la granja experimental ULEAM extensión El Carmen no existe una herramienta que permita ayudar a identificar esta enfermedad fitosanitaria a personas sin conocimientos en el área.

Frente a esta problemática el desarrollo de una herramienta tecnológica basada en inteligencia artificial representa una alternativa eficiente e innovadora para apoyar el diagnóstico de la mazorca, el uso de tecnologías de aprendizaje profundo ha demostrado un alto nivel de desempeño realizando tareas de identificación de patrones en imágenes. En estas arquitecturas se presenta EfficientNet-B4 esta tecnología presenta un equilibrio

entre precisión y eficiencia computacional convirtiéndose en una opción adecuada para identificación de enfermedades mediante imágenes.

1.2 Presentación del tema

El proyecto “SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL BASADO EN EFFICIENTNET-B4 PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE MONILIOPHTHORA RORERI EN CULTIVOS DE CACAO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL EL CARMEN” propone realizar una herramienta tecnológica con entrenamiento IA para identificar hongos-líquenes, basado EfficientNet-B4 en la detección temprana de la *Moniliophthora roreri* en cultivos de cacao en la Granja Experimental extensión El Carmen, el cual tiene como finalidad beneficiar a los agricultores de manera que detecte las enfermedades fúngicas de manera temprana causadas por hongos en la planta del cacao a partir de imágenes.

1.3 Contextualización de la problemática

En la actualidad la detección de *Moniliophthora roreri* se ha convertido en un problema al cultivar cacao en la Granja Experimental ULEAM extensión El Carmen, esta es una de las principales enfermedades más comunes en los cultivos de cacao, este hongo se reproduce liberando esporas microscópicas la cuales afectan principalmente a las mazorcas (frutos), causando un 30% a 80% de pérdidas anuales debido a la baja calidad del fruto.

Tradicionalmente, el diagnóstico de estas anomalías en el fruto se realiza de manera visual por parte de los agricultores o dueños de los cultivos, lo que requiere un proceso visual para identificar el hongo este proceso es tardío y propenso a errores. De acuerdo con la enfermedad los síntomas son visibles a partir etapas avanzadas del hongo, minimizando las posibilidades de implementar medidas de prevención o de sanación. Por

otro lado, las condiciones climáticas del cantón El Carmen, caracterizadas por ser una de las zonas con ambientes húmedos y cálidos, lo cual favorece a la reproducción del hongo.

Dentro de este contexto, aparece la necesidad de implementar una solución que facilite la detección temprana de hongos y líquenes en las hojas y frutos del cacao. Por lo tanto, este proyecto se basa en el entrenamiento de inteligencia artificial para detectar hongos y líquenes, como parte integral del sistema de visión artificial basado en EfficientNet-B4. El cual permitirá entrenar modelos de redes neuronales convolucionales capaces de reconocer patrones visuales característicos de enfermedades, mejorando la precisión y rapidez del diagnóstico fitosanitario.

1.4 Planteamiento del problema

El problema radica en la granja experimental el Carmen específicamente en el área de agricultura en los cultivos de cacao, donde existe la contaminación de *moniliophthora roreri* lo que produce un aumento significativo en la baja calidad del producto, parámetros como la temperatura atmosférica la humedad en el aire, falta de conocimiento al tratar una planta provocan un aumento en la reproducción del hongo.

1.4.1 Problematicación

En la granja experimental en ULEAM extensión el Carmen en la facultad de agropecuaria existe un amplio cultivo de cacao que se expone a las condiciones climáticas favorecen la presencia de enfermedades de fungicidas, por su ubicación geográfica su temperatura ronda en los 22 hasta los 26 centígrados y una humedad aproximada de 80% a 82% condiciones naturales que provocan la proliferación de estos hongos.

Sin embargo, otras prácticas como la mala poda, el manejo incorrecto de la planta, la mala distribución entre planta y planta, la presencia de plagas y la toma errónea de

decisiones son otros factores claves que causan la presencia de esta enfermedad. El hongo *Moniliophthora roreri* mayormente conocida como monilla es una enfermedad que provoca pudrición del fruto afectando directamente a su producción induciendo a pérdidas económicas para el productor.

1.4.2 Génesis del problema

El Carmen el cultivo de cacao es uno de los productos que más se exporta y genera fuente importante de ingreso económicos en el cantón. Sin embargo, su producción se ve deteriorada y dañada por enfermedades como la *Moniliophthora roreri*, conocida comúnmente como la moniliasis, causada por el hongo que deteriora los frutos y por consecuencia reduce su calidad.

A lo largo del tiempo el incremento de esta enfermedad ha provocado importantes pérdidas en la producción cacaotera, debido a que afecta directamente al producto lo que disminuye la calidad del producto y la cantidad del mismo. En la granja experimental la presencia de esta enfermedad es evidente sin embargo en el contexto local aun es limitada la disponibilidad de herramientas que integran tecnologías que faciliten la detección de esta enfermedad en cultivos de cacao.

1.4.3 Estado actual del problema

En la granja experimental ULEAM extensión El Carmen la carencia de una herramienta tecnológica con visión artificial para la detección de enfermedades en cultivos de cacao representa una barrera significativa para la producción de cacao. La falta de un sistema capaz de identificar una enfermedad junto a las condiciones climáticas presentes en la provincia dificulta la producción de cacao de calidad.

Estas circunstancias originan varios problemas que afectan directamente al cultivo de cacao en la granja experimental de la facultad. Las enfermedades fitosanitarias son uno

de los desafíos más importantes, ya que obstaculizan el cultivo de cacao de buena calidad, dificultan el proceso del crecimiento del fruto causando su pudrición por falta de conocimiento para identificar dichos patógenos. La falta de un sistema de visión artificial agudiza estos problemas.

1.5 Diagrama causa-efecto

Ilustración 1 Diagrama causa-efecto



1.6 Objetivos

1.6.1 General

Diseñar e implementar un sistema de visión artificial basado en la arquitectura EfficientNet-B4 para la detección temprana de *Moniliophthora roreri* en los cultivos

de cacao del cantón El Carmen, con el fin de reducir las pérdidas agrícolas mediante el diagnóstico automatizado de imágenes.

1.6.2 Específicos

- Realizar una investigación documental y de campo sobre la incidencia, características morfológicas, condiciones ambientales favorables y ciclo de vida del hongo *Moniliophthora roreri* en los cultivos de cacao del cantón El Carmen y redes neuronales CNN, con el propósito de establecer una base científica que permita el desarrollo de un sistema de detección temprana mediante visión artificial.

- Recolectar información en la Granja Experimental de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, sobre las deficiencias, enfermedades y problemas presentes en el cultivo de plantas de cacao, con el fin de identificar factores críticos que afectan la producción y orientar el desarrollo de un sistema de detección temprana de *Moniliophthora roreri*

- Desarrollar un sistema de visión artificial basado en inteligencia artificial utilizando la arquitectura EfficientNet-B4, que permita la detección del hongo *Moniliophthora roreri* en cultivos de cacao en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión El Carmen. El sistema estará diseñado para analizar imágenes del fruto de la planta, identificar síntomas visuales de la enfermedad y emitir alertas automáticas, contribuyendo así a la reducción de pérdidas agrícolas, la mejora de la productividad y la toma de decisiones oportunas en el manejo fitosanitario del cultivo.

- Finalmente, se realizará la validación del modelo EfficientNet-B4 mediante pruebas con imágenes de mazorcas de cacao, con el propósito de comprobar su capacidad para identificar la presencia de *Moniliophthora roreri*. Para ello, se utilizarán imágenes que no hayan sido empleadas durante el entrenamiento, permitiendo evaluar el

comportamiento del modelo y determinar su desempeño en la clasificación de frutos sanos y afectados por la enfermedad.

1.7 Justificación

El desarrollo e implementación de un sistema móvil interactivo capaz de identificar enfermedades fitosanitarias en cultivos de cacao en la granja experimental ULEAM extensión El Carmen constituye una alternativa para mejorar la calidad de la producción de cacao. Al facilitar la detección del hongo *Moniliophthora roreri* con mayor facilidad. La propuesta no se limita a ser un sistema solo de detección de la monilla, al ser un sistema integrador la aplicación en general permitirá identificar otros factores claves que provocan la presencia de dicho hongo.

1.8 Impactos esperados

1.8.1 Tecnológico

El sistema móvil con visión artificial para la detección de monilla en cultivos de cacao incentivará el uso de tecnologías en agropecuaria. Al integrar herramientas tecnológicas avanzadas mejora la eficiencia en la toma de decisiones frente a problemas específicos. Por otro lado, este sistema constituye una base para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de soluciones inteligentes orientadas a la agricultura.

1.8.2 Social

En el impacto social el desarrollo de esta aplicación beneficia principalmente a productores de cacao, estudiantes, técnicos y profesionales en el área, al ser una herramienta tecnológica de soporte que facilita la detección de anomalías en el cultivo de cacao, lo que contribuye a fortalecer la toma de decisiones. De esa manera, su impacto social se proyecta ayudando a productores con poco conocimiento, alimentos de mejor calidad para el consumo humano, menos químicos y trabajo menos pesado.

1.8.3 Ecológico

El desarrollo de esta aplicación tiene un impacto significativo en el ámbito ecológico, al ser una herramienta que previene enfermedades en los cultivos de cacao previene la presencia de hongos y enfermedades fitosanitarias, lo que evita el uso masivo de productos químicos utilizados para eliminar los patógenos mencionados afectando principalmente al suelo y aire teniendo en cuenta que algunos químicos afectan directamente al fruto que probablemente será consumido por los humanos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes históricos

El científico Frank Rosenblatt dentro los años 1950 y 1960 desarrolló el primer Perceptrón, mismo que fue considerado el principio de las redes neuronales, debido a que funcionaba de una manera simple, recibiendo como entrada combinaciones binarias, brindando como salida una única respuesta de esa forma y conectando muchos más perceptrones se fundaba la primera red neuronal (Bagnato & Ignacio, 2020).

Desde la década 1980 se buscaba la manera de entrenar una red neuronal que obtenga su aprendizaje de manera automática por lo que a partir de ese evento fue necesario la creación de nuevas neuronas llamadas Sigmoides con semejante funcionalidad que los perceptrones, pero con la diferencia que acepta como entrada no solo binarios sino también números reales, de modo que fue creciendo la idea de la inteligencia artificial (Goodfellow, Bengio, & Aaron, 2016).

Por otra parte, la recreación de un cerebro humano (inteligencia artificial), fue desarrollada a partir de modelos matemáticos que permiten tomar decisiones de manera autónoma. Estudios previos de 1990 sugieren que estas redes artificiales empezaron a tener la capacidad de identificar patrones y trabajar con muchos más datos e información lo que llevó al nacimiento de las redes convolucionales.

Así mismo, las redes convolucionales tuvieron un gran impacto en la rama tecnológica de la inteligencia artificial gracias a que mejoró el récord de clasificación de imágenes mediante computador en 2012, este fue el factor clave, cuyo resultado logró que grandes empresas de software comenzaron a utilizarlas (Colliot, 2023).

Estos modelos reciben el nombre de propagación hacia adelante, debido a que la información fluye a través de la evaluación de sus parámetros pasando por los procesos requeridos para obtener resultados, y finalmente mostrarlos no obstante estos modelos no permiten conexiones de retroalimentación en las que las salidas realimenten el modelo.

En cuanto a las redes neuronales de propagación hacia adelante se extienden para incluir conexiones de retroalimentación, se les llama redes neuronales recurrentes, estas aportan informaciones relevantes para su propio aprendizaje formando parte de la estructura de muchas aplicaciones comerciales. Un ejemplo significativo es las redes convolucionales utilizadas para el reconocimiento de objetos en fotografías son un tipo especializado de red de propagación hacia adelante.

Por otra parte, otro aspecto relevante que se debe tener en cuenta en esta investigación es la existencia de la *moniliophthora roreri* en el cacao. En las zonas tropicales de América hace aproximadamente 4000 años atrás aparecieron los primeros cultivos del “Alimento de los dioses”, se consumía como una bebida agregando muy pocos ingredientes extras para su preparación, después los aztecas comenzaron a utilizar las semillas de cacao como una forma de pago ya que este tenía un valor económico (Villar, 2013).

Al día de hoy el cacao es uno de los productos con demanda en el Ecuador, siendo este el 50% de la materia prima utilizada en las empresas de chocolate a nivel mundial, otros como la manteca también forma parte de esta familia de productos derivados del cacao, países como Costa de marfil en África producen 2 230 000 toneladas ubicándose en el primer lugar de productores de este fruto en el año 2022, por otro lado, en América del sur, Ecuador, produjo alrededor de 337 149 toneladas de cacao ubicándose en el cuarto lugar después de Ghana e Indonesia en la lista de países productores de cacao.

En Ecuador los principales problemas que reducen la producción de cacao de buena calidad se encuentran enfermedades causadas por hongos que aparecen por las condiciones climáticas, la *Moniliophthora roreri* conocida vulgarmente como monilla en Ecuador es la principal causante de la pudrición del fruto, otras especies del género *Phytophthora*, como *Phytophthora palmivora*, *Phytophthora megakarya*, *Phytophthora capsici* y *Phytophthora citrophthora* infectan la mazorca provocando que fruto se negree y termine totalmente podrida desde el interior, lo que dificulta detectar la enfermedad a tiempo.

En 2024 el precio del cacao en Ecuador llegó a duplicar su valor por pérdidas de reducción en países con mayor producción, específicamente en Costa de Marfil y Ghana, sin embargo, para el 2025 las ganancias redujeron un tercio, siendo aún así un precio histórico, motivando agricultores a mejorar sus fincas cacaoteras en Ecuador. Se espera un aumento de producción aproximada o superior a las 650 000 ton. "La producción de Ecuador ha mostrado un crecimiento constante durante años, mientras que la de Ghana ha sido muy volátil", explicó Ontaneda.

Una hectárea produce 800 kilos de cacao en Ecuador a diferencia de países africanos que producen 500 kilos por hectárea con esta cifra se calcula que para el 2026 la producción cacaotera aumente significativamente a unas 570 000 toneladas (Angel, 2025).

Las enfermedades fúngicas, en la actualidad como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de brujas (*Moniliophthora perniciosa*), siguen representando las principales causas de pérdidas económicas en las zonas cacaoteras, que afectan directamente la calidad y cantidad de los frutos, reduciendo el rendimiento por hectárea. De esta manera se deduce que la importancia de tener un cuidado preventivo sobre las enfermedades causantes de la pérdida en cultivo es indispensable, a la inexistencia algún método inteligente para identificar la existencia de esta enfermedad en los cultivos (Ploetz, 2007).

2.2 Investigaciones relacionadas

2.2.1 Modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección y clasificación de la moniliasis en el cacao.

La moniliasis, causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, una de las principales enfermedades que afectan a la producción de cacao en América Latina, provocando pérdidas significativas. La detección temprana de esta enfermedad es crucial para implementar estrategias de control efectivas y minimizar el impacto económico.

Se recopilaron un total de 2.000 imágenes de cacao sano y afectado (moniliasis), las cuales fueron preprocesadas utilizando técnicas de aumento de datos, normalización y redimensionamiento. El modelo fue entrenado con una arquitectura secuencial de CNN, incluyendo capas convolucionales, de pooling, aplanamiento y densas, optimizado para clasificación binaria. La evaluación del desempeño del modelo se realizó mediante métricas de precisión, sensibilidad, puntaje F1 y matriz de confusión, logrando así una exactitud máxima de 98,3% en entrenamiento y 99% en validación. Los resultados proporcionados evidencian que las CNN son herramientas eficaces para la identificación automatizada de la moniliasis, ofreciendo a los agricultores un recurso tecnológico que facilita la detección temprana y mejora la toma de decisión en el manejo de cultivos. Este estudio nos demuestra el gran potencial de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión, contribuyendo a la sostenibilidad y productividad del cacao en el Ecuador. (Lozano Ochoa, 2025)

Según los autores mencionados principalmente dentro de la investigación se realizó una recolecta con una demanda de 2.000 imágenes de mazorcas de cacao en buen estado de la misma manera se consiguieron la misma cantidad de mazorca, pero infectadas del hongo moniliasis, posteriormente estas imágenes fueron procesadas de tal manera que

aumento la cantidad de datos (imágenes), el cual se realizó mediante la rotación de imágenes, aumentos y disminución de tamaño con el fin de mejorar el modelo, para el entrenamiento de la red se utilizó un modelo de red convolucional secuencial integrada en capas incluyendo capas de agrupación y aplanamiento orientadas a la clasificación obteniendo un resultado eficiente.

Las métricas del modelo que se usaron para el aprendizaje del modelo tales como precisión, sensibilidad, puntaje F1 y matriz de confusión, produjeron los siguientes resultados:

Estado de exactitud con un 98,3 % durante la fase de entrenamiento y del 99 % en la etapa de validación. Lo que demuestra que las redes convolucionales son bien eficientes para detectar enfermedades como la moniliasis de forma automatizada con la red, ayudando a mejorar la producción y la calidad del cacao beneficiando a los agricultores motivando e incentivando a utilizar una aplicación inteligente para detectar la enfermedad en sus inicios, proporcionando información de cómo se debe tratar técnicamente para evitar el avance y propagación del hongo.

En ese contexto, se espera un alto consumo de redes neuronales convolucionales, para la toma de decisiones en la agricultura reduciendo costos y recursos contribuyendo a la sostenibilidad y mejora de la productividad del cacao en el Ecuador.

El uso del aprendizaje automático en los últimos días, para la detección de enfermedades en el sector agrícola ha sido fundamental en el ámbito académico, así como también en el ámbito industrial. En la redacción de este documento postula que las técnicas de ML pueden emplearse de la siguiente manera: la detección temprana y el diagnóstico de las dos principales enfermedades que afectan la producción de cacao en el Ecuador, a saber, el brote hinchado y la mazorca negra. En este sentido, se diseña una aplicación móvil con

técnicas de ML integradas para permitir a los productores de cacao tomar una fotografía de la mazorca de cacao y subirla para el diagnóstico, que se realiza en un servicio en la nube backend.

La detección y el diagnóstico automáticos de enfermedades principalmente gracias a las redes neuronales convolucionales (CNN) a partir del análisis y la clasificación de imágenes. Uno de los modelos con mejor rendimiento es SSD MobileNet V2 con una puntuación de detección del 80% en el cultivo.

2.2.2 Incidencia del Manejo Cultural de Monilla (*Moniliophthora Roreri*) y Escoba de Bruja (*Moniliophthora Perniciosa*) en Cacao CCN-51 (*Teobroma Cacao L*) en la Provincia del Cañar

En esta investigación se realizó con la finalidad de evaluar el control de las enfermedades de cacao como moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y *Moniliophthora perniciosa* también conocida como (*Escoba de brujas*) dentro de la provincia de Cañar en Ecuador. En etapa inicial de la investigación, se realizó la evaluación de diversas fincas de la provincia, obteniéndose la participación de 104 propietarios de cultivos, quienes respondieron la encuesta sobre el conocimiento de las enfermedades y sus prácticas frente a dichas enfermedades, con el objetivo de obtener información y de la misma manera se brindó información acerca del cuidado sanitario a los diferentes cultivos lo cual se llevó a cabo en parroquias como La Troncal, Manuel J. Calle y Pancho Negro.

Luego de las entrevistas, se realizaron un total de 7 experimentos, cada uno con cuatro repeticiones, distribuidos en un total de 28 áreas donde se realizaron los experimentos. Cada área experimental contaba con 108 m², dimensiones de 9 metros de ancho por 12

metros de largo, las cuales alcanzaban un total aproximado de 12 plantas de cacao. Cinco de los tratamientos evaluaron la combinación de prácticas naturales y económicas, específicamente la poda sanitaria y la recolección periódica de frutos y brotes vegetativos infectados. También se incluyó un tratamiento sin poda ni recolección, utilizado como testigo, y otro tratamiento basado en control biológico, con el propósito de comparar su efectividad frente a las prácticas culturales tradicionales.

Los resultados obtenidos evidenciaron que normalmente la aparición de *M. roreri* y *M. perniciosa* se incrementa notablemente durante la época de lluvias, generando un impacto directo en la reducción del número de mazorcas productivas, por lo tanto, también en el rendimiento del cultivo. El estudio permitió identificar que la poda sanitaria y la recolección de frutos y brotes enfermos constituyen las principales estrategias de control utilizadas por los agricultores de la zona. (Sandoval, 2022)

Esta investigación es fundamental para conocer las diferentes tomas de decisiones de los agricultores de cacao. En Carchi durante una temporada, la existencia del hongo *moniliophthora roreri* los investigadores evaluaron las formas en que los agricultores realizaba cierto tipo de prácticas para combatir el hongo, por ejemplo la poda del árbol, la extracción de frutos contaminados entre otras, en tiempo real para unos resultados exactos, gracias a los diferentes tipo de experimentos y técnicas en un mismo campo, de la misma manera también se enfocaron en conocer estas prácticas frente estas enfermedades también evaluaron de cierta manera cada unida de experimento para demostrar si dichas prácticas eran económicamente rentables para los productores. Por esta razón, calcularon la relación beneficio/costo de cada tratamiento, buscando identificar cuál ofrecía mejores resultados tanto en el aspecto sanitario como en el económico.

En otras palabras, esta investigación trató de demostrar que un manejo cultural preventivo, aplicado de forma constante y planificada, puede reducir significativamente el impacto de la moniliasis y la escoba de brujas, mejorando la calidad del cacao y ser una alternativa viable y accesible para los agricultores. Los resultados obtenidos sirvieron para respaldar la importancia de la poda sanitaria y la recolección frecuente de frutos enfermos como estrategias clave para el control de estas enfermedades.

2.2.3 Uso de U-Net y Redes Neuronales Convolucionales para la Detección de la Moniliasis (*Moniliophthora Roreri*) en Mazorcas De Cacao

Muchas investigaciones en el ámbito de visión artificial y redes neuronales dan a conocer que llegan a ser muy eficientes al momento de detectar enfermedades en cultivos agrícolas, por lo que la investigación trata de utilizar modelos de aprendizaje profundo con el objetivo de entrenar redes neuronales para detectar particularidades en las diferentes partes que componen la planta de cacao, una de las arquitecturas como U-Net utiliza redes neuronales convolucionales para el reconocimiento y clasificación de frutos de cacao a partir de imágenes.

El primer paso es clasificar las mazorcas de cacao infectadas de las mazorcas de cacao sanas, por parte de las infectadas se entrenaron las redes con imágenes de la enfermedad en sus inicios, tales como, puntos negros primeras manchas entre otros permitiendo una comparación más precisa y dado resultado una detección temprana de la enfermedad, este segmento resulta importante porque el hongo *Moniliophthora roreri* presenta una fase inicial de infección silenciosa, o en otras palabras el hongo se presenta en su etapa uno desde el interior del fruto lo que dificulta su detección mediante métodos tradicionales de inspección visual. (Aquino, 2025)

2.3 Definiciones conceptuales y categorías clave

2.3.1 Introducción a la inteligencia artificial.

Según Russell & Norvig (2004) dice que “La IA también tiene una deuda con la parte software de la informática que ha proporcionado los sistemas operativos, los lenguajes de programación, y las herramientas necesarias para escribir programas modernos (y artículos sobre ellos). Sin embargo, en esta área la deuda se ha saldado: la investigación en IA ha generado numerosas ideas novedosas de las que se ha beneficiado la informática en general, como por ejemplo el tiempo compartido, los intérpretes imperativos, los computadores personales con interfaces gráficas y ratones, entornos de desarrollo rápido, listas enlazadas, administración automática de memoria, y conceptos claves de la programación simbólica, funcional, dinámica y orientada a objetos” p. 45.

2.3.2 Arquitectura general de una red neuronal artificial.

Neural Networks and Deep Learning: A Textbook, de Aggarwal (2023) afirma que

Dentro de todos los sistemas y procesos del cuerpo humano están relacionados con la actividad de las neuronas las cuales son indispensables en el sistema nervioso, así como las redes neuronales una sola neurona no tendría mucho impacto en su valor, pero una vez en conjunto hablando de miles de neuronas se hacen muy poderosas. La manera en la que funcionan las neuronas es la siguiente la neurona recibe un estímulo provocado por parte de sus entradas (inputs) y cuando se alcanza un cierto umbral, la neurona se dispara o activa, pasando una señal hacia el axón. Posteriores investigaciones condujeron al descubrimiento de que estos procesos son el resultado de eventos electroquímicos.

2.3.3 Sistemas inteligentes aplicados al agro

La aplicación de tecnologías aplicadas en el sector agrícola ha reflejado una pieza clave en la manera en los agropecuarios administran sus actividades, incorporando

sistemas inteligentes, dispositivos que permiten recopilar información analizar y sobre todo el manejo de grandes volúmenes de datos, mejorando la eficiencia operativa y la toma de decisiones (Camarena Onofre et al., 2025).

2.3.4 Flujo de datos en sistemas de visión artificial

Una imagen se procesa mediante segmentos o bien por ciertas partes de la imagen (regiones) de la misma, por lo que es necesario conversión de la imagen a datos entendibles para la red, la adquisición de imágenes digitales es el paso de entrada, continuando con el preprocesamiento y segmentación posteriormente el análisis de características clasificación y finalmente la toma de decisiones (González Marcos et al., 2006).

2.3.5 Redes neuronales convolucionales (CNN)

Dentro de las redes convolucionales existen las redes neuronales feedforward profundas según Goodfellow et al. (2016) dice que estas tecnologías de aprendizaje tienen como objetivo aproximar una función F^* asignando una entrada X y una categoría Y , definiendo la función $y=f(x;\theta)$ por lo que aprende de los parámetros, en este caso θ que resulta en la aproximación de la función.

2.3.6 Aplicaciones de CNN en visión por computadora

La visión por computadora es un campo dentro de las redes convolucionales CNN que tiene como finalidad la comprensión de entre imágenes y videos, esta arquitectura tiene la capacidad de procesar datos en forma de una cuadrícula a partir de una imagen, esto lo hace mediante capas convolucionales de agrupamiento y clasificación lo que permite una eficiencia al reconocer patrones, formas incluso texturas en una imagen LeCun et al. (2015).

2.3.7 Introducción al modelo EfficientNet

EfficientNet es una arquitectura de red neuronal diseñada para obtener un alto rendimiento en tareas de clasificación utilizando una menor cantidad de parámetros y recursos computacionales gracias a su eficiencia es compatible con dispositivos móviles, este modelo es permite identificar el objeto de la imagen y aprende de ello, por ejemplo, si la imagen es un gato el modelo reconoce al gato y aprende los rasgos físicos del gato, reduce drásticamente los parámetros permitiendo un aprendizaje profundo y de esta manera se optimizan la relación precisión y recursos.(Tan & Le, 2019)

2.3.8 Características del modelo EfficientNet-B4

El modelo se caracteriza por optimizar los recursos del dispositivo, Supera ResNet152 utiliza menos parámetros así bien, EfficientNet-B4 ($\phi=4$) usa resolución 380×380 , profundidad $\times 1.4$ y ancho $\times 1.8$ respecto a la baseline B0, logrando 83% top-1 en ImageNet con solo 19M parámetros.

A diferencia de arquitecturas tradicionales como ResNet-152 o Inception-v3, EfficientNet-B4 alcanza una mayor precisión en tareas de clasificación de imágenes utilizando una cantidad considerablemente menor de parámetros, lo que reduce el tiempo de entrenamiento y la demanda de memoria. Esta característica facilita su implementación en aplicaciones de visión artificial que requieren un procesamiento eficiente, como sistemas móviles y plataformas de diagnóstico agrícola.

2.4 Variable dependiente la moniliophthora roreri en cultivos de cacao

2.4.1 Importancia del cultivo de cacao en el ecuador y su impacto socio económico

Según Campaña et al. (2016), En las últimas décadas la exportación de cacao en el ecuador se ha convertido se ha convertido en una de las actividades agrícolas más importantes en el Ecuador especialmente en las zonas rurales siendo el lugar de

producción, sin embargo, el cultivo del cacao no solo aporta impacto el ámbito financiero sino también al social ya que genera empleo a agricultores o personas sin estudios, pero con conocimiento agrícola. Además, Ecuador es reconocido a nivel internacional por producir un cacao de alta calidad, caracterizado por un fino aroma logrando llamar la atención de mercados globales, no obstante, las condiciones climáticas en Ecuador impactan en el problema fitosanitario, con la presencia de enfermedades que afectan principalmente a la producción.

2.4.2 Condiciones agronómicas y manejo de cultivo de cacao

En la producción de cacao existen múltiples condiciones de cuidado sanitario para obtener un buen desarrollo del fruto, parámetros como el exceso de humedad en la atmósfera, la temperatura muy cálida, los rayos directos del sol, son los primeros en tener en cuenta. La poda, el control de malezas, fertilización y control de hongos son prácticas que favorecen al cultivo. Sin embargo, muchos de los agricultores sin conocimiento no aplican estas prácticas por lo que los cultivos son muy susceptibles para la propagación de las enfermedades entre las más comunes, la moniliasis, mazorca negra y escoba de bruja entre las más comunes. (Sánchez, 2020).

2.4.3 Características generales de la monilla roreri

La principal característica de la *moniliophthora roreri* es un hongo patógeno que infecta directamente al fruto del cacao causando la pudrición de adentro hacia fuera. Por otro lado, no afecta a ninguna otra parte de la planta infecta exclusivamente a la mazorca impactando directamente a la producción. En Latinoamérica este patógeno es temido por los agricultores por su rápida y fácil propagación dañando con facilidad a múltiples mazorcas en poco tiempo (Sánchez, 2020).

2.4.4 Ciclo biológico de la propagación del hongo

El ciclo de vida natural del hongo de la moniliasis depende apretadamente de las condiciones climáticas y/o frutos vulnerables, la moniliasis se propaga en esporas microscópicas que normalmente son trasladadas de un lugar a otro gracias al viento. De manera similar al polen, pequeños insectos pueden transportar estas esporas, contribuyendo a la dispersión del hongo mientras se desplazan de un lugar a otro.

Una vez las esporas aterrizan en una mazorca sana comienza el nuevo ciclo del hongo, gracias a las condiciones climáticas que favorecen a dicho patógeno este inicia su etapa de desarrollo desde el interior del fruto y lo que evita que sea visto a tiempo desde la vista humana. No obstante, una vez desarrollado en su interior vuelve hacerse visible liberando nuevas esporas (Phillips & Wilkinson, 2007).

2.4.5 Síntomas y fases de la moniliasis

Esta enfermedad presenta diferentes síntomas en el transcurso de un ciclo, en su etapa principal las esporas mencionadas anteriormente no son visibles, pero sin embargo es uno de los síntomas de la existencia del hongo. Unos días después de ser contaminado el fruto comienza una nueva serie de síntomas ya visibles principalmente por alteraciones en el color natural de la mazorca seguido a manchas más negras y pigmentadas seguidas la mazorca completamente negra y finalmente en su etapa más avanzada se presenta una capa blanquecina en la capa del fruto (Sánchez, 2020).

2.4.6 métodos tradicionales de la detección de enfermedades

Tradicionalmente, la detección de las enfermedades en el cultivo de cacao se realiza mediante el conocimiento de los agricultores a simple vista siendo un método de bajo costo, sin embargo, esta técnica poco efectiva sigue siendo utilizada hasta en día de hoy

en algunos casos un agricultor con experiencia lograba identificar una mazorca en mal estado desde las primeras fases del hongo.

Existen otros métodos que emplean procedimientos de laboratorio y análisis químicos para determinar con mayor precisión la presencia del hongo, estos procedimientos requieren de diferentes factores como tiempo, dinero, recursos de acceso lo que limita su eficiencia por la rapidez de reproducción del hongo adquiriendo desventajas, dando como resultado muchas infecciones que no son identificadas a tiempo (Sánchez & Restrepo, 2020).

2.4.7 Impacto de la moniliasis en la producción de cacao

La molíais puede causar un impacto significativo y negativo a la producción de cacao, ya que puede provocar una cantidad inmensurable de plantas contaminadas provocando la reducción del producto apto para la venta lo que desequilibra los ingresos del agricultor. Esta enfermedad puede dañar hasta un 80% en la producción total, además el aumento de costos para tratar la enfermedad se suma a la carga del ámbito económico del agricultor (Ploetz, 2007).

2.4.8 Factores ambientales que influyen en la aparición de la moniliasis

La presencia de moniliasis en cultivos cacao de en la costa se da conocer por factores ambientales, la humedad y la temperatura son las causas más comunes. En regiones tropicales donde las lluvias son constantes, el suelo permanece húmedo en la mayoría de las estaciones del año para el hongo es mucho más fácil reproducirse por otro lado según (Sánchez & Restrepo, 2020) la temperatura también favorece a la producción de esporas provocando que hongo se distribuya de forma más rápida en los cultivos.

Así mismo las prácticas como la mala poda reducen la circulación de aire lo que produce un aumento de humedad y temperatura causando microclimas ideales para el

desarrollo de estos patógenos, por la noche los factores climáticos como el rocío mantienen las mazorcas húmedas lo que permiten que las esporas germinen y mantienen activo el proceso de infección. (Sandoval, 2022).

2.5 Conclusiones del marco teórico

La falta de conocimiento en cultivos de cacao provoca que la mayoría de agricultores no capacitados registren pérdidas masivas en su negocio especialmente en zonas donde las condiciones climáticas favorece a la reproducción de muchos patógenos infecciosos entre las más reconocida la moniliasis por su rápida propagación y alto daño que causa en el fruto, además en la investigación se determinó que estas enfermedades son visibles tradicionalmente cuando la infección está avanzada lo que disminuye la toma de decisiones.

En ese contexto se determinó la necesidad de un sistema tecnológico aplicado a la agricultura que permita la detección temprana de estas enfermedades. Lo que permitirá el aumento de conocimiento del manejo fitosanitario de cultivos de cacao, la detección temprana de enfermedades lo que reduce el riesgo y aumenta la toma de decisiones mejorando el control del cultivo y reduciendo perdidas

CAPÍTULO III

3. MARCO INVESTIGATIVO

3.1 Introducción

La producción de cacao en el Carmen, Manabí - Ecuador constituye a una de las actividades importantes debido a su impacto económico y social en la agricultura, sin embargo, debido a ubicación, las condiciones climáticas son favorables a la reproducción de hongos, presentando diversas enfermedades fitosanitarias que afectan a la calidad y productividad de la cosecha. En entre ellas las más comunes como la *Moniliophthora roreri* la enfermedad considerada una de las principales amenazas para los productores cacaoteros ya que afecta principalmente al producto y a la dificultad de detectarla a tiempo, causando grandes pérdidas económicas.

Este estudio se planteó a partir de una metodología que integra investigación bibliográfica, investigación de campo e investigación aplicada. Para alcanzar el objetivo la recopilación de la información se realizó a través de fuentes científicas especializadas, encuestas a estudiantes del área de agricultura y entrevistas aplicadas a personas con conocimiento en área agrícola, así como la observación directa y la recolección de imágenes de mazorcas de cacao sano, infectados por los hongos estudiados lo que permitió desarrollar el dataset.

Estas actividades fueron esenciales ya que permitieron recolectar información indispensable del cultivo de cacao, los factores climático asociados con la propagación de hongos y las decisiones tradicionalmente utilizadas para intervenir en el problema, en síntesis, de este capítulo describe los métodos, técnicas y herramientas utilizadas durante el proceso investigativo, de esta manera exponer la presencia del problema en la

producción cacaotera y proponer una alternativa tecnológica que facilita la toma de decisiones en la presencia de hongos mediante la detección temprana de dichos patógenos.

3.2 Tipo y métodos de investigación

3.2.1 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica es el proceso fundamental en el desarrollo de cualquier investigación ya que permite recopilar información sobre el tema de estudio (Cabrera, 2022), en esta investigación se recopiló información teórica sobre la producción cacaotera, enfermedades producidas por hongos y el uso de tecnologías aplicada en sectores agrícolas, para lo cual se investigó en libros, artículos científicos, repositorio web, documentos técnicos entre otros. De la misma manera permitió obtener información sobre los antecedentes históricos del cultivo del cacao mismos que se hacen presente en el capítulo 2, por otra parte, se recopiló información de las características morfológicas de estos patógenos principalmente *moniliophthora roreri* y *Phytophthora capsici* siendo los más comunes y agresivos en área, porque atacan principalmente al fruto de cacao produciendo pérdidas significativas.

3.2.2 Investigación de campo

La investigación del campo es un método que se basa en la obtención directa de información en el contexto donde se manifiesta el fenómeno de estudio. Según (Mendoza Vargas, 2024), este tipo de investigación facilita la recolección de datos reales favoreciendo a una mejor comprensión del problema.

Se ejecutó realizando visitas en la granja experimental ULEAM extensión el Carmen con el objetivo de obtener información directa del entorno donde se presenta la problemática

estudiada, analizando visualmente las condiciones del cultivo y la presencia de enfermedades en las mazorcas de cacao.

3.2.3 Investigación aplicada

La investigación aplicada se enfocó en la solución al problema planteado a lo largo de la investigación, orientada a la detección de enfermedades causadas por hongos en cultivos de cacao. A partir de dicho concepto se planteó la implementación de un sistema de visión artificial utilizando modelos de aprendizaje CNN, analizando imágenes del cultivo de cacao en tiempo real. De acuerdo con *Hernández & Mendoza (2023)*, la investigación aplicada buscar resolver problemas reales con aplicación directa a la sociedad contribuyendo a optimizar procesos y mejorar la calidad de vida.

3.2.4 Método inductivo

Método inductivo es un enfoque de investigación científica que busca conclusiones generales mediante observación sistemática y análisis de casos explicado por (Arbulu, 2023). En esta investigación el método inductivo analizó los resultados obtenidos de las encuestas y entrevista identificando patrones relacionados con la aparición y propagación de enfermedades fitosanitarias del cacao.

3.2.5 Método deductivo

Del mismo modo según *Hernández & Mendoza (2023)*, el método deductivo parte del razonamiento lógico que va de lo particular a lo general lo que permite aplicarlo en situaciones específicas para llegar a conclusiones, este enfoque es importante para contrastar hipótesis a partir de datos reales en esta investigación se utilizó para relacionar los conceptos y la teoría tales como, el uso de las tecnologías de visión artificial en la agricultura, las redes convolucionales y las enfermedades fitosanitarias en la producción de cacao.

3.3 Fuentes de información

3.4.1 Encuestas

De acuerdo con (Mendoza Vargas, 2024), la encuesta se considera una técnica de recolección de datos utilizada en investigaciones de carácter cuantitativo, debido a que permite recolectar información ordenada y sistematizada de un grupo específico de personas. En la presente investigación facilitó la recolección de información sobre las prácticas ejecutadas al producir cacao y sus amenazas para posteriormente realizar los análisis estadísticos de los resultados y determinar el área donde la tecnología puede generar un impacto positivo.

3.4.2 Entrevistas

La entrevista es una técnica cualitativa que también permite la recolección de datos mediante la recolección directa con personas que poseen conocimiento en el área estudiada, Paulina Mendoza Torres (2023) dice que las entrevistas ofrecen un entendimiento más detallado a partir de la experiencia de las personas entrevistadas lo que es crucial para obtener información valiosa y contextual. En este proyecto se realizó una entrevista relacionada con el objetivo planteado principalmente con la finalidad de buscar soluciones a los problemas identificados.

3.4 Estrategia de recolección de datos

3.4.1 Población

Según información del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la provincia de Manabí constituye una de las principales zonas productoras de cacao del Ecuador.

Estudios basados en información agropecuaria registran 19.476 unidades productivas agrícolas dedicadas al cultivo de cacao en la provincia de Manabí. Para la presente investigación se consideró específicamente a productores vinculados con el cultivo de cacao en El Carmen Manabí, sin embargo debido a la alta población existente en el cantón y las limitaciones de recursos como el tiempo y económicos para acceder directamente a las fincas productoras de cacao se seleccionó como punto de aplicación de la investigación en la facultad de agropecuaria de la granja experimental Uleam extensión El Carmen, en el cual congrega personal profesional, técnicos y profesores con experiencia profesional y estudiantes con conocimientos en el área y el manejo del cultivo de cacao.

3.4.2 Muestra

La muestra es un subconjunto propio de la población, seleccionado con el objetivo de generalizar los resultados a toda la población. Según Gómez et al. (2016), una muestra debe reflejar las características claves de la población de interés, lo que permite analizar los resultados obtenidos de la población en general.

La selección de esta área de estudio también se justifica por la presencia del cultivo de cacao utilizados para la investigación y prácticas en el sitio realizadas por los estudiantes y profesores a cargo, donde es posible observar las condiciones reales de la producción y las problemáticas fitosanitarias en el cultivo de cacao. Además, la presencia de ingenieros y profesores permitió recopilar información, implementando herramientas como encuestas y entrevista garantizando la confiabilidad de los datos, los cuales fueron las fuentes primarias para la investigación. Dando un total de 31 respuestas del formulario dividida en 30 estudiantes y un ingeniero profesional en el área.

3.5 Análisis e interpretación de resultados

3.5.1 Análisis de las herramientas de recolección de datos a utilizar

3.5.1.1 Encuesta

Se realizó una encuesta dirigida a 389 estudiantes cursantes del periodo 2025-2 de la carrera de agropecuaria, del cual se obtuvo un total de 31 respuestas que permitió conocer la situación actual para detectar la monilla en cultivos de cacao tradicionalmente, cuáles son las prácticas que toman los agricultores frente a la presencia de estas enfermedades y cuáles son los parámetros que permiten la reproducción de dicho patógeno.

3.5.1.2 Entrevista

Se realizó una entrevista dirigida a un profesional en área de agropecuaria carrera de agropecuaria, con la finalidad de conocer a profundidad las características morfológicas del hongo *Moniliophthora roreri*, sus etapas presentes en la mazorca y su ciclo de reproducción, lo cual se utilizó para identificar dicho patógeno de forma exacta.

3.5.3.3 Estructura de los instrumentos de recolección de datos aplicados

Dos herramientas fueron utilizadas para la recolección de información, la primera fue una encuesta compuesta por 10 preguntas con opciones de respuestas mediante una escala de valoración y opciones de respuesta “Sí”, “No” y “A veces”, dirigida a estudiantes de la carrera de Agropecuaria. Las preguntas estuvieron orientadas para conocer el acceso a información relacionada con el cultivo de cacao, finalmente tabular los resultados de acuerdo a la investigación.

La entrevista estuvo conformada por 11 preguntas abiertas y fue dirigida a un profesional con conocimientos relacionados con el cultivo de cacao. Este instrumento permitió obtener información cualitativa desde una perspectiva especializada sobre el

manejo y monitoreo fitosanitario del cultivo. Las preguntas abordaron aspectos relacionados con las principales enfermedades que afectan al cacao, los procedimientos utilizados para identificar *Moniliophthora roreri*, las dificultades para realizar una detección oportuna, la importancia del diagnóstico temprano y la percepción sobre el uso de tecnologías basadas en inteligencia artificial para apoyar la identificación de enfermedades mediante imágenes.

3.5.2 Plan de recolección de datos

Tabla 1 Cronograma de recolección de datos

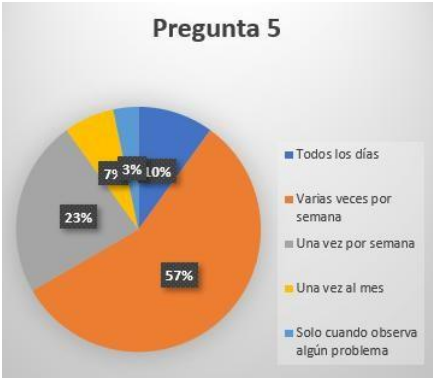
Técnica	Instrumento	Fuente	Responsable	Fecha
Entrevista	Guía de entrevista	Ingenieros del área de agropecuaria de la Uleam extensión el Carmen	Carlos Deivi Rodríguez Cedeño	03/06/ 2026
Encuesta	Cuestionario	Estudiantes de la facultad agropecuaria	Carlos Deivi Rodríguez Cedeño	25 /05/2026 hasta 22/06/2026

3.5.3 Análisis de encuestas realizadas a estudiantes de agropecuaria en la Uleam extensión El Carmen

Tabla 2 Análisis de encuesta

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
1. ¿Conqué Frecuencia se pierden mazorcas de cacao por pudrición?	Pregunta 1 <table><thead><tr><th>Frecuencia</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Nunca</td><td>7%</td></tr><tr><td>Rara vez</td><td>7%</td></tr><tr><td>Algunas veces</td><td>53%</td></tr><tr><td>Frecuentemente</td><td>33%</td></tr><tr><td>Siempre</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Frecuencia	Porcentaje	Nunca	7%	Rara vez	7%	Algunas veces	53%	Frecuentemente	33%	Siempre	0%	Los estudiantes relacionan que frecuentemente se presentan frutos podidos en cultivos.
Frecuencia	Porcentaje													
Nunca	7%													
Rara vez	7%													
Algunas veces	53%													
Frecuentemente	33%													
Siempre	0%													

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
2. ¿Después de varios días de lluvia, observa más mazorcas dañadas?	 <table><caption>Pregunta 2</caption><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Nunca</td><td>7%</td></tr><tr><td>Casi nunca</td><td>17%</td></tr><tr><td>Algunas veces</td><td>56%</td></tr><tr><td>Casi siempre</td><td>20%</td></tr><tr><td>Siempre</td><td>7%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Nunca	7%	Casi nunca	17%	Algunas veces	56%	Casi siempre	20%	Siempre	7%	Después de varios días de lluvias, algunas veces se presentan mazorcas podridas por exceso de agua
Respuesta	Porcentaje													
Nunca	7%													
Casi nunca	17%													
Algunas veces	56%													
Casi siempre	20%													
Siempre	7%													
3. ¿Qué medidas toma en el cultivo después de varios días de lluvia?	 <table><caption>Pregunta 3</caption><thead><tr><th>Medida</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Revisa las plantas y mazorcas</td><td>20%</td></tr><tr><td>Retira frutos dañados</td><td>30%</td></tr><tr><td>Realiza poda o limpieza del cultivo</td><td>20%</td></tr><tr><td>Aplica algún tratamiento o control</td><td>20%</td></tr><tr><td>No toma ninguna medida</td><td>10%</td></tr></tbody></table>	Medida	Porcentaje	Revisa las plantas y mazorcas	20%	Retira frutos dañados	30%	Realiza poda o limpieza del cultivo	20%	Aplica algún tratamiento o control	20%	No toma ninguna medida	10%	Esta pregunta es fundamental porque permite apreciar la toma de decisiones después de la presencia de lluvias, no obstante, generalmente los encuestados deciden que retiran los frutos dañados, sin embargo existen otras prácticas.
Medida	Porcentaje													
Revisa las plantas y mazorcas	20%													
Retira frutos dañados	30%													
Realiza poda o limpieza del cultivo	20%													
Aplica algún tratamiento o control	20%													
No toma ninguna medida	10%													

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
4. ¿Cuál de las siguientes enfermedades afecta con mayor frecuencia al cultivo?	Pregunta 4  <table><thead><tr><th>Enfermedad</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Moniliasis</td><td>60%</td></tr><tr><td>Escoba de bruja</td><td>13%</td></tr><tr><td>Pudrición negra</td><td>20%</td></tr><tr><td>Otra enfermedad</td><td>7%</td></tr><tr><td>No sabe identificarla</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Enfermedad	Porcentaje	Moniliasis	60%	Escoba de bruja	13%	Pudrición negra	20%	Otra enfermedad	7%	No sabe identificarla	0%	La monilla es la principal enfermedad fitosanitaria presente en los cultivos del cacao a diferencia de otras enfermedades.
Enfermedad	Porcentaje													
Moniliasis	60%													
Escoba de bruja	13%													
Pudrición negra	20%													
Otra enfermedad	7%													
No sabe identificarla	0%													
5. ¿Con qué frecuencia revisa las plantas de cacao?	Pregunta 5  <table><thead><tr><th>Frecuencia</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Todos los días</td><td>57%</td></tr><tr><td>Varias veces por semana</td><td>23%</td></tr><tr><td>Una vez por semana</td><td>10%</td></tr><tr><td>Una vez al mes</td><td>3%</td></tr><tr><td>Solo cuando observa algún problema</td><td>7%</td></tr></tbody></table>	Frecuencia	Porcentaje	Todos los días	57%	Varias veces por semana	23%	Una vez por semana	10%	Una vez al mes	3%	Solo cuando observa algún problema	7%	Las practicas más realizada por los estudiantes en el cultivo de cacao es el monitoreo constante.
Frecuencia	Porcentaje													
Todos los días	57%													
Varias veces por semana	23%													
Una vez por semana	10%													
Una vez al mes	3%													
Solo cuando observa algún problema	7%													
6. ¿En qué etapa detecta generalmente la enfermedad en las plantas de cacao?	Pregunta 6  <table><thead><tr><th>Etapa de detección</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Cuando recién aparecen pequeñas manchas</td><td>44%</td></tr><tr><td>Cuando cambia el color del fruto</td><td>27%</td></tr><tr><td>Cuando el daño ya es visible</td><td>23%</td></tr><tr><td>Cuando el fruto está muy afectado</td><td>3%</td></tr><tr><td>No logra detectarla a tiempo</td><td>3%</td></tr></tbody></table>	Etapa de detección	Porcentaje	Cuando recién aparecen pequeñas manchas	44%	Cuando cambia el color del fruto	27%	Cuando el daño ya es visible	23%	Cuando el fruto está muy afectado	3%	No logra detectarla a tiempo	3%	Generalmente las manchas en una mazorca de cacao confirman la presencia de enfermedades fitosanitarias producidas por el hongo.
Etapa de detección	Porcentaje													
Cuando recién aparecen pequeñas manchas	44%													
Cuando cambia el color del fruto	27%													
Cuando el daño ya es visible	23%													
Cuando el fruto está muy afectado	3%													
No logra detectarla a tiempo	3%													

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
7. ¿En qué meses del año observa más enfermedades en las plantas de cacao?	Pregunta 7  <table><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Enero – Abril</td><td>37%</td></tr><tr><td>Mayo – Agosto</td><td>20%</td></tr><tr><td>Septiembre – Diciembre</td><td>17%</td></tr><tr><td>Durante todo el año</td><td>13%</td></tr><tr><td>No ha notado diferencia</td><td>13%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Enero – Abril	37%	Mayo – Agosto	20%	Septiembre – Diciembre	17%	Durante todo el año	13%	No ha notado diferencia	13%	El cambio climático afecta directamente a la producción del cacao enero y abril cuentan con un clima que generalmente afecta a la producción.
Respuesta	Porcentaje													
Enero – Abril	37%													
Mayo – Agosto	20%													
Septiembre – Diciembre	17%													
Durante todo el año	13%													
No ha notado diferencia	13%													
8. ¿Considera que el calor influye en la aparición de enfermedades del cacao?	Pregunta 8  <table><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Sí, mucho</td><td>17%</td></tr><tr><td>Sí, moderadamente</td><td>34%</td></tr><tr><td>Poco</td><td>33%</td></tr><tr><td>No influye</td><td>13%</td></tr><tr><td>No sabe</td><td>3%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Sí, mucho	17%	Sí, moderadamente	34%	Poco	33%	No influye	13%	No sabe	3%	Parte de la muestra afirma que pocas veces el cultivo se ve afectado por el calor sin embargo se afirma que esta condición climática sí afecta a la producción.
Respuesta	Porcentaje													
Sí, mucho	17%													
Sí, moderadamente	34%													
Poco	33%													
No influye	13%													
No sabe	3%													
9. ¿Qué medidas toma en el cultivo cuando hay días de mucho sol?	Pregunta 9  <table><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Riega con mayor frecuencia</td><td>16%</td></tr><tr><td>Revisa el estado de las plantas</td><td>30%</td></tr><tr><td>Realiza poda o mantenimiento</td><td>17%</td></tr><tr><td>Protege el cultivo de alguna manera</td><td>20%</td></tr><tr><td>No toma ninguna medida</td><td>17%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Riega con mayor frecuencia	16%	Revisa el estado de las plantas	30%	Realiza poda o mantenimiento	17%	Protege el cultivo de alguna manera	20%	No toma ninguna medida	17%	La encuesta evidencia las prácticas aplicadas al cultivo de cacao en la presencia de mucho sol, ayudando a prevenir enfermedades.
Respuesta	Porcentaje													
Riega con mayor frecuencia	16%													
Revisa el estado de las plantas	30%													
Realiza poda o mantenimiento	17%													
Protege el cultivo de alguna manera	20%													
No toma ninguna medida	17%													

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
10. ¿En temporadas lluviosas aumentan las enfermedades en su cultivo de cacao?	<table><caption>Pregunta 10</caption><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Nunca</td><td>3%</td></tr><tr><td>Casi nunca</td><td>20%</td></tr><tr><td>Algunas veces</td><td>43%</td></tr><tr><td>Casi siempre</td><td>17%</td></tr><tr><td>Siempre</td><td>17%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	Nunca	3%	Casi nunca	20%	Algunas veces	43%	Casi siempre	17%	Siempre	17%	Generalmente la lluvia genera humedad en el ambiente provocado la fácil reproducción del patógeno.
Respuesta	Porcentaje													
Nunca	3%													
Casi nunca	20%													
Algunas veces	43%													
Casi siempre	17%													
Siempre	17%													

3.5.4 Análisis de la entrevista aplicada a un ingeniero de la Facultad de Agropecuaria

Tabla 3 Análisis de entrevista

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
¿Cómo se realiza actualmente el monitoreo fitosanitario en cultivos de cacao en la institución?	Se hace un recorrido caminando sobre todo el área de la plantación para identificar problemas de enfermedades, plagas y malezas	El monitoreo se realiza de forma visual identificando problemas a simple vista lo que aumenta el trabajo para personas no expertas en el área.

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
Desde su experiencia profesional ¿cuáles son las enfermedades más frecuentes que afectan al cacao y cuál es su impacto en la producción?	la monilla que ataca a la mazorca también la mazorca negra que afecta al fruto, existen otras enfermedades que no afectan directamente al cultivo.	En el área evaluada la principal enfermedad fitosanitaria que se presenta en el cultivo de cacao es la monilla.
¿Cuáles son las causas principales que producen estas enfermedades?	Los factores más importantes son las condiciones climáticas como la humedad incluso plantaciones sembradas a corta distancia lo que generan microclimas lo que fomenta a la reproducción de la enfermedad y mantener frutos enfermos en la planta.	La falta de conocimiento al realizar prácticas como la poda en el cultivo de manera errónea es una de las principales causas que producen el aumento de la humedad en el cultivo provocando un aumento de las enfermedades.
¿Cuáles son las principales dificultades para detectar oportunamente la moniliasis en cultivos de cacao?	La dificultad de detectar la enfermedad aplicaría a una persona con poca experiencia, sin embargo. Para una persona con experiencia no es tan	La enfermedad es fácil de detectar gracias a su apariencia en su etapa visible, sin embargo, las personas capacitadas con conocimiento de la

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
	complicado detectarla.	enfermedad pueden identificarlas en su etapa inicial.
En ese contexto ¿qué tan importante es detectar la enfermedad en su etapa principal?	Es importante detectar la enfermedad de manera temprana los primeros síntomas, para evitar su propagación	Al ser un patógeno que es visible en su etapa avanzada es importante detectarla de manera temprana lo que evita la propagación por esporas que son difíciles de visualizar dando inicio al nuevo ciclo de hongo, dichas liberan una mazorca con enfermedad avanzada.
¿En qué meses del año considera usted que la monilla se reproduce con más facilidad en cultivos de cacao?	Entre diciembre y mayo ya que son los meses más propensos a días lluviosos donde la humedad aumenta por lo tanto el hongo se reproduce con más facilidad.	En las épocas lluviosa la humedad suele aumentar considerablemente lo que aumenta la probabilidad de reproducción de patógenos tales como la monilla que se producen en alta humedad.

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
¿Considera usted que la intensidad del sol influye en la propagación de estos patógenos?	De manera indirecta: cuando hay poca ventilación y mucho claro la planta se debilita y es vulnerable a estas enfermedades sin embargo cuando hay ventilación y calor reduce la humedad y evita la propagación de las enfermedades.	Las podas son un factor muy importante al cultivar cacao ya que permite el flujo del aire permitiendo el acceso a los rayos del sol que reducen la humedad.
¿Considera que la falta de conocimiento y malas podas afectan en el cultivo de cacao? ¿por qué?	Si, bastante, cuando se realizan mala prácticas como la poda incorrecta, las plantas pueden quedar muy cerradas y como se mencionó anteriormente se genera el microclima con mucha humedad lo que perjudica al producto en este caso la mazorca.	El ingeniero explica como las malas podas afectan al cultivo de cacao, esto ocurre porque las plantas muy juntas entre ellas cierran el paso de la luz solar evitando eliminar la humedad.
¿Qué piensa usted de utilizar una aplicación de visión artificial para	Creo es viable la aplicación más que todo en grandes dimensiones, en otras palabras, que permita	El ingeniero piensa que una aplicación con inteligencia artificial es muy rentable ya ayuda a la toma de

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
detectar esta enfermedad de manera temprana?	recorrer grandes dimensiones de cultivo, facilita más el trabajo del agricultor.	decisiones durante la presencia de enfermedades en el cultivo de cacao, proporcionando información confiable en tiempo real.
¿Qué características usted considera que debería tener este sistema de visión artificial?	Que pueda ingresar imágenes y parámetros, también que se puede aplicar en épocas lluviosas donde se dificulta la recolección de información del estado del cultivo.	La aplicación principalmente tiene que ser fácil de usar, el ingeniero explica que a partir de una imagen y pocos parámetros la IA debería responder eficientemente.

3.5.4. Interpretación de resultados

La pregunta número 2 de la encuesta relacionada hace referencia a la presencia de lluvias fuertes en el cultivo de cacao evidencia que los estudiantes identifican un aumento de mazorcas infectadas. Este resultado coincide con la pregunta de la entrevista:” ¿en qué meses del año considera usted que la monilla se reproduce con más facilidad en cultivos de cacao?”, donde el ingeniero explicó que entre diciembre y mayo visualizan más lluvias provocando la humedad, dicha que es uno de los principales parámetros para la propagación de la monilla en cultivos de cacao.

En la pregunta 8 de la encuesta hace referencia a la causa 2 del problema, la cual habla de las medidas que toma el estudiante frente a días de sol intenso, las respuestas reflejan que la mayoría de estudiantes realizan monitoreo constante a los cultivos de cacao. Sin embargo, estas respuestas son complementarias a la respuesta de la entrevista realizada donde la pregunta fue: ¿considera usted que la intensidad del sol influye en la propagación de estos patógenos? al ingeniero la cual explica que el sol influye de manera indirecta, ya que un cultivo con buena ventilación y adecuada luz solar ayudan a disminuir la humedad evitando la propagación del patógeno sin embargo las malas podas no permiten el ingreso de la luz, generando micro climas con humedad y cálidos condiciones que benefician al hongo.

La pregunta 5 de la encuesta (¿con qué frecuencia revisa las plantas de cacao?) afirmaron que la mayoría de estudiantes realizan las prácticas como practica preventiva, sin embargo, en la pregunta realizada en la encuesta relacionada con la falta de conocimiento y malas podas, afirman la importancia de tener conocimiento básico al realizar el monitoreo, ya que existen diversos factores que ayudan y perjudican al cultivo de cacao.

CAPÍTULO IV

4. MARCO PROPOSITIVO

4.1 Introducción

El marco propositivo presenta la propuesta de una aplicación móvil con visión artificial para contribuir a la detección temprana de enfermedades producidas por hongos como la *Moniliophthora roreri* en cultivos de cacao en la granja experimental Uleam extensión el Carmen, el sistema de inteligencia artificial, capaz de analizar una imagen de mazorca de cacao utilizando una arquitectura de aprendizaje EfficientNet-B4 con el propósito de identificar dicho patógeno.

En este capítulo se presentan las herramientas y tecnologías utilizadas para el desarrollo de la aplicación la arquitectura del sistema, de la misma manera se presentan las funcionalidades del implementada para ayudar a los estudiantes de agricultura identificar enfermedades en el cultivo de cacao. También se evidencia en el proceso de entrenamiento del software, flujo de datos y diseño del sistema.

4.2 Descripción de la propuesta tecnológica

4.2.1 Descripción de la propuesta

La propuesta consiste en el desarrollo de una aplicación móvil orientada a dispositivos Android con la finalidad de detectar enfermedades causadas por hongos como la *moniliophthora roreri* en el cultivo de cacao utilizando un sistema de visión artificial. El sistema fue desarrollado utilizando Visual Studio Code con un lenguaje de programación principal Python integrado a un modelo de aprendizaje profundo Efficientnet-B4 y otras tecnologías como tensor Flow/Keras que ayudaron al desarrollo del software. La

aplicación está dirigida a productores de cacao, técnicos agrícolas, profesionales en el área, y estudiantes de agricultura.

4.2.2 Propósito del producto

El producto tiene como propósito identificar la enfermedad producida por el hongo *Moniliophthora roreri* en cultivos de cacao mediante imágenes de mazorca de cacao, el sistema tiene como finalidad ayudar a los productores de cacao, estudiantes y docentes a identificar la enfermedad con mayor exactitud permitiendo proporcionar un diagnóstico para mejorar la toma de decisiones en el cultivo.

4.2.3 Funcionalidades clave

- Captura de imágenes
- Subir imágenes desde galería
- Analizar la imagen con el modelo de IA
- Mostrar la enfermedad detectada

4.2.4 Usuarios objetivos

Tabla 4 Usuario objetivo

TIPO DE USUARIO	DESCRIPCIÓN	FUNCIONALIDAD CLAVE
Productor de cacao	El productor del cacao utiliza la aplicación para identificar el hongo en mazorca	• Captura de imágenes • Seleccionar imágenes • Analizar imagen • Mostrar diagnóstico
Estudiantes de agropecuaria	La aplicación herramienta clave y de apoyo para el aprendizaje	• Captura de imágenes • Seleccionar imágenes • Analizar imagen • Mostar diagnostico

TIPO DE USUARIO	DESCRIPCIÓN	FUNCIONALIDAD CLAVE
Docente, técnico o investigador.	Emplea la aplicación como herramienta de soporte para actividades académicas.	• Analizar imágenes • Evaluar diagnostico obtenido

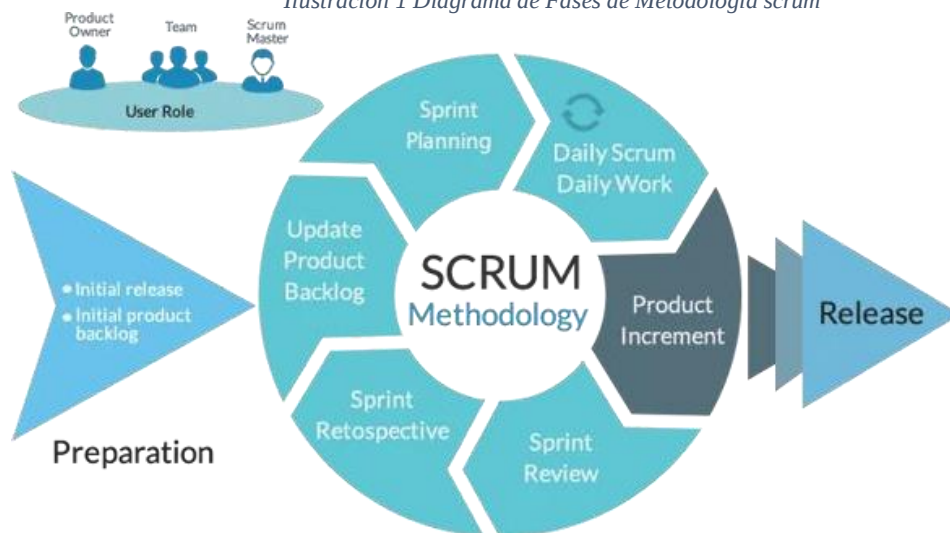
4.2.5 Condiciones de éxito del producto

- Captura de imagen mediante cámara para su análisis
- Selecciona imágenes de galería para su análisis
- La aplicación identifica el hongo de monilla
- La aplicación identifica mazorcas de cacao
- La aplicación valida otro tipo de imágenes
- La aplicación muestra un diagnóstico de la mazorca

4.2.6 Metodología scrum

La metodología scrum es un modelo de trabajo donde se dividen actividades llamadas sprint. Según Oscar Fernández Aranda (2018), la metodología scrum organiza el trabajo de manera incremental y retroalimentación continua. Esto facilita controlar el alcance, riesgos y entrega de resultados parciales verificables durante la investigación. Este modelo de trabajo sustituye el proceso tradicional de planificación de proyecto a un enfoque interactivo y flexible, permite a los organizadores responder con rapidez a los cambios del producto minimizando los riesgos, convirtiéndose en un estándar global utilizado no solo en el desarrollo de software sino para cualquier entorno empresarial.

Ilustración 1 Diagrama de Fases de Metodología scrum



- **Preparación:** Se identificaron las necesidades del sistema y se definen los objetivos para solucionar el problema estudiado.
- **Lista de tareas y proyectos:** crean una lista de actividades y funcionalidades del sistema, los requerimientos son analizados de acuerdo a la problemática.
- **Planificación de esprints:** planifican las listas de actividades que se realizarán en el periodo de desarrollo del sistema.
- **Desarrollo:** se realizaron las actividades planificadas en los esprints.
- **Revisión:** verifica si funcionalidades y actividades del sistema previamente a su publicación.
- **Mejora continua:** se analizan los resultados y se corrigen errores antes de ejecutar el siguiente sprint.
- **Entrega del producto:** presentación de la aplicación funcionando

4.3 Recursos requeridos (humanos, tecnológicos, económicos)

4.3.1 Humanos

Tabla 5 Recursos humanos

Recurso	Función	Actividades
Carlos Deivi Rodriguez Cedeño	Desarrollador del proyecto	• Desarrollar los sprints, recolectar imágenes para el dataset, entrenamiento del sistema y realizar pruebas. • Redacción del informe
Reascos Pinchao Raul Saed	Guía académico	

4.3.2 Tecnológicos

Tabla 6 Recursos tecnológicos

Recurso	Descripción
Computadora portátil de desarrollo	Equipo utilizado para el entrenamiento, desarrollo del sistema con visión artificial. Equipo que cuenta con procesador Intel Core i5 o superior memoria RAM de al menos 8 GB y conexión a internet.
Smartphone Android	Dispositivo para realizar pruebas en tiempo real
Tensor Flow /keras	Framework utilizado para el entrenamiento validación y exportación del modelo de visión artificial.
EficientNet-B4	Arquitectura de red convolucional utilizada para la clasificación de imágenes de mazorcas de cacao.

Recurso	Descripción
Tensor Flow Lite	Herramienta utilizada para convertir el modelo entrenado en un formato optimizado para el uso en dispositivos móviles.
Python 3.13	Lenguaje de programación utilizado para desarrollar el sistema de visión artificial.
GitHub	Herramienta utilizada control de versiones y respaldo del código.
Dataset imágenes de cacao	Conjunto de imágenes de enfermedades de cultivos de cacao.
Robo Flow	Plataforma para organizar conjunto de datos y aumentos de dataset.
Visual Studio Code	Entorno para el desarrollo del sistema.
HTML, CSS3, Bootstrap	Tecnologías utilizadas para el desarrollo de la interfaz.

4.3.3 Económicos

Tabla 7 Recurso económicos

Cantidad	Recurso	Precio unitario	Subtotal
1	Laptop para desarrollo	850.00	850.00
1	Teléfono Android para pruebas	220.00	220.00
1	Transporte para recolección de imágenes en finca y granja experimental	30.00	30.00
1	Servicio de internet (6 meses)	25.00	150.00
300 horas	Desarrollo e implementación del sistema	5.00	1,500.00
Total:			2.750.00

4.4 Fases de desarrollo del software mediante sprint

4.4.1 Sprint 1 Levantamiento y preparación del proyecto

4.4.1.1 Objetivo

Definir alcance del sistema, así como los requisitos funcionales, preparación de infraestructura básica, revisar la problemática de la investigación para desarrollar la arquitectura del sistema.

Duración: (semana 1 y 2) del 6 de abril hasta 19 de abril del 2026

Actividades:

- Elaboración de requerimientos funcionales y no funcionales
- Revisión bibliográfica sobre inteligencia artificial y enfermedades del cacao
- Definición de la arquitectura del sistema

4.4.1.2 Historia de usuario 1: definición de requerimientos.

Tabla 8 Historia de usuario 1

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU01	Título	Definición de requerimientos del sistema
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Bajo	Tamaño de la tarea	Mediano
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Identificar los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema		
Para	Desarrollar la aplicación móvil		
Criterios de aceptación	• Los requerimientos del sistema están definidos • Los requerimientos tienen relación con el problema presentado. • Los requerimientos son aprobados para continuar con el desarrollo del sistema		
Dependencias	Definición del problema		

4.4.1.3 Historia de usuario 2: Definición de arquitectura.

Tabla 9 Historia de usuario 2

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU02	Título	Definición de arquitectura del software
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Medio	Tamaño de la tarea	Mediano
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Seleccionar la arquitectura base del sistema y las herramientas tecnológicas para su desarrollo.		
Para	Utilizar la más favorable		
Criterios de aceptación	• Selección de la arquitectura EfficientNet-B4 • Selección de tecnologías (tensorflow, keras, python) • Flujo general del sistema		
Dependencias	Definición de requisitos y análisis de recolección de datos		

4.4.1.4 backlog inicial.

Tabla 10 Backlog inicial

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Definir requerimientos	Alta	Por hacer
2	Revisar problemática	Media	Por hacer
3	Instalación de Python	Alta	Por hacer
4	Instalación de tensorflow	Alta	Por hacer
5	Configuración de entorno de desarrollo	Alta	Por hacer
6	Instalación de Visual Studio Code	Alta	Por hacer
7	Creación de la estructura del proyecto	Alta	Por hacer

4.4.1.5 Backlog fin del sprint 1.

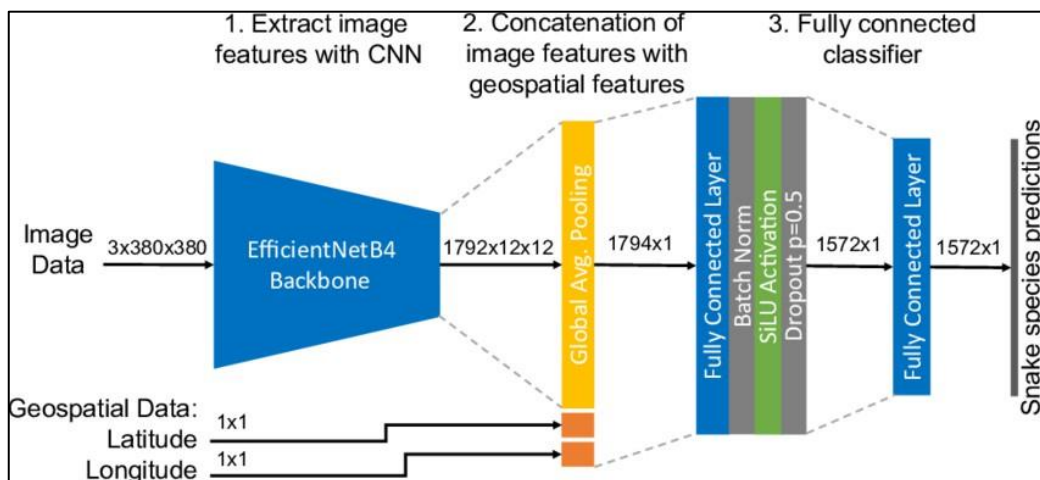
Tabla 11 Backlog final sprint 1

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Definir requerimientos	Alta	Completado
2	Revisar problemática	Media	Completado
3	Instalación de Python	Alta	Completado
4	Instalación de TensorFlow	Alta	Completado
5	Configuración de entorno de desarrollo	Alta	Completado
6	Instalación de Visual Studio Code	Alta	Completado
7	Creación de la estructura del proyecto	Alta	Completado

4.4.1.6 Evidencia del sprint 1.

- Se configuró el entorno de desarrollo y se realizó la planificación de desarrollo de sistema con visión artificial.
- Arquitectura definida para el desarrollo de la aplicación; EfficientNet-B4.

Ilustración 2 arquitectura EfficientNet-B4



4.4.2 Sprint 2 Recolección y gestión de datos

4.4.2.1 Objetivo

Investigar en repositorios web con información de enfermedades del cacao con imágenes que permitan la primera construcción de un dataset con clases definidas como cacao sano o cacao enfermo para los primeros entrenamientos del sistema.

Duración: (semana 3 y 4) del 20 de abril hasta 03 de mayo del 2026.

Actividades:

- Dataset públicos y relevantes (repositorios web, trabajos académicos)
- Diseñar protocolo de captura de imágenes (iluminación, distancia, anotación).
- Recolectar imágenes de campo (coordinación con fincas) y añadir datasets públicos.
- Etiquetado inicial con Roboflow crear clases (sano, monilla, no cacao, otros)

4.4.2.2 Historia de usuario 3: Recopilación de datos

Tabla 12 Historia de usuario 3

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU03	Título	Recolección de datos para dataset
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Medio	Tamaño de la tarea	Grande
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Recolectar imágenes de fuentes públicas y del campo estudiado		
Para	Comenzar armar el dataset		
Criterios de aceptación	• Se recopilaron imágenes en repositorios públicos en la web • Se encontró un dataset de monilla en la web • Se tomaron fotos en finca productoras de cacao • Se tomaron fotos de mazorcas en la granja experimental Uleam El Carmen		

Dependencias	Identificación los diferentes tipos de enfermedades en el cultivo de cacao
---------------------	--

4.4.2.3 Historia de usuario 4: Clasificación y etiquetado

Tabla 13 Historia de usuario 4

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU04	Título	Clasificación y etiquetado del conjunto de datos
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Medio	Tamaño de la tarea	Grande
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Clasificar imágenes por clases según la condición de cada mazorca		
Para	Formar el aprendizaje de la IA		
Criterios de aceptación	- Las imágenes quedan clasificadas en clases como monilla, sano, no cacao. - Las carpetas se dividen en el dataset por parámetros train y validación - El dataset está listo para el entrenamiento		
Dependencias	Imágenes de mazorca de cacao preparadas para la clasificación.		

4.4.2.4 Backlog inicial del sprint 2

Tabla 14 Backlog final sprint 2

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Protocolo de captura de imágenes	Alta	Por hacer
2	Recolección de dataset de imágenes	Alta	Por hacer
3	Clasificación de imágenes por categorías	Alta	Por hacer
4	Visitas de campo para recolectar imágenes	Media	Por hacer

4.4.2.5 Backlog final del sprint 2

Tabla 15 Backlog final sprint 2

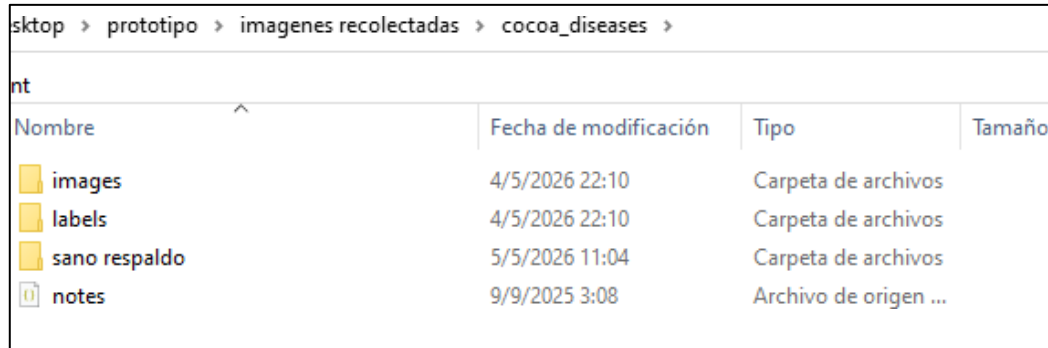
Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Protocolo de captura de imágenes	Alta	Completado
2	Recolección de dataset de imágenes	Alta	Completado
3	Clasificación de imágenes por categorías	Alta	Completado
4	Visitas de campo para recolectar imágenes	Media	Completado

4.4.2.6 Evidencia del sprint 2

Datasets públicos:

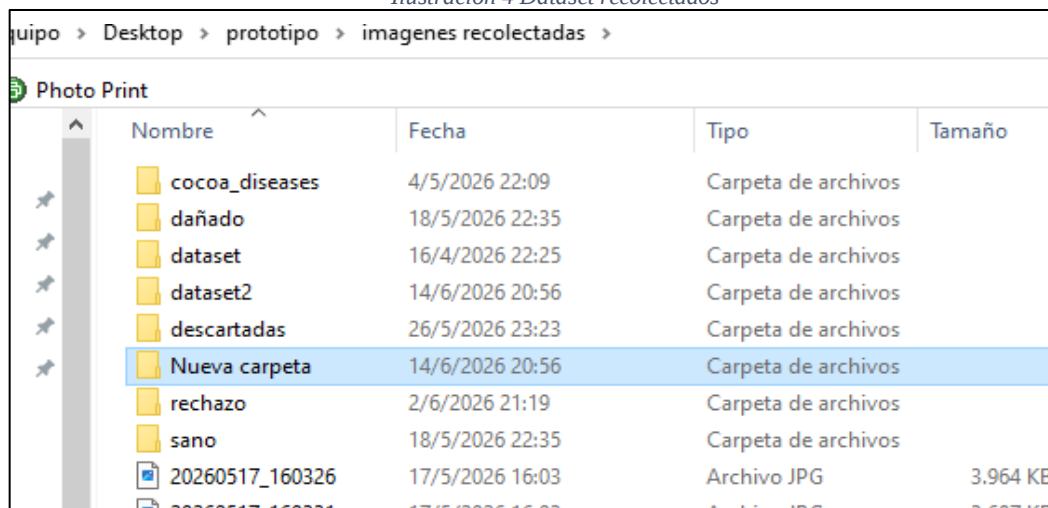
Cocoa_diseases dataset con imágenes de mazorca de cacao.

Ilustración 3 Dataset público.



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
images	4/5/2026 22:10	Carpeta de archivos	
labels	4/5/2026 22:10	Carpeta de archivos	
sano respaldo	5/5/2026 11:04	Carpeta de archivos	
notes	9/9/2025 3:08	Archivo de origen ...	

Ilustración 4 Dataset recolectados



Nombre	Fecha	Tipo	Tamaño
cocoa_diseases	4/5/2026 22:09	Carpeta de archivos	
dañado	18/5/2026 22:35	Carpeta de archivos	
dataset	16/4/2026 22:25	Carpeta de archivos	
dataset2	14/6/2026 20:56	Carpeta de archivos	
descartadas	26/5/2026 23:23	Carpeta de archivos	
Nueva carpeta	14/6/2026 20:56	Carpeta de archivos	
rechazo	2/6/2026 21:19	Carpeta de archivos	
sano	18/5/2026 22:35	Carpeta de archivos	
20260517_160326	17/5/2026 16:03	Archivo JPG	3.964 KB
20260517_160321	17/5/2026 16:03	Archivo JPG	2.687 KB

4.4.3 Sprint 3 Preprocesamiento y augmentación

4.4.3.1 Objetivo

Preparar los datos del dataset para el entrenamiento mediante edición de imágenes, aplicando técnica de recortes y crear baseline de augmentaciones para un crecimiento de datos en el dataset.

Duración: (semana 5 y 6) del 4 de mayo hasta el 17 de mayo del 2026

Actividades:

- Realizar preprocesamiento de imágenes
- Aplicar aumentación en el dataset
- Dividir dataset en clases (train, validation, test)

4.4.3.2 Historia de usuario 5: Procesamiento y aumento de datos

Tabla 16 Historia de usuario 5

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU05	Título	Procesamiento y aumento de datos
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Medio	Tamaño de la tarea	Grande
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Realizar un proceso de aumento de datos en el dataset		
Para	incrementar el tamaño del dataset previo al entrenamiento del modelo.		
Criterios de aceptación	• El dataset inicial aumentó considerablemente. • Se duplicaron imágenes con diferente brillo, contraste, sombras y rotación del 15 al 10%. • Se eliminan imágenes borrosas o de baja calidad que puedan afectar al entrenamiento.		
Dependencias	Dataset correctamente clasificado HU04 Herramienta tecnológica para el aumento del dataset		

4.4.3.3 Backlog inicio del sprint 3

Tabla 17 Backlog inicial

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
8	Procesamiento del dataset	Alta	Por hacer
9	Aplicación de técnicas de aumentación	Alta	Por hacer
10	División del dataset en entrenamiento y validación	Alta	Por hacer
11	Selección de la arquitectura EfficientNet-B4	Alta	Por hacer

4.4.3.4 Backlog fin del sprint 3

Tabla 18 Backlog final sprint 1

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
8	Procesamiento del dataset	Alta	Completado
9	Aplicación de técnicas de aumentación	Alta	Completado
10	División del dataset en entrenamiento y validación	Alta	Completado
11	Selección de la arquitectura EfficientNet-B4	Alta	Completado

4.4.3.5 Evidencia del sprint 3

Ilustración 5 Limpieza de ruido en las imágenes

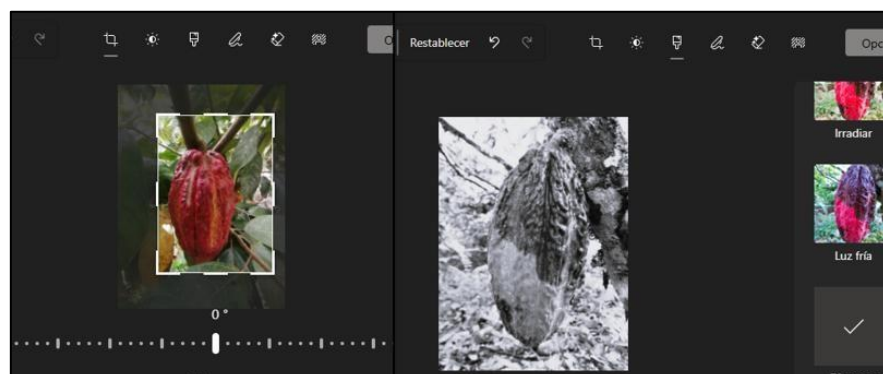
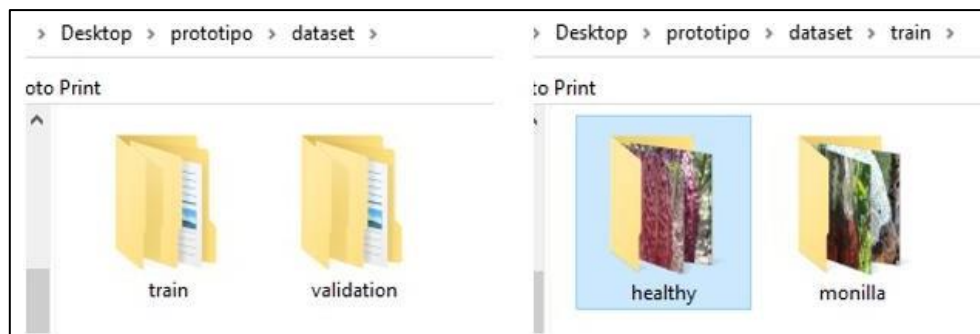


Ilustración 6 Clasificación de imágenes



4.4.4 Sprint 4 Baseline de modelos y pruebas iniciales

4.4.4.1 Objetivo:

Entrenar los primeros modelos con la arquitectura EfficientNet-B4 utilizando los primeros datasets estructurados con sus carpetas correspondientes train y validación con sus respectivas clases internas. Probar con otras arquitecturas con menos requerimientos como EfficientNet-B0.

Duración: (semana 7 y 8) del 18 de mayo hasta el 31 de mayo del 2026

Actividades:

- Implementación de arquitectura (EfficientNet-B0 y EfficientNet-B4) justificar su elección. entrenamiento del baseline
- Entrenamiento de baseline con transfer Learning; registrar métricas y resultados
- Primer análisis de faltas y técnica de mejora

4.4.4.2 Historia de usuario 6: Entrenamiento del modelo

Tabla 19 Historia de usuario 6

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU06	Título	Entrenamiento del modelo
Prioridad	Alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riego de desarrollo	Alto	Tamaño de la tarea	Grande
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Entrenar el modelo con la arquitectura EfficientNet.		
Para	Analizar los resultados del entrenamiento y probar diferentes modelos.		
Criterios de aceptación	- Modelo entrenado correctamente con arquitectura EfficientNet-B4 o EfficientNet-B0. - Modelo entrenado con el dataset aumentado. - Se selecciona la arquitectura de entrenamiento más favorable para el sistema.		
Dependencias	Dataset preparado		

4.4.4.4 Backlog fin del sprint 4

Tabla 20 Backlog final del sprint 4

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
12	Entrenamiento del modelo EfficientNet-B0	Media	Completado
	Entrenamiento del modelo EfficientNet-B4	Alta	Completado
13	Ajustes de parámetros	Alta	Completado
14	Evaluación y comparación de modelos	Alta	Completado

4.4.4.5 Evidencia del sprint 4

- EfficientNet-B4 arquitectura utilizada para el entrenamiento del primer pipeline**

Esta tecnología fue seleccionada ya que proporciona un equilibrio entre precisión y eficiencia a extraer datos característicos de la imagen por otro lado

esta tecnología requiere de pocos parámetros para su funcionamiento, lo se convierte en la mejor opción para el desarrollo del modelo

Ilustración 7 Aplicación del modelo EfficientNet-B4

```
from tensorflow.keras.applications import EfficientNetB4

# Modelo base
base_model = EfficientNetB4(
    weights="imagenet",
    include_top=False,
    input_shape=(IMG_SIZE, IMG_SIZE, 3))
```

- **Análisis de los resultados obtenidos en el entramiento:**

Ilustración 8 Primer modelo de IA entrenado

```
45/45 ————— 41s 908ms/step - accuracy: 0.3769 - loss: 1.1009 - val_accuracy: 0.3448 - va
Epoch 29/30
45/45 ————— 40s 887ms/step - accuracy: 0.3882 - loss: 1.0833 - val_accuracy: 0.5379 - va
Epoch 30/30
45/45 ————— 42s 932ms/step - accuracy: 0.3586 - loss: 1.0972 - val_accuracy: 0.3586 - va

Modelo entrenado correctamente
```

El primer modelo se entrenó a partir del primer dataset desarrollado, durante 30 épocas. Sin embargo, en la imagen en las épocas se presenta un resultado de generalmente un val_accuracy del 0.3586 ; un val_accuracy del 35,86 % significa que malo, el sistema no aprendió algo en concreto y como resultado obtenemos un modelo con resultados al azar.

- **Plan de mejora**

Desarrollar un dataset más limpio con imágenes claras para analizar nuevos resultados.

4.4.5 Sprint 5 Mejora del modelo y validación

4.4.5.1 Objetivo

El objetivo de este sprint es optimizar el modelo realizando ajustes en los parámetros a conveniencia, para un mejor rendimiento del sistema y evaluar otras técnicas como mejoras en el data set para un mejor aprendizaje.

Duración: (semana 9 y 10) del 1 de junio hasta el 14 de junio del 2026.

Actividades:

- Afinamiento de parámetros en Learning rate y técnicas de regulación.
- Realizar un conjunto de pruebas después de cambios como la iluminación sobras y ruido en las imágenes analizar resultados.

4.4.5.2 Historia de usuario 7: Evaluación y análisis del modelo

Tabla 21 Historia de usuario 7

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU07	Título	Evaluación y análisis del modelo entrenado HU06
Prioridad	Mediana	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Bajo	Tamaño de la tarea	Mediana
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Realizar pruebas en el modelo		
Para	Evaluar precisión y aceptación del modelo.		
Criterios de aceptación	• Pruebas realizadas en el modelo • Análisis de resultados obtenido • Se identifican errores • Se desarrolla plan de mejora		
Dependencias	Modelo entrenado en la HU06		

4.4.5.3 Backlog fin del sprint 5

Tabla 22 Backlog final del sprint 5

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Configuración de parámetros	Media	Completado

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
2	Realizar cambios en el dataset	Alta	Completado
3	Ajustes de hiperparametros	Alta	Completado
4	Evaluación y comparación de modelos	Alta	Completado

4.4.5.4 Evidencia del sprint 5

- **Pruebas realizadas**

Se realizó un afinamiento de los parámetros en learning rate que es la velocidad en la que aprende el modelo con la finalidad de corregir errores de manera óptima. Principalmente se utilizaba learning rate=1e-5, sin embargo, se probó con:

Ilustración 9 Mejora del modelo

```
print("\n— FASE 1: clasificador —")
model.compile(
    optimizer=Adam(learning_rate=1e-3),
    loss="categorical_crossentropy",
    metrics=["accuracy"]
)
```

4.4.6 Sprint 6 Interfaz de prueba e inferencia.

4.4.6.1 Objetivo

Implementar servicio de inferencia para aprender de nuevas imágenes y realizar nuevas pruebas en el modelo entrenado.

Duración: (semana 11 y 12) del 15 de junio hasta el 28 de junio del 2026.

Actividades:

- Integración del modelo entrenado dentro del sistema para realizar inferencia sobre nuevas imágenes.

- Validar el funcionamiento del sistema utilizando imágenes de cacao para observar el correcto funcionamiento del sistema.

4.4.6.2 Historia de usuario 8: Pruebas de inferencia

Tabla 23 Historia de usuario 8

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU08	Título	Pruebas de inferencia
Prioridad	Mediana	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Bajo	Tamaño de la tarea	Mediana
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Realizar pruebas de inferencia		
Para	Evaluar las conclusiones del modelo a partir de imágenes nuevas.		
Criterios de aceptación	• Pruebas de inferencia realizadas en el modelo • Análisis de resultados obtenido • Conclusión de inferencia		
Dependencias	Pruebas aceptadas en la HU07		

4.4.6.3 Backlog fin del sprint 6

Tabla 24 Backlog final del sprint 6

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Desarrollo del API con Flask	Alta	Completado
2	Integración del modelo con Flask	Alta	Completado
3	Pruebas de inferencia	Alta	Completado
4	Análisis de resultados	Alta	Completado

4.4.6.4 evidencias del sprint 6

- Integración del modelo para realizar inferencia con nuevas imágenes, API desarrollada con funciones de: recepción de imágenes, procesar imágenes, ejecución del modelo y retorno de diagnóstico de la mazorca.

Ilustración 10 Mejoras de interferencia de imágenes

```
img = preprocess_input(img.astype(np.float32))
img = np.expand_dims(img, axis=0)

resultado = model.predict(img, verbose=0)

print("\n==== PROBABILIDADES ====")
for i, clase in enumerate(CLASES):
    print(f"{clase}: {resultado[0][i] * 100:.2f}%")

indice = np.argmax(resultado)
clase = CLASES[indice]
confianza = resultado[0][indice] * 100

nombres = {
    "healthy": "🍫 Cacao sano",
    "monilia": "🍄 Monilia",
}

print("\n==== RESULTADO ====")
print("Diagnóstico:", nombres[clase])
print(f"Confianza: {confianza:.2f}%")

return clase, confianza
```

4.4.7 Sprint 7 Interfaz de usuario y funcionalidades de campo

4.4.7.1 Objetivo

Desarrollar una interfaz web interactiva fácil de utilizar para las primeras pruebas del modelo desde la web con proyección de una aplicación móvil para el usuario y realizar pruebas de campo con imágenes en tiempo real.

Duración: (semana 13 y 14) del 29 de junio hasta el 12 de julio del 2026.

Actividades:

- Diseño UX implementación de interfaz para captura de imagen y muestra de resultados;
- Agregar funcionalidades de botones; permitir subir imágenes desde cámara y galería
- Pruebas de usabilidad por usuarios

4.4.7.2 Historia de usuario 9: Desarrollo interfaz web y móvil

Tabla 25 Historia de usuario 9

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU09	Título	Interfaz móvil y web.
Prioridad	Mediana	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riesgo de desarrollo	Bajo	Tamaño de la tarea	Mediana
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Desarrollar una interfaz móvil y web		
Para	Realizar pruebas en tiempo real		
Criterios de aceptación	• Interfaz básica web y móvil para pruebas. • Pruebas en interfaz web • Pruebas en interfaz móvil		
Dependencias	Modelo entrenado y entorno de desarrollo		

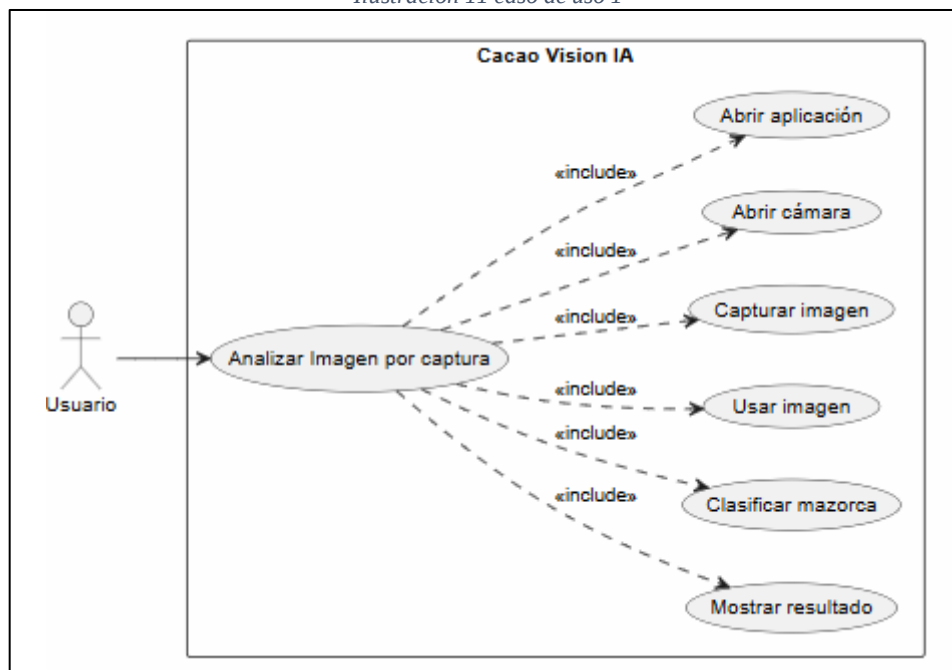
4.4.7.3 Historia de usuario 9: Captura de imagen

Tabla 26 Historia de usuario 10

4.4.7.4 Caso de uso: Analizar imagen por captura.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU10	Título	Capturar imagen de mazorca
Prioridad	alta	Usuario	Todos los usuarios
Riesgo de desarrollo	Media	Tamaño de la tarea	Alta
como	Usuario de la aplicación		
Quiero	Poder utilizar la cámara en la aplicación		
Para	Capturar una imagen en tiempo real		
Criterios de aceptación	• La cámara del dispositivo abre correctamente desde la aplicación • Se captura imagen sin problemas • La imagen se puede enviar al modelo para su análisis		
Dependencias	Permisos de acceso de cámara.		

Ilustración 11 caso de uso 1



4.4.7.5 caso de uso: Analizar imagen por captura.

Tabla 27 Caso de uso: Analizar imagen por captura

Documentación del caso de uso: analizar imagen por captura	
Caso de uso: 001	Nombre: Analizar imagen por captura
Fecha: 5/07/2026	Elaborado por: Carlos Deivi Rodríguez Cedeño
Actores:	Usuario
Objetivo:	Permitir al usuario tomar una imagen en tiempo real para analizarla
Precondiciones:	Sistema funcional modo online y offline
Postcondiciones:	El usuario puede realizar un nuevo análisis.
Medios para realizar:	Teléfono móvil con la aplicación instalada
Pasos:	
• Abrir la aplicación	

• Seleccionar cámara • Tomar foto • Seleccionar usar imagen • Analizar imagen • Ver resultado
Situaciones excepcionales: El usuario no accede el permiso para utilizar cámara.
Revisado por: Ing. Raúl Saed Reascos Pinchao

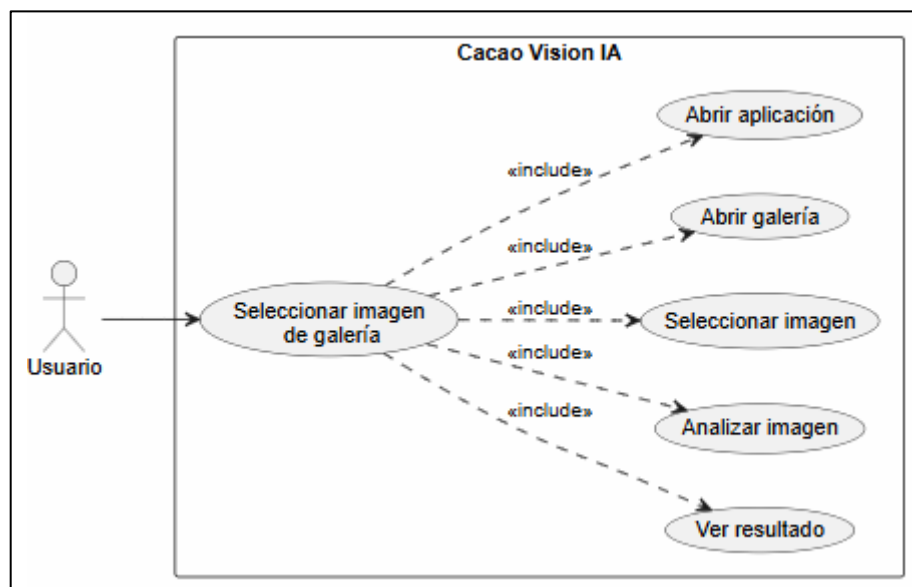
4.4.7.6 Historia de usuario 10: Seleccionar imagen de galería

Tabla 28 Historia de usuario 10

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU10	Título	Seleccionar una imagen desde galería
Prioridad	alta	Usuario	Todos los usuarios
Riego de desarrollo	Media	Tamaño de la tarea	Alta
como	Usuario de la aplicación		
Quiero	Seleccionar una imagen desde el dispositivo		
Para	Analizar una imagen tomada desde la aplicación cámara del dispositivo.		
Criterios de aceptación	• Se abre la galería dentro del sistema correctamente • Se puede seleccionar una imagen		
Dependencias	Permiso de acceso de galería.		

4.4.7.7 Caso de uso: Analizar imagen de galería.

Ilustración 12 Caso de uso: Analizar imagen de galería



4.4.7.8 Caso de uso: analizar imagen de galería.

Tabla 29 Caso de uso: Analizar imagen por galería

Documentación del caso de uso: analizar imagen de galería.	
Caso de uso: 002	Nombre: Analizar imagen de galería.
Fecha: 5/07/2026	Elaborado por: Carlos Deivi Rodríguez Cedeño
Actores:	Usuario
Objetivo:	Permitir al usuario seleccionar una imagen de galería posteriormente analizarla con el modelo.
Precondiciones:	Sistema funcional modo online y offline
Postcondiciones:	El usuario puede realizar un nuevo análisis.
Medios para realizar:	Teléfono móvil con la aplicación instalada
Pasos:	
• Abrir la aplicación • Abrir archivos o galería • Seleccionar usar imagen	

• Analizar imagen • Ver resultado
Situaciones excepcionales: El usuario no accede el permiso para acceder a los archivos de galería.
Revisado por: Ing. Raúl Saed Reascos Pinchao

4.4.7.9 Backlog fin del sprint 7

Tabla 30 Backlog final del sprint 7

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
1	Desarrollo de la interfaz web	Media	Completado
2	Desarrollo de la aplicación Android	Alta	Completado
3	Integración de tensorflow Lite	Alta	Completado
4	Implementación de la cámara	Alta	Completado
5	Implementación de galería	Media	Completado

4.4.7.10 Evidencia del sprint 7

- interfaz web de pruebas.

Ilustración 13 Interfaz web

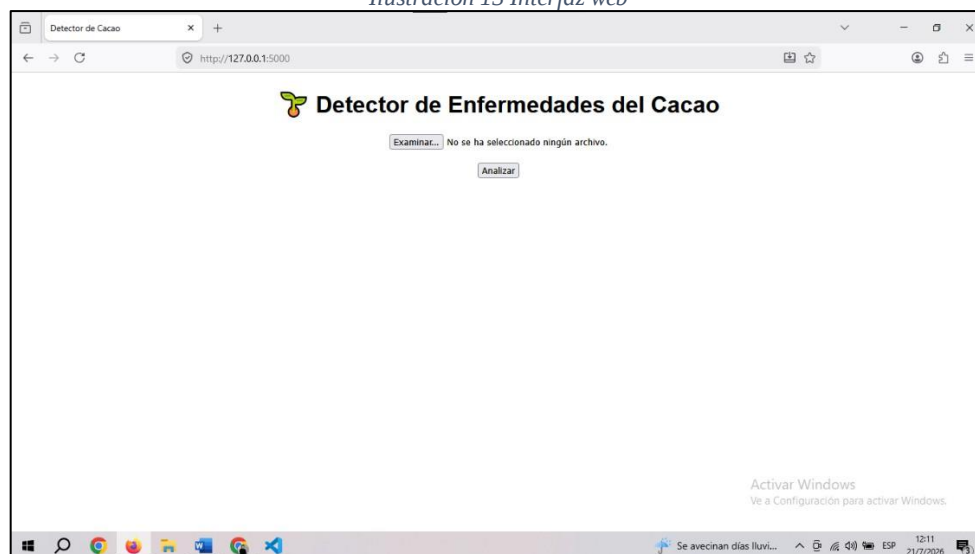


Ilustración 14 Prueba uno del modelo



Ilustración 15 Prueba dos del modelo

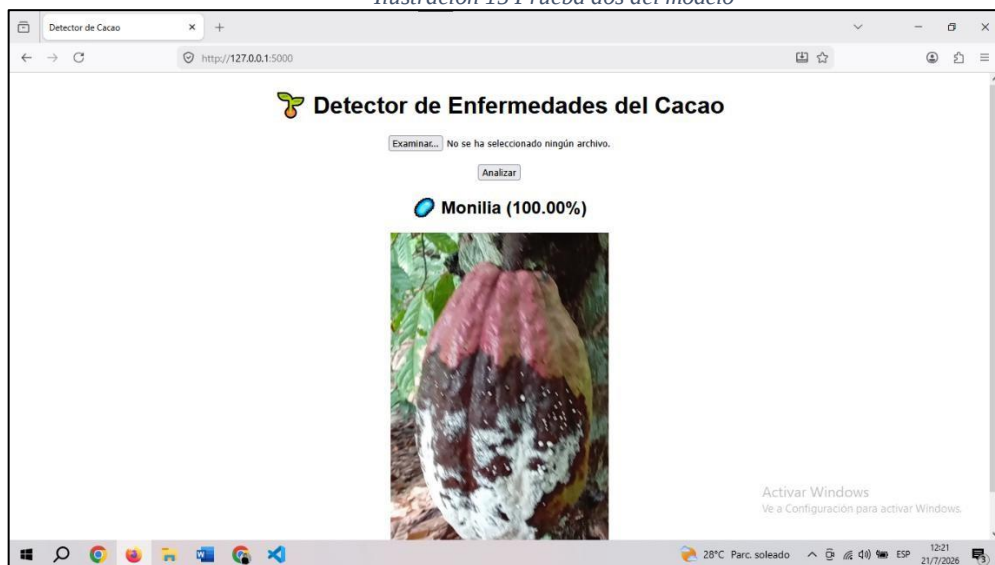


Ilustración 16 Prueba 3 del modelo



4.4.8 Sprint 8 validación de campo test y entrega final

4.4.8.1 Objetivo

Realizar pruebas finales del sistema en un entorno real donde se puedan realizar toma de imágenes de cacao para evaluar los resultados de los diagnósticos además documentación final del sistema para la integración del sistema.

Duración: (semana 15 y 16) del 13 de julio hasta el 26 de julio del 2026.

Actividades:

- Despliegue en entorno de producción u objetivo de investigación.
- Corrección de errores en el sistema de visión artificial
- Documentación final

4.4.8.2 Historia de usuario 8: Integración del modelo

Tabla 31 Historia de usuario 8

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU08	Título	Integración del modelo de IA
Prioridad	alta	Usuario	Investigador (Carlos Rodriguez)
Riego de desarrollo	Media	Tamaño de la tarea	Alta
como	Investigador responsable del desarrollo de la aplicación		
Quiero	Integrar el modelo funcional dentro del sistema		
Para	Poder utilizar el software de manera fácil		
Criterios de aceptación	• El modelo funciona correctamente en el sistema • Sistema procesa nuevas imágenes sin errores • El modelo genera una predicción para cada diagnostico		
Dependencias	Sistema finalizado en el HU07		

4.4.8.3 Historia de usuario 11: diagnóstico de enfermedades

Tabla 32 Historia de usuario 11

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU11	Título	Diagnosticar enfermedades en la mazorca de cacao
Prioridad	alta	Usuario	Todos los usuarios
Riego de desarrollo	Media	Tamaño de la tarea	Alta
como	Usuario de la aplicación		
Quiero	Generar un diagnóstico de la mazorca		
Para	Mejorar la toma de decisiones prácticas en el cultivo.		
Criterios de aceptación	La aplicación muestra un diagnóstico sobre la imagen evaluada		
	- El sistema identifica enfermedades - El tiempo de respuesta tiene que ser aceptado		
Dependencias	Modelo EfficientNet-B4 correctamente funcional		

4.4.8.4 Historia de usuario 12: Recopilación de datos

Tabla 33 Historia de usuario 12

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia	HU12	Título	Visualizar el diagnóstico de la mazorca
Prioridad	alta	Usuario	Todos los usuarios
Riego de desarrollo	Media	Tamaño de la tarea	Alta
como	Usuario de la aplicación		
Quiero	Ver un diagnóstico de la mazorca analizada.		
Para	Conocer el estado fitosanitario de la mazorca.		
Criterios de aceptación	- El sistema debe mostrar un resultado fitosanitario - El resultado del diagnóstico debe ser claro y entendible - La información debe verse en la interfaz		
Dependencias	Imagen procesada y analizada		

4.4.7.5 Backlog fin del sprint 8

Tabla 34 Backlog final del sprint 8

Nro.	Tarea	Prioridad	Estado
------	-------	-----------	--------

1	Prueba con imágenes reales	Alta	Completado
2	Exportación del sistema en archivo tflite	Alta	Completado
3	Implementación	Alta	Completado
4	Documentación técnica final	Alta	Completado

4.4.7.6 evidencia del sprint 8

- Se realizó una prueba en tiempo real del sistema con imágenes seleccionada:

Sano, Monilla y No cacao

Ilustración 17 Prueba uno del modelo

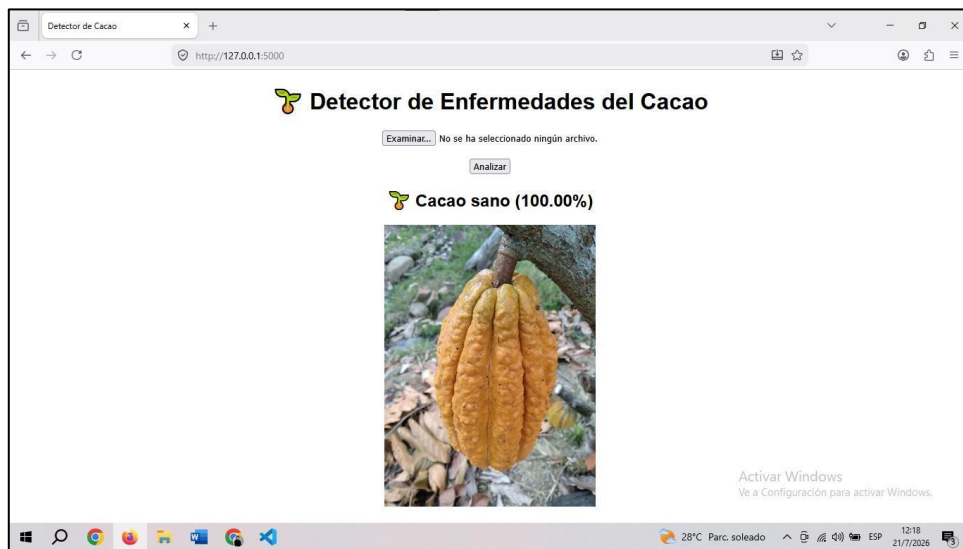


Ilustración 18 Prueba dos del modelo

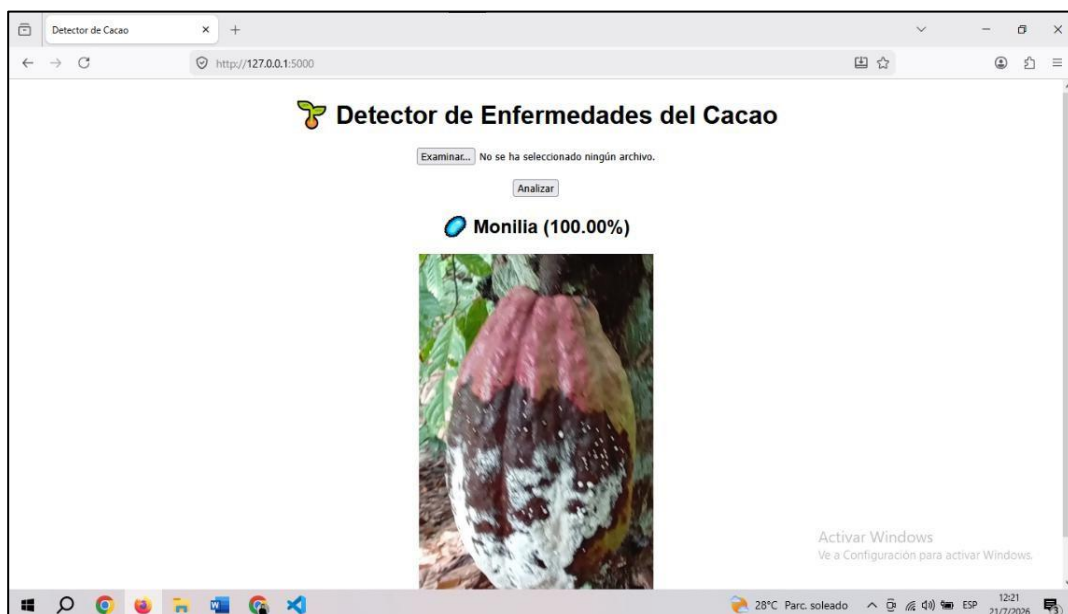
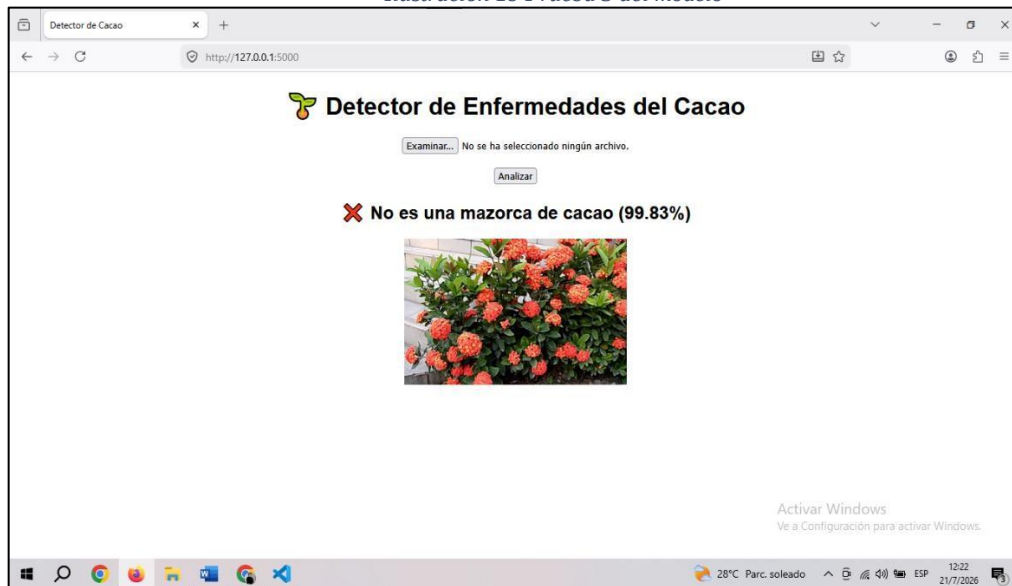


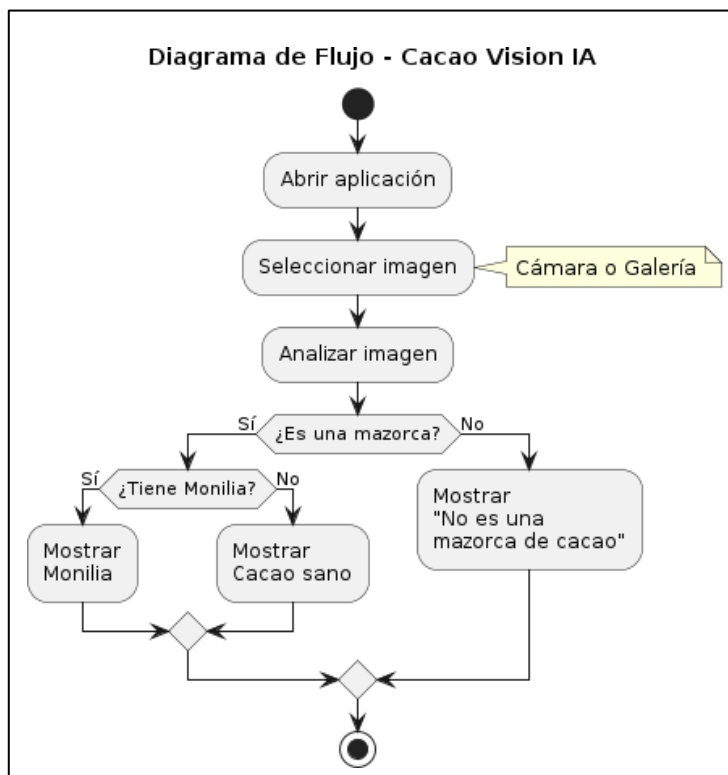
Ilustración 19 Prueba 3 del modelo



4.5 Descripción técnica del sistema.

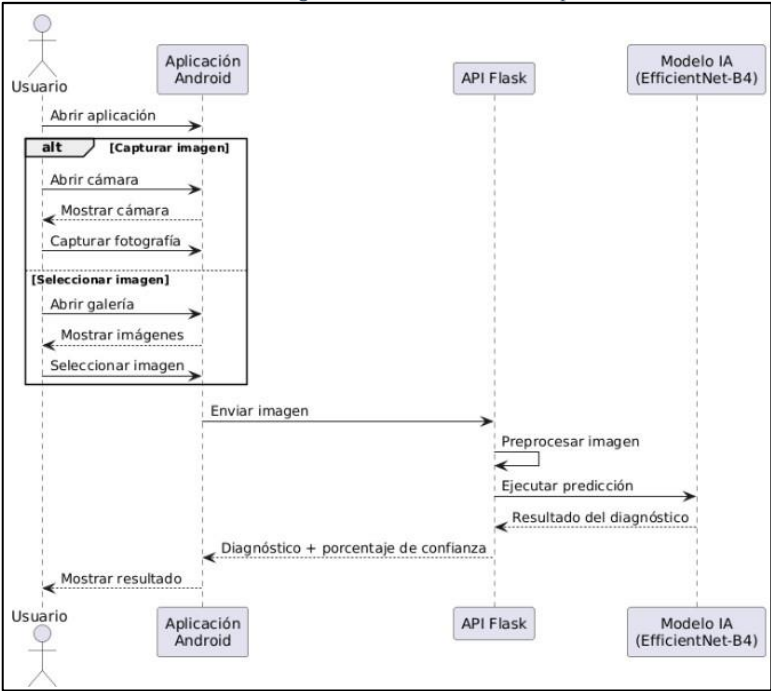
4.5.1 Diagrama de flujo de la aplicación

Ilustración 20 Diagrama de flujo de la aplicación



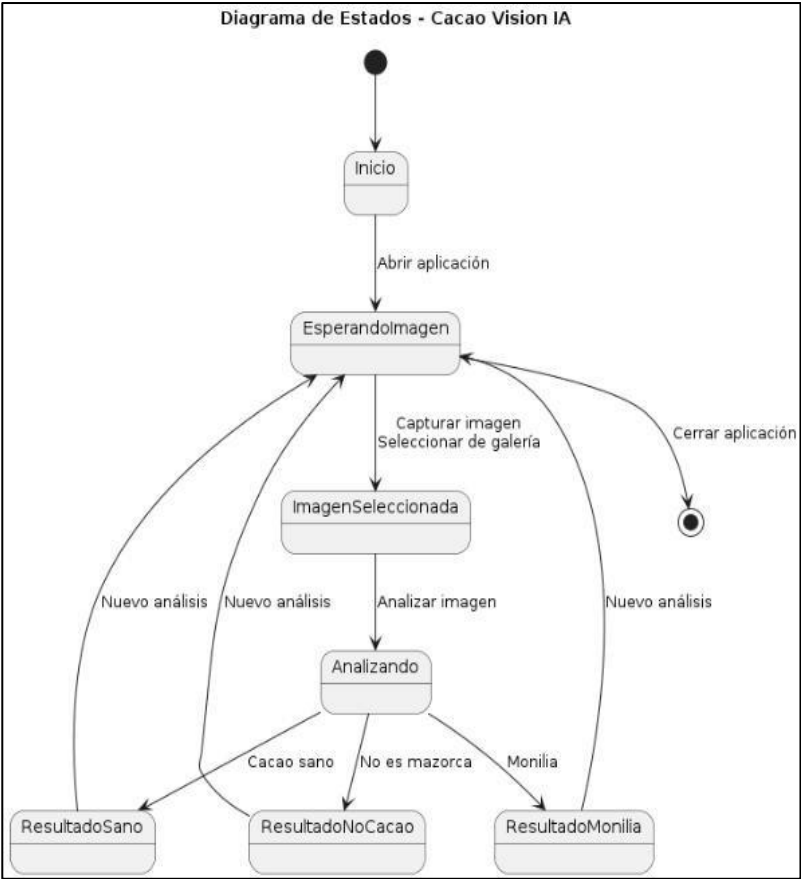
4.5.2 Diagrama de secuencia

Ilustración 21 Diagrama de secuencia de la aplicación.



4.5.3 Diagrama de estado

Ilustración 22 Diagrama de estado de la aplicación.



Pantallas del sistema

4.5.4 pantalla de inicio

Ilustración 23 Pantalla menú



Pantalla principal del sistema muestra una interfaz sencilla, interactiva y práctica con un diseño de poco ruido para que sea fácil usar, evidenciado principalmente la opción de análisis de imágenes mediante cámara un en el botón análisis integral el cual despliega una cámara tipo scanner para realizar pruebas de diagnóstico en tiempo real.

4.5.5 pantalla de análisis

Ilustración 24 Pantalla de análisis



En la presente pantalla se muestra el apartado de escaneo donde el usuario pudo realizar una captura de la mazorca del cacao para realizar el respectivo análisis de la imagen y en consecuencia obtener un diagnóstico.

4.5.6 pantalla de mostrar resultados

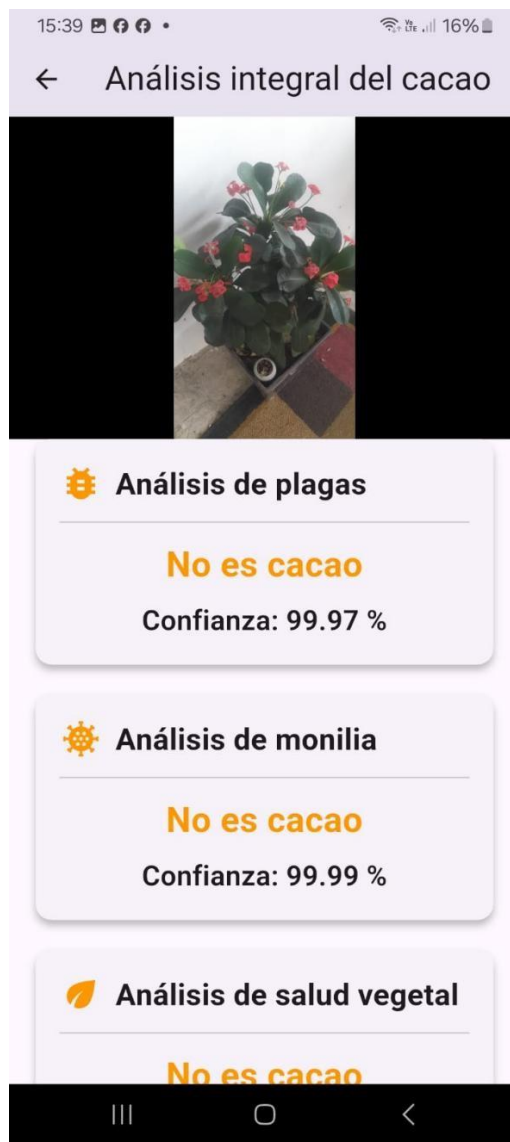


Ilustración 25 Pantalla de resultados

Finalmente, en esta pantalla se mostraron los resultados de imagen analizada por el modelo realizado en esta investigación y los demás modelos de inteligencia artificial desarrollados por los otros participantes del sistema general integrador, los cuales identifican otro tipo de enfermedades y problemáticas en cultivos de cacao.

CAPÍTULO V

5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Introducción

Con el fin de evaluar el correcto funcionamiento de la aplicación con visión artificial para identificar el hongo *moniliophthora roreri* en cultivos de cacao se realizaron pruebas funcionales y no funcionales aplicadas en el modelo de inteligencia artificial. Las pruebas funcionales permitieron evidenciar el correcto funcionamiento de la aplicación, certificando que las funcionalidades como: la toma de imágenes, selección de imágenes de galería y análisis de imágenes para la detección del hongo, cumplieron todos los requisitos planteados a lo largo de la investigación.

Por otro lado, se realizaron pruebas no funcionales para evaluar el rendimiento del sistema, siendo parámetros como: el tiempo de respuesta en analizar una imagen, la precisión del modelo al detectar la presencia del hongo y el fácil uso para los productores, estudiantes de agropecuaria, profesionales en el área y técnicos.

Estas pruebas se realizaron mediante un enfoque de cajas negras, analizando las funcionalidades del sistema desde la perspectiva del usuario, sin considerar los métodos implementados para su desarrollo, para lo cual, se utilizaron imágenes de diferentes tipos como, cacao sano con monilla y otro tipo de imágenes no pertenecientes al cacao, permitiendo identificar el alcance del sistema y su porcentaje de confiabilidad. Finalmente, los resultados permitieron obtener el alcance del modelo de inteligencia artificial y su precisión y confiabilidad para detectar dicho patógeno estudiado.

5.2 Validación técnica y funcional del producto

5.2.1 Planificación de la evaluación

Tabla 35 Planificación de evaluación

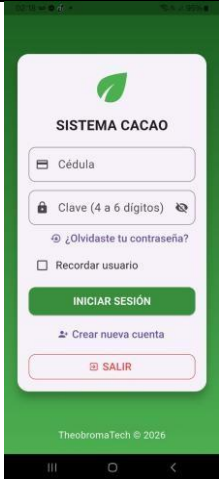
Proceso evaluado	Método de validación	Resultado esperado
Detector de monilla	Se evaluó el sistema mediante imágenes de mazorca de cacao contaminadas con el hongo <i>moniliophthora roreri</i> .	Precisión superior al 95%
Clasificación de imágenes	Se verificó la clasificación de dataset de acuerdo con su clase, cacao sano, cacao con monilla, no cacao	Clasificación correcta de las clases
Tiempo de respuesta	Se evalúa el tiempo en el que el sistema analiza una imagen y proporciona un Diagnóstico.	Tiempo estimado menor a 5 segundos
Funcionalidad de la aplicación	Se evaluó el uso de la aplicación mediante usuarios no expertos	El usuario pudo utilizar la aplicación con facilidad

5.2.2 Ejecución de la validación

Las validaciones se realizaron mediante pruebas, las cuales, consistían en utilizar el sistema de manera que un usuario común lo realizaría, lo cual se desglosa en la siguiente manera: Subir una foto de una mazorca contaminada con el hongo monilla esperando una respuesta del sistema correcta “cacao con monilla” y una confianza de más del 95%, analizar su resultado posteriormente realizar otras pruebas con diferentes imágenes.

5.2.2.1 Proceso de análisis de imágenes

Tabla 36 Proceso de análisis de imágenes

Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
Abrir aplicación	Seleccionar imagen o tomar foto	Analizar imagen	Mostrar resultados
			
El usuario puede iniciar sesión registrarse como también poder recuperar y cambiar de contraseña.	El usuario puede acceder al módulo de análisis inteligente para realizar pruebas de diagnóstico.	El usuario puede tomar y subir una foto para ser analizada por el módulo desarrollado en la investigación.	En esta sección el usuario puede observar el diagnóstico otorgado por el modelo después del análisis.

5.2.2.2 Resultados de precisión del modelo

Tabla 37 Precisión del modelo

Imagen	Resultado esperado	Resultado obtenido	Confianza	Estado
---------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------	---------------

	Monilla	Monilla	97.9%	Correcto
	No es una mazorca	No es una mazorca	96.2%	Correcto
	Cacao sano	Cacao sano	98.8%	Correcto
	Monilla	Monilla	97.5%	Correcto
Imagen	Resultado esperado	Resultado obtenido	Confianza	Estado

	Cacao sano	Cacao sano	99.9%	Correcto
	Monilla	Monilla	98.9%	Correcto
	No una mazorca	No es una mazorca	99.8%	Correcto
	No una mazorca	No es una mazorca	89.9%	Correcto

5.2.2.3 Tiempos de respuesta

Tabla 38 Tiempo de respuesta

Nro. Prueba	Tiempo de respuesta
1	1.60 segundos
2	1.78 segundos
3	1.40 segundos
4	1.50 segundos
6	2.87 segundos
7	1.15 segundos
8	1.01 segundos

5.2.2.4 Validación con personas no expertas

Ilustración Prueba persona no experta



Ilustración Persona no experta 2



5.3 Análisis de impacto y resultados obtenidos

5.3.1 Análisis de la precisión

Los resultados obtenidos durante la fase de validación demostraron que el modelo EfficientNet-B4 alcanzó una tasa de precisión superior al 95% en la detección de la enfermedad principal en cultivos de cacao. El modelo fue capaz de reconocer dicha enfermedad y fue capaz de reconocer una mazorca en buen estado de salud por otro lado valida con éxito imágenes que no son una mazorca de cacao.

Durante el desarrollo se realizaron procesos de optimización, entre ellos la reorganización de dataset, eliminación de imágenes ambiguas, reducción de ruido en imágenes selección de imágenes claras y específicas como también eliminación de la clase *Phytophthora palmivora*, debido a que esta enfermedad no formaba parte del

objetivo principal de clasificación establecido para el sistema. La investigación se orientó específicamente a la detección de *Moniliophthora roreri* en frutos de cacao, por lo que mantener clases correspondientes a otras enfermedades podía incrementar la complejidad del problema de clasificación y generar confusión entre categorías con síntomas visuales similares.

El sistema es consistente con las investigaciones relacionadas con la detección automática de enfermedades mediante un sistema de visión artificial. Las redes neuronales convolucionales y arquitecturas como EfficientNet muestran su alto nivel de precisión siempre y cuando se asocie con un conjunto de datos adecuadamente organizado y equilibrado en consecuencia obtenemos una tecnología capaz de ayudar de manera eficiente a la toma de decisiones en área de la agricultura.

5.3.2 Análisis del rendimiento

Los resultados del rendimiento de la aplicación permiten analizar el tiempo necesario para procesar una imagen y generar un diagnóstico correspondiente, durante las pruebas el modelo respondió de manera ágil y rápida permitiendo que el usuario obtenga la respuesta pocos segundos después de subir o capturar una imagen lo cual favorece la agilidad de proporcionar un diagnóstico general del fruto.

En cuanto a la facilidad de uso se desarrolló una interfaz de fácil uso y pocos pasos ofreciendo una experiencia intuitiva reduciendo al mínimo la cantidad de pasos necesario para realizar un análisis, dicha práctica favorece al usuario. De manera que el usuario solo debe subir una imagen y el modelo responderá en pocos segundos un diagnóstico en específico.

5.3.3 Cumplimiento del objetivo

Durante las pruebas y el desarrollo de la aplicación y la validación permite concluir que se cumplió el objetivo general de la investigación este que consistía en desarrollar una aplicación con EfficientNet-B4 para detectar la monilla de manera temprana en cultivos de cacao mediante una aplicación móvil. De la misma manera se alcanzaron los objetivos específicos de manera exitosa.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se realizó una investigación documental y de campo para determinar cómo las enfermedades fitosanitarias afectan potencialmente a los cultivos de cacao, las cuales causan pérdidas económicas en su producción, esta investigación permitió reconocer las diversas características de estos patógenos de la misma manera su forma de reproducción, por otro lado, se realizó una investigación de modelos de redes neuronales (CNN). Lo cual tuvo como finalidad realizar un estudio general para la aplicación de una solución frente a la problemática mencionada.

Se realizaron visitas en el campo evaluado lo que permitió recolectar información sobre las principales enfermedades y condiciones que afectan a la producción de cacao, ayudando a identificar las causas de estos problemas. Esta investigación en tiempo real demostró los factores dan presencia al inicio de esta enfermedad fitosanitaria. La humedad, las malas prácticas realizadas en el cultivo y condiciones climáticas específicas para la proliferación del hongo, los cuales constituyen los resultados principales de esta investigación.

Finalmente, este sistema desarrollado con intención de crear una herramienta de

trabajo mediante un modelo de inteligencia basado en arquitectura EfficientNet-B4 capaz de identificar esta enfermedad a partir de una imagen, permitiendo al productor de cacao, técnico y estudiante mejorar en la precisión de detección de monilla en un fruto de cacao mejorando la toma de decisiones lo que ayuda al usuario actuar con eficiencia mediante las recomendaciones del chatbot implementado en el módulo del sistema integrado.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda un plan de mejora a los futuros desarrolladores del sistema implementar un módulo de geolocalización que permita registrar la ubicación de área evaluada facilitado el monitoreo de cultivos de cacao a grandes extensiones de terreno sin repetir zonas ya evaluadas, por ejemplo: un agricultor tiene un área de cultivo de 30 hectáreas de cacao, este módulo identificará las áreas evaluadas y si el usuario por equivocación vuelve a analizar un área que ya cuenta con un diagnóstico previo se mostrara un mensaje de aviso “Esta área ya fue diagnosticada” lo que mejoraría a evaluar grande extensiones de terreno en poco tiempo y sin datos repetidos.

Por otro lado, también se recomienda integrar el sistema de visión artificial a drones equipados con cámaras de alta precisión con la finalidad de realizar un escaneo al cultivo de cacao de grandes extensiones de producción de forma automática y organizada facilitando el trabajo del agricultor reduciendo gastos en recursos humanos.

Finalmente se recomienda un módulo de recomendación general de un área específica que permita generar un reporte de un área específico, por ejemplo: un recorre un área de 600 metros cuadrados el cual identifica enfermedades y mazorcas totalmente sano, este módulo generará un reporte avisando que el 35% de la producción está contaminada y con ayuda del módulo de geolocalización podrá generar mapas de calor identificando el área afectada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aggarwal, C. C. (2023). **Neural networks and deep learning: A textbook** (2nd ed.). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-29642-0>
- Angel, M. (2025, 22 de septiembre). *Ecuador está en camino de convertirse en segundo productor mundial de cacao, según dirigente sectorial*. Reuters.
<https://www.agrolatam.com/mercados-latam/ecuador-cacao-segundo-productor-mundial-2026/>
- Aquino Ruíz, A., León De la O, D. M., García Mínguez, R., Muñoz Rodríguez, C. R., Garrido Vázquez, J. N., & Arellano Cruz, C. A. (2025). Uso de U-Net y redes neuronales convolucionales para la detección de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en mazorcas de cacao. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 4741–4754. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15915
- Arias Gómez J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la. *Revista Alegria Mexico*, 201-206.
- Bagnato, J. I. (2018, 12 de septiembre). *Breve historia de las redes neuronales artificiales*. Aprende Machine Learning.
<https://www.aprendemachinelearning.com/breve-historia-de-las-redes-neuronales-artificiales/>
- Campaña, A., Hidalgo, F., & Sigcha, A. (Eds.). (2016). *Cacao y campesinos: Experiencias de producción e investigación*. Sistema de Investigación sobre la Problemática Agraria del Ecuador (SIPAE).
https://www.avsf.org/app/uploads/2023/12/cacao_campesinos_sipae_ecuador_2017.pdf
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. The MIT Press.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.

<https://doi.org/10.1038/nature14539>

Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.): Medidas para la temporada invernal.

<https://www.ica.gov.co/getattachment/56449f50-f3fa-4254-a410-3153a872e8bb/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-del-cacao.pdf>.

González Marcos, A., Martínez de Pisón Ascacíbar, F. J., Pernía Espinoza, A. V., Alba Elías, F., Castejón Limas, M., Ordieres Meré, J. B., & Vergara González, E. P. (2006). *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. Universidad de La Rioja.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia artificial: Un enfoque moderno* (2.^a ed.). Pearson Educación.

Lozano Ochoa, D. L. (2025). *Modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección y clasificación de la moniliasis en el cacao* [Trabajo de titulación, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Cuenca.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/20959>

Camarena Onofre, J. M., Tretto García, I. H., Medina Romero, M. Á., Oña Sinchiguano, B. E., & Hurtado García, K. D. R. (2025). *Tecnologías disruptivas en la agricultura 4.0: IA, IoT, drones, economía circular y modelación*. Know Press.
<https://doi.org/10.70180/978-9942-7389-1-2>

Phillips Mora W. & Wilkinson M. (2007). Vaina helada del cacao: una enfermedad con un alcance geográfico limitado pero un potencial de daño ilimitado. Online APS publications.

Colliot, O. (Ed.). (2023). *Machine learning for brain disorders*. Humana. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3195-9>Sandoval Boris Lenin (2022). *Incidencia del manejo cultural de monilla*. Guayaquil.

Villar Pilar Eugenia (2013). El cacao: ayer, hoy y siempre en el desarrollo socioeconómico y cultural del mundo, norte de santander y cúcuta. 8.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana. Mendoza-Metodologia-de-la-investigacio-n

Fernández Aranda, Ó. (2018). *Aplicación de metodología Scrum para el desarrollo de una API web de gestión médica con MEAN Stack* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC.

<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/33259>

Arbulu Cesar (2023). Definición de método de investigación inductivo. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28232.49925>

Carlos Cabrera Lozada (2022, agosto 24). Búsqueda bibliográfica. Cómo repensar las formas de buscar, recopilar y analizar la producción científica escrita. Viviana Martinovich | Academia Nacional de Medicina. <https://academianacionaldemedicina.org/publicaciones/div/busqueda-bibliografica-como-repensar-las-formas-de-buscar-recopilar-y-analizar-la-produccion-cientifica-escrita-viviana-martinovich/>

Mendoza Vargas H. (2024). Pontis, Sh. (2022) Comprender la investigación de campo. Una guía práctica para diseñadores de información. Investigaciones geográficas, (114). <https://doi.org/10.14350/rig.60930>

Hernán José Hernández-Belaides (2026) El método inductivo y su aplicación a la enseñanza del griego clásico. ResearchGate. <https://doi.org/10.46553/tab.19.2022.p37-53>

Ploetz Randy C. (2007). Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology*, 97(12), 1634-1639. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1634>

Drumond, C. (s. f.). ¿Qué es scrum? Desglose del marco de trabajo ágil. Atlassian.

<https://www.atlassian.com/es/agile/scrum>

Tan, M., & Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, 97, 6105–6114. <https://proceedings.mlr.press/v97/tan19a.html>

ANEXOS

Anexo A: Asignación de tutor

Anexo A: Asignación de tutor

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

**Periodo 2025-2 - Notificación de tutor asignado - SOFTWARE
2024 - NS - (EL CARMEN)**

Estimad@
Docente y Estudiante
Ulearn

En cumplimiento de lo establecido en la Ley, el Reglamento de Régimen Académico y las disposiciones estatutarias de la Ulearn, por medio de la presente se oficializa la dirección y tutoría en el desarrollo del Trabajo de Integración curricular / Trabajo de Titulación del siguiente estudiante:

Tema: SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL BASADO EN EFFICIENTNET-B4 PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE MONILIOPTHORA RORERI EN CULTIVOS DE THEOBROMA CACAO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL ULEAM EL CARMEN

Estado de aprobación: Aprobado

Tipo de titulación: Trabajo de Integración Curricular

Tipo de proyecto: Trabajo de Integración Curricular / Trabajo de titulación se articula con proyectos y programas de Investigación.

Apellidos y nombres del tutor asignado: REASCOS PINCHAO RAUL SAED

Apellidos y nombres del estudiante: RODRIGUEZ CEDEÑO CARLOS DEIM

Carrera: SOFTWARE 2024 - NS - (EL CARMEN)

Periodo de inducción: Periodo 2025-2

Activar V
Ve a Config

Ilustración 26 del tutor asignado

Anexo B: Encuesta

Anexo B: Encuesta

Encuesta sobre enfermedades fitosanitarias en cultivos de cacao

El presente cuestionario tiene como finalidad recopilar información sobre la presencia de enfermedades en cultivos de cacao, prácticas de manejo agrícola asociadas a la aparición de *Moniliophthora roreri* en productores del cantón en la Granja Experimental Uleam extensión El Carmen.

Hola, CARLOS DEIVI. Cuando envíe este formulario, el propietario verá su nombre y dirección de correo electrónico.

* Obligatorio

1. Rol * ☐

☐ Docente

☐ Estudiante

2. Nivel ☐

☐ Primero

☐ Segundo

☐ Tercero

☐ Cuarto

☐ Quinto

☐ Sexto

☐ Séptimo

☐ Octavo

☐ Noveno

3. ¿Con qué frecuencia se pierden mazorcas de cacao por pudrición? * ☐

☐ Nunca

☐ Rara vez

☐ Algunas veces

Ilustración 27 Parte 1 de la encuesta

☐ Frecuentemente

☐ Siempre

4. ¿Después de varios días de lluvia, observa más mazorcas dañadas? * ☐

☐ Nunca

☐ Casi nunca

☐ Algunas veces

☐ Casi siempre

☐ Siempre

5. ¿Qué medidas toma en el cultivo después de varios días de lluvia? * ☐

☐ Revisa las plantas y mazorcas

☐ Retira frutos dañados

☐ Realiza poda o limpieza del cultivo

☐ Aplica algún tratamiento o control

☐ No toma ninguna medida

6. ¿Cuál de las siguientes enfermedades afecta con mayor frecuencia al cultivo? * ☐

☐ Moniliasis

☐ Escoba de bruja

☐ Pudrición negra

☐ Otra enfermedad

☐ No sabe identificarla

Ilustración 28 Parte 2 de la encuesta

7. ¿Con qué frecuencia revisa las plantas de cacao? *

☐ Todos los días

☐ Varias veces por semana

☐ Una vez por semana

☐ Una vez al mes

☐ Solo cuando observa algún problema

8. ¿En qué etapa detecta generalmente la enfermedad en las plantas de cacao? *

☐ Cuando recién aparecen pequeñas manchas

☐ Cuando cambia el color del fruto

☐ Cuando el daño ya es visible

☐ Cuando el fruto está muy afectado

☐ No logra detectarla a tiempo

9. ¿En qué meses del año observa más enfermedades en las plantas de cacao? *

☐ Enero - Abril

☐ Mayo - Agosto

☐ Septiembre - Diciembre

☐ Durante todo el año

☐ No ha notado diferencia

10. ¿Considera que el calor influye en la aparición de enfermedades del cacao? *

☐ Sí, mucho

☐

Ilustración 29 Parte 3 de la encuesta

☐ Poco

☐ No influye

☐ No sabe

11. ¿Qué medidas toma en el cultivo cuando hay días de mucho sol? *

☐ Riega con mayor frecuencia

☐ Revisa el estado de las plantas

☐ Realiza poda o mantenimiento

☐ Protege el cultivo de alguna manera

☐ No toma ninguna medida

12. ¿En temporadas lluviosas aumentan las enfermedades en su cultivo de cacao? *

☐ Nunca

☐ Casi nunca

☐ Algunas veces

☐ Casi siempre

☐ Siempre

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Ilustración 30 Parte 4 de la encuesta

Anexo C: Entrevista

Anexo C: Entrevista

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ Carrera de Ingeniería en Software ENTREVISTA DIRIGIDA AL RESPONSABLE DEL ÁREA DE CACAO Objetivo de la Entrevista Esta entrevista tiene como finalidad recopilar información cualitativa sobre los procedimientos utilizados para el monitoreo fitosanitario en cultivos de cacao, las principales enfermedades que afectan la producción y las dificultades que existen para su detección temprana. La información obtenida permitirá fortalecer el desarrollo de un sistema de visión artificial basado en inteligencia artificial para la detección temprana de enfermedades en cultivos de cacao del cantón El Carmen. Indicaciones para el Entrevistado • Responda con base en su experiencia profesional y conocimientos sobre el manejo del cultivo de cacao. • No existen respuestas correctas o incorrectas; su opinión es de gran valor para la investigación. • La información recopilada será tratada con fines exclusivamente académicos y de investigación. • Puede tomarse el tiempo necesario para responder cada pregunta con claridad y detalle. Datos del Entrevistado Nombre: _____ Cargo: _____ Institución: _____ Fecha: _____	¿Cómo se realiza actualmente el monitoreo fitosanitario de los cultivos de cacao en la institución? Desde su experiencia profesional, ¿cuáles considera que son las enfermedades más frecuentes que afectan al cultivo de cacao y cuál es su impacto en la producción? ¿Qué procedimientos se utilizan para identificar la presencia de <i>Moniliophthora roreri</i> en los cultivos de cacao? ¿Cuáles considera que son las principales dificultades para detectar oportunamente la monilia en las plantaciones de cacao? ¿Qué tan efectiva considera que es la metodología actual utilizada para el monitoreo y diagnóstico de enfermedades en el cultivo de cacao? ¿Qué importancia tiene la detección temprana de enfermedades para la toma de decisiones en el manejo fitosanitario del cultivo? ¿Cuál es su percepción sobre el uso de tecnologías basadas en inteligencia artificial para apoyar la identificación de enfermedades en plantas de cacao? ¿Qué beneficios considera que aportaría un sistema de visión artificial capaz de analizar imágenes de mazorcas de cacao y detectar enfermedades de forma automática? ¿Qué características considera indispensables para que una aplicación móvil de monitoreo fitosanitario sea útil para estudiantes, técnicos y productores de cacao? ¿Qué recomendaciones realizaría para mejorar los procesos de monitoreo y detección temprana de enfermedades en cultivos de cacao mediante el uso de herramientas tecnológicas? Pregunta de Cierre ¿Desea agregar alguna observación o sugerencia relacionada con la implementación de sistemas de inteligencia artificial para la detección temprana de enfermedades en cultivos de cacao?
--	--

Ilustración 31 Preguntas de la entrevista

Anexo D: Fotografías

Anexo D: fotografías



Ilustración 32 Anexo entrevista



Ilustración 33 Proceso de análisis del sistema



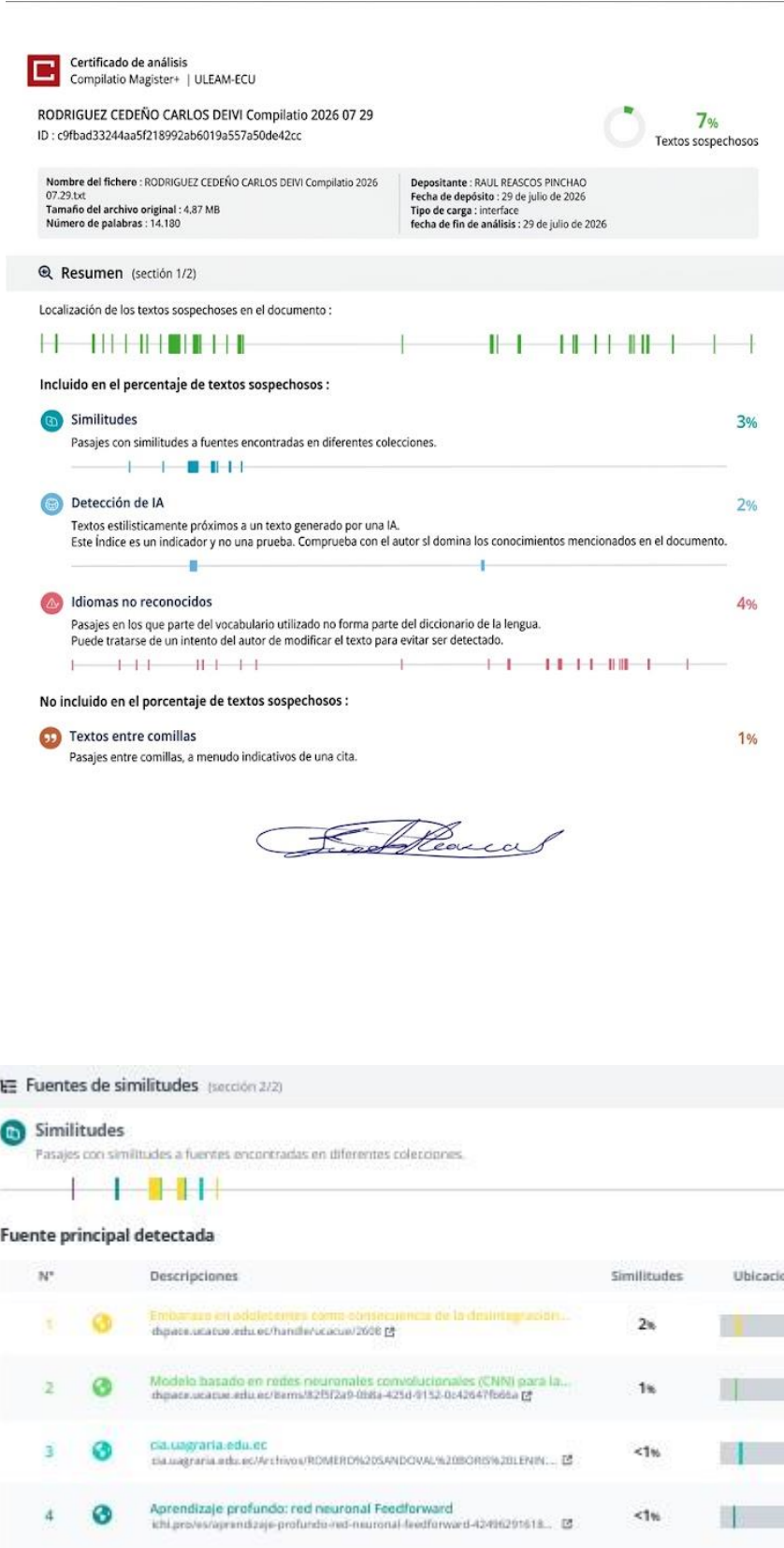
Ilustración 34 Resultados obtenidos



Ilustración 35 Evaluación de resultados

Anexo E: reporte del sistema de coincidencia académica

Anexo E: reporte del sistema anti-plagio



GLOSARIO

Application Programming Interface (API): Conjunto de reglas y protocolos que permiten la comunicación entre diferentes aplicaciones o sistemas.

Aprendizaje profundo: Rama de la inteligencia artificial basada en redes neuronales multicapas, capaz de aprender patrones complejos a partir de grandes volúmenes de datos.

EfficientNet-B4: Modelo de red convolucional diseñado para tareas de clasificación caracterizado por ofrecer un equilibrio entre precisión y eficiencia computacional.

Clasificación de imágenes: Proceso mediante el cual un modelo de inteligencia artificial identifica la clase a la que pertenece una imagen analizando sus patrones visuales.

Conjunto de datos: Colección organizada por clases de imágenes.

Entrenamiento del modelo: Proceso mediante el cual un algoritmo de aprendizaje automático aprende a reconocer patrones similares de un conjunto de datos.

Etiquetado de imagen: La acción de clasificar una imagen a su clase correspondiente

Flask: Framework utilizado para el desarrollo de aplicaciones web, creado por Python.

Inferencia: Proceso el cual un sistema entrenado analiza una nueva imagen diferente al dataset.

Inteligencia artificial: Área de la informática capaz de desarrollar actividades que normalmente requieran inteligencia humana.

Monilla: Enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri* que afecta principalmente a mazorcas de cacao.

***Moniliophthora roreri*:** Nombre científico del hongo fitopatógeno responsable de la monilla.

Procesamiento de imágenes: Conjunto de técnicas aplicadas en imágenes antes del entrenamiento.

Red neuronal convolucional CNN: Tipo de red neuronal especializada en imágenes capaz de extraer características visuales de una imagen.

Roboflow: Plataforma utilizada para organizar, etiquetar, aumentar y gestionar conjunto de datos para un mejor aprendizaje del modelo.

Scrum: Metodología ágil de desarrollo de software que organiza el trabajo en actividades llamadas sprints.

Sistema de visión artificial: Sistema informático capaz de analizar imágenes a través de un modelo de IA.

TensorFlow: Biblioteca de código abierto desarrollada por Google con herramientas que facilitan el entrenamiento de modelos IA.

Transfer Learning: Técnica de aprendizaje automático que reutiliza un modelo previamente entrenado para resolver una nueva tarea.

Visión artificial: Rama de la inteligencia artificial que permite al sistema analizar imágenes e interpretar su contenido.

***Theobroma cacao*:** Nombre científico del árbol de cacao.