



**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

**PROYECTO INTEGRADOR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE SOFTWARE.**

**SISTEMA INFORMÁTICO CON PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN FOTOGRAFIAS DE
THEOBROMA CACAO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL ULEAM EL
CARMEN.**

AUTOR:

DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDAÑO

TUTOR:

ING. RAÚL SAED REASCOS PINCHAO, MG.

EL CARMEN – MANABÍ – ECUADOR

2026

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR	
	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 PEREZ CEDEÑO DANIEL ALEXANDER, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería de Software, período académico 2025(2)-2026(1), cumpliendo el total de 288 horas, cuyo tema del proyecto es "SISTEMA INFORMÁTICO CON PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN FOTOGRAFÍAS 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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Extensión El Carmen
Carrera de Ingeniería de Software

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Título de Trabajo de Titulación: Sistema informático con procesamiento de imágenes para la detección de anomalías en fotografías de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen.

Modalidad: Proyecto integrador

Autor: Pérez Cedeño Daniel Alexander

Tutor: Ing. Reascos Pinchao Raúl Saed, Mg.

Tribunal de sustentación:

- **Presidente:** Ing. Minaya Macias Renelmo Wladimir, Mg.

- **Miembro:** Ing. Arévalo Hermida Rómulo Danilo, Mg.

- **Miembro:** Ing. Mendoza Villamar Rocío Alexandra, Mg.

Fecha de sustentación: 27 de agosto de 2026

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

EXTENSIÓN EL CARMEN



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad del contenido de este Trabajo de titulación, cuyo tema es: Sistema informático con procesamiento de imágenes para la detección de anomalías en fotografías de *Theobroma cacao* en la granja experimental Uleam El Carmen, corresponde exclusivamente a: Perez Cedeño Daniel Alexander con CI. 1755856836 y los derechos patrimoniales de la misma corresponden a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

PÉREZ CEDEÑO DANIEL ALEXANDER

C.I.: 175585683-6

DEDICATORIA

A mi Señor Dios, por bendecirme cada día de mi vida, guiar mis pasos y darme la fortaleza necesaria para continuar durante mi formación académica.

A mis queridos padres, Cristina Johana Cedeño López y Franklin Kleber Pérez Ramírez, por ser mi mayor ejemplo, mi inspiración y fortaleza. Gracias por nunca dejarme solo, por brindarme su apoyo constante, sus bendiciones y sus valiosos consejos para continuar avanzando y triunfando en la vida. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños, por ofrecerme su amor incondicional. Cada uno de sus esfuerzos y sacrificios ha valido la pena, y este logro también es fruto de todo lo que han hecho por mí. Este triunfo se lo dedico con todo mi amor a ustedes, mis queridos padres.

A mis hermanas, Anahi Stefania Pérez Cedeño y Jessica Yadira Pérez Cedeño, por acompañarme y apoyarme tanto en los buenos como en los momentos difíciles. Gracias por brindarme su cariño, su motivación y la fortaleza necesaria para seguir adelante, por nunca dejarme solo y por estar presentes en cada etapa de mi vida.

A Melany Noemi Iza Crespata, por ser el amor de mi vida, por nunca dejar de creer en mí y por brindarme su apoyo cada vez que sentía que me derrumbaba. Gracias por tu amor y cariño inigualables, por tus consejos, tu paciencia y tu compañía durante todo este proceso académico. Gracias por ser una pieza importante de este logro. Te amaré con toda mi alma.

A Yadira, Fabian, Stalin, Wendy, Mateo, Dereck, Jefferson y Nelly, por sus consejos, por apoyarme siempre y por preocuparse por mí cuando atravesaba problemas cotidianos. Gracias por ayudarme a seguir adelante y a superarme cada día. Agradezco profundamente a la vida por haberme permitido conocerlos y por hacer que formen parte de mi historia y de mi vida.

A mis cuñados Lenin Jesús Achupallas Muñoz y Michael Joshua Donoso Cancino por acompañarme y apoyarme tanto en los buenos como en los momentos difíciles. Gracias por seguir confiando en mí y por brindarme su cariño, comprensión y respaldo en esta vida.

A Ricardo Geovanny Zaquinaula Padilla por ser un amigo leal, por confiar siempre en mí y por acompañarme durante todos estos años de amistad. Gracias por no defraudarme, por cada risa compartida, por tus valiosos consejos y, sobre todo, por brindarme tu apoyo incondicional en cada momento.

A mi tutor de tesis Ing. Raúl Saed Reascos Pinchao por su confianza y enseñanza durante este proceso académico, por inspirarme a seguir luchando y ser una mejor persona, gracias por sus risas y por ser el mejor docente que pude conocer en mi etapa académica.

DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDEÑO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por abrirme las puertas a un nuevo mundo de conocimientos, experiencias y desafíos, permitiéndome crecer y superarme cada día. Gracias por contribuir a mi formación profesional y por brindarme la oportunidad de convertirme en ingeniero, formando parte con orgullo de la primera promoción de graduados de mi carrera.

A mi querido Club Deportivo Scorpions, por ser el club que me brindó la oportunidad de debutar en el deporte que más amo: el fútbol. Gracias por verme crecer, por impulsarme a seguir adelante y por acompañarme en la consecución de grandes triunfos. También agradezco cada derrota, porque de ellas obtuve valiosas enseñanzas que me ayudaron a fortalecerme como deportista y como persona. Siempre llevaré con orgullo estos colores y jugaré por este club hasta que mi alma no pueda más.

A mis amigos Anderson Steven Plua Chamorro y Kevin David Rodríguez Ordoñez por brindarme su valiosa amistad, por estar presente en diferentes momentos de mi vida y compartir conmigo experiencias que siempre recordaré con aprecio. Gracias por su compañerismo, sus palabras de apoyo, su confianza por demostrarme el verdadero valor de una amistad sincera.

A Carlitos, conserje de la Universidad, por su amabilidad, solidaridad y constante disposición para ayudarme durante la realización de mis actividades en el laboratorio. Agradezco profundamente su apoyo y colaboración, los cuales contribuyeron a que pudiera cumplir satisfactoriamente con mis responsabilidades académicas y avanzar sin dificultades hacia la culminación de esta importante etapa profesional.

A la ciudad de El Carmen, ubicada en la provincia de Manabí, por abrirme las puertas y permitirme vivir una experiencia inolvidable en sus tierras. Agradezco la calidez, amabilidad y solidaridad de su gente, así como su deliciosa gastronomía y cada uno de los momentos compartidos. Siempre llevaré conmigo el grato recuerdo de haber vivido en esta maravillosa ciudad.

DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDEÑO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS E ILUSTRACIONES	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Presentación del tema.....	1
1.3 Contextualización de la problemática	2
1.4 Planteamiento del problema	2
1.4.1 Problematización.....	2
1.4.2 Génesis del problema	3
1.4.3 Estado actual del problema	3
1.5 Diagrama causa – efecto del problema	5
1.6 Objetivos	5

1.6.1	Objetivo General	5
1.6.2	Objetivos Específicos.....	5
1.7	Justificación.....	6
1.8	Impactos esperados	7
1.8.1	Impacto tecnológico.....	7
1.8.2	Impacto social	7
1.8.3	Impacto ecológico	8
CAPÍTULO II.....		9
2	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	Antecedentes históricos y del estado del arte.....	9
2.2	Investigaciones relacionadas	10
2.3	Definiciones conceptuales y categorías clave	10
2.3.1	Variable independiente	10
2.3.1.1	Dispositivo de captura de imágenes	10
2.3.1.2	Técnicas de preprocesamiento de imágenes	11
2.3.1.3	Algoritmos de segmentación de imágenes	12
2.3.1.4	Extracción y selección de características.....	13
2.3.1.5	Implementación de modelos de aprendizaje automático y frameworks	13
2.3.2	Variable Dependiente.....	14
2.3.2.1	Tipos de anomalías de Theobroma cacao	14
2.3.2.2	Técnicas de detección basadas en reconstrucción y clasificación supervisada	15
2.3.2.3	Métodos de segmentación y localización de anomalías	16
2.3.2.4	Evaluación del rendimiento del sistema de detección	17
2.3.2.5	Interpretación y visualización de datos	17

2.4	Conclusiones relacionadas al marco teórico	18
CAPÍTULO III.....		19
3	MARCO INVESTIGATIVO	19
3.1	Introducción	19
3.1.1	Justificación Metodológica	20
3.1.2	Investigación bibliográfica.....	20
3.1.3	Investigación de Campo.....	20
3.1.4	Investigación aplicada.....	21
3.1.5	Métodos de investigación	21
3.1.5.1	Método Inductivo-Deductivo	22
3.1.5.2	Método de Análisis-Síntesis	22
3.1.5.3	Método de Observación.....	23
3.2	Fuentes de información de datos	24
3.2.1	Fuentes Primarias.....	24
3.2.1.1	Encuestas	24
3.2.1.2	Entrevistas	25
3.3	Estrategias Operacionales para la recolección de datos	25
3.3.1	Población.....	25
3.3.2	Muestra	26
3.3.2.1	Encuesta.....	27
3.3.2.2	Entrevista.....	27
3.3.2.3	Estructura de los instrumentos de recolección de datos aplicados	27
3.3.3	Plan de recolección de datos	28
3.4	Análisis y presentación de resultados.....	28

3.4.1	Presentación y descripción de los resultados obtenidos	28
3.4.1.1	Análisis de encuesta dirigida a los estudiantes de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen	28
3.4.1.2	Análisis de entrevista dirigida al Ing. Paúl González.	34
3.4.2	Informe final del análisis de los datos.....	37
3.4.2.1	Hallazgos de la encuesta a estudiantes de Agropecuaria.....	38
3.4.2.2	Hallazgos de la entrevista al ingeniero Paúl González.....	39
3.4.2.3	Interpretación y cruce de resultados	40
CAPÍTULO IV.....		43
4	MARCO PROPOSITIVO.....	43
4.1	Introducción	43
4.2	Descripción de la propuesta	43
4.3	Determinación de recursos	43
4.3.1	Humanos	43
4.3.2	Tecnológicos	44
4.3.3	Económicos.....	45
4.4	Metodología de desarrollo Scrum	46
4.4.1	Justificación de la metodología Scrum	46
4.4.2	Roles Scrum.....	47
4.4.3	Eventos Scrum	47
4.4.4	Product Backlog (Pila del Producto).....	48
4.4.5	Planificación general de los sprints.....	49
4.5	Desarrollo del sistema mediante sprints.....	49
4.5.1	Sprint 1: autenticación y gestión del usuario	49

4.5.1.1	Objetivo del sprint	49
4.5.1.2	Historias de usuario del Sprint 1	50
4.5.1.3	Sprint Backlog	50
4.5.1.4	Sprint Review	51
4.5.1.5	Sprint Retrospective	51
4.5.1.6	Evidencias del Sprint 1	52
4.5.2	Sprint 2: captura y análisis integral de imágenes	52
4.5.2.1	Objetivo del Sprint.....	52
4.5.2.2	Historia de usuario del Sprint 2	52
4.5.2.3	Sprint Backlog	53
4.5.2.4	Sprint Review	54
4.5.2.5	Evaluación técnica de los modelos de inteligencia artificial	54
4.5.2.6	Sprint Retrospective	55
4.5.2.7	Evidencias del Sprint 2	56
4.5.3	Sprint 3: chatbot de asistencia fitosanitaria	56
4.5.3.1	Objetivo del sprint	56
4.5.3.2	Historia de usuario del Sprint 3	56
4.5.3.3	Sprint Backlog	57
4.5.3.4	Sprint Review	58
4.5.3.5	Sprint Retrospective	58
4.5.3.6	Evidencias del Sprint 3	59
4.5.4	Sprint 4: historial, reportes y generación de pdf	59
4.5.4.1	Objetivo del Sprint.....	59
4.5.4.2	Historia de usuario del Sprint 4	59

4.5.4.3	Sprint Backlog	60
4.5.4.4	Sprint Review	61
4.5.4.5	Sprint Retrospective	61
4.5.4.6	Evidencias del Sprint 4	62
4.5.5	Sprint 5: sincronización, pruebas y despliegue	62
4.5.5.1	Objetivo del sprint	62
4.5.5.2	Historia de usuario del Sprint 5	62
4.5.5.3	Sprint Backlog	63
4.5.5.4	Sprint Review	64
4.5.5.5	Sprint Retrospective	64
4.5.5.6	Evidencias del Sprint 5	65
4.6	Arquitectura del sistema	65
4.7	Diseño de las bases de datos SQLite y Supabase	66
4.7.1	Base de datos local SQLite	66
4.7.2	Base de datos remota Supabase	66
4.8	Casos de uso del sistema	68
4.8.1	Caso de uso: Iniciar sesión.....	69
4.8.2	Caso de uso: Capturar imagen	69
4.8.3	Caso de uso: Analizar imagen.....	69
4.8.4	Caso de uso: Guardar análisis	70
4.8.5	Caso de uso: Consultar historial	70
4.8.6	Caso de uso: Generar informe PDF	70
4.8.7	Caso de uso: Consultar chatbot.....	71
4.8.8	Caso de uso: Sincronizar información	71

4.9	Diagrama del sistema	71
4.9.1	Diagrama general de casos de uso	71
4.9.2	Diagrama de secuencia del análisis de imagen	72
4.10	Resultado final de la propuesta.....	72
CAPÍTULO V.....		73
5	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	73
5.1	Introducción	73
5.2	Planificación de la evaluación.....	73
5.3	Resultados de las pruebas funcionales	74
5.3.1	Cálculo de los porcentajes de mitigación.....	75
5.4	Mitigación de las causas identificadas	75
5.4.1	Presencia de enfermedades y plagas en el cultivo	75
5.4.2	Condiciones ambientales favorables para las anomalías	76
5.4.3	Falta de monitoreo y diagnóstico oportuno	76
5.5	Porcentaje estimado de mitigación.....	76
5.6	Interpretación de los resultados.....	78
5.7	Cumplimiento de los objetivos.....	78
CAPÍTULO VI.....		79
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1	Conclusiones	79
6.2	Recomendaciones.....	80
BIBLIOGRAFÍA		82
ANEXOS		87
GLOSARIO		92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recolección de los Datos	28
Tabla 2. Resultados Obtenidos de la Encuesta	28
Tabla 3. Resultados Obtenidos de la Entrevista.....	34
Tabla 4. Cruce de variables de la encuesta y la entrevista	40
Tabla 5. Recursos Humanos	43
Tabla 6. Recursos Tecnológicos	44
Tabla 7. Recursos Económicos	45
Tabla 8. Roles Scrum del proyecto	47
Tabla 9. Eventos Scrum aplicados en el proyecto.	47
Tabla 10. Product Backlog del Sistema Cacao.	48
Tabla 11. Planificación general de los sprints.	49
Tabla 12. Historia de usuario HU-01: registro e inicio de sesión.	50
Tabla 13. Historia de usuario HU-02: gestión del perfil y panel principal.	50
Tabla 14. Sprint Backlog del Sprint 1.....	50
Tabla 15. Sprint Review del Sprint 1.....	51
Tabla 16. Sprint Retrospective del Sprint 1.	51
Tabla 17. Historia de usuario HU-03: captura de imágenes del cultivo de cacao.	52
Tabla 18. Historia de usuario HU-04: análisis integral mediante inteligencia artificial.	53
Tabla 19. Sprint Backlog del Sprint 2.....	53
Tabla 20. Sprint Review del Sprint 2.....	54
Tabla 21. Métricas de evaluación de los modelos de inteligencia artificial	54
Tabla 22. Sprint Retrospective del Sprint 2.	55
Tabla 23. Historia de usuario HU-05: consulta fitosanitaria mediante chatbot.	56

Tabla 24. Historia de usuario HU-06: generación de recomendaciones técnicas.	57
Tabla 25. Sprint Backlog del Sprint 3.	57
Tabla 26. Sprint Review del Sprint 3.	58
Tabla 27. Sprint Retrospective del Sprint 3.	58
Tabla 28. Historia de usuario HU-07: consulta del historial de análisis.	59
Tabla 29. Historia de usuario HU-08: generación de reportes e informes PDF.	60
Tabla 30. Sprint Backlog del Sprint 4.	60
Tabla 31. Sprint Review del Sprint 4.	61
Tabla 32. Sprint Retrospective del Sprint 4.	61
Tabla 33. Historia de usuario HU-09: sincronización de análisis en la nube.	62
Tabla 34. Historia de usuario HU-10: pruebas finales y generación del APK.	63
Tabla 35. Sprint Backlog del Sprint 5.	63
Tabla 36. Sprint Review del Sprint 5.	64
Tabla 37. Sprint Retrospective del Sprint 5.	64
Tabla 38. Especificación técnica de la tabla analisis_cacao	67
Tabla 39. Resultados de las pruebas funcionales del Sistema Cacao	74
Tabla 40. Cálculo técnico del nivel de mitigación de las causas	75
Tabla 41. Cálculo del porcentaje estimado de mitigación funcional	76
Tabla 42. Porcentaje estimado de mitigación	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama causa–efecto de la problemática relacionada con la detección tardía de anomalías en cultivos de Theobroma cacao.	5
Ilustración 2. autenticación y gestión del usuario.	52

Ilustración 3. captura y análisis integral de imágenes.....	56
Ilustración 4. chatbot de asistencia fitosanitaria.	59
Ilustración 5. historial y reportes	62
Ilustración 6. Descarga del APK y aplicación en otro dispositivo	65
Ilustración 7. Creación de las tablas para usuarios e historial_analisis	66
Ilustración 8. Creación de la tabla analisis_cacao en Supabase.....	68
Ilustración 9. Caso de uso: Iniciar sesión.....	69
Ilustración 10. Caso de uso: Capturar imagen	69
Ilustración 11. Caso de uso: Analizar imagen	69
Ilustración 12. Caso de uso: Guardar análisis	70
Ilustración 13. Caso de uso: Consultar historial	70
Ilustración 14. Caso de uso: Generar informe PDF	70
Ilustración 15. Caso de uso: Consultar chatbot.....	71
Ilustración 16. Caso de uso: Sincronizar información	71
Ilustración 17. Diagrama general de casos de uso	71
Ilustración 18. Diagrama de secuencia del análisis de imagen	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Notificación de asignación del tutor.....	87
Anexo B. Instrumento de encuesta aplicado a los estudiantes.....	88
Anexo C. Evidencia de aplicación de la encuesta.....	88
Anexo D. Guía de entrevista aplicada al experto.....	89
Anexo E. Evidencia de aplicación de la entrevista al experto	90
Anexo F. Reporte del sistema antiplagio	91

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo desarrollar e implementar un sistema informático móvil híbrido con la funcionalidad de procesar las imágenes para detectar las anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen. La investigación se desarrolló mediante un enfoque mixto que incluyó la revisión bibliográfica, la observación, una encuesta aplicada a 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria y una entrevista dirigida a un experto en el cultivo del *Theobroma cacao*. Los resultados evidenciaron la necesidad de disponer de una herramienta tecnológica que facilite el monitoreo fitosanitario y que proporcione una valiosa información oportuna sobre las posibles afectaciones fitosanitarias. La aplicación, denominada Sistema Cacao, fue desarrollada con la herramienta de programación Flutter y organizada mediante la metodología Scrum. Esta aplicación está integrada con los módulos de registro e iniciar sesión, la captura de imágenes, el análisis mediante los modelos de inteligencia artificial orientados especialmente en plagas, monilia y de la salud vegetal, un chatbot de asistencia fitosanitaria, un historial de resultados, la generación de los informes con formato PDF y los reportes. Además, se utilizó SQLite para su almacenamiento local y Supabase para el respaldo y su sincronización de información en la nube. Las pruebas funcionales nos permitieron verificar el funcionamiento de los principales módulos y la correcta interacción entre la cámara móvil, los modelos de la inteligencia artificial y las bases de datos conectadas. Como resultado, se obtuvo una aplicación móvil funcional que contribuye a la reducción de la dependencia exclusiva de la inspección manual, el mejoramiento del registro de los análisis y la facilidad del acceso a los diagnósticos y recomendaciones. Este sistema se constituye con una herramienta de apoyo y no reemplaza el criterio de un especialista agrícola.

Palabras claves: Procesamiento de imágenes, inteligencia artificial, *Theobroma cacao*, aplicación móvil, detección de anomalías, SQLite, Supabase.

ABSTRACT

This degree project aimed to develop and implement a hybrid mobile information system with image-processing capabilities to support the detection of anomalies in *Theobroma cacao* crops at the Uleam El Carmen Experimental Farm. The research followed a mixed-method approach that included a literature review, direct observation, a survey administered to 45 students from the Agricultural Engineering program, and an interview with an expert in *Theobroma cacao* cultivation. The results revealed the need for a technological tool capable of supporting phytosanitary monitoring and providing timely information about possible crop anomalies. The application, named Sistema Cacao, was developed using Flutter and organized according to the Scrum methodology. It integrates user registration and login, image capture, analysis through artificial intelligence models focused on pests, moniliasis, and plant health, a phytosanitary assistance chatbot, a history of analysis results, report generation in PDF format, and statistical reports. SQLite was used for local data storage, while Supabase was implemented for cloud backup and information synchronization. Functional tests verified the operation of the main modules and the correct interaction between the mobile camera, artificial intelligence models, and databases. As a result, a functional mobile application was obtained that supports phytosanitary monitoring, reduces exclusive dependence on manual inspection, improves the recording of analyses, and facilitates access to diagnoses and recommendations. The system is intended as a support tool and does not replace the professional judgment of an agricultural specialist.

Keywords: image processing, artificial intelligence, *Theobroma cacao*, mobile application, anomaly detection, SQLite, Supabase.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El cultivo de *Theobroma cacao* se caracteriza por ser uno de los productos agrícolas con mayor importancia en el Ecuador, debido a su contribución económica, social y de productividad. En la provincia de Manabí, principalmente en el cantón El Carmen, esta actividad representa una fuente de ingresos ya sea para pequeños como para medianos productores. No obstante, su producción se encuentra expuesta a enfermedades, plagas, hongos, líquenes y las deficiencias nutricionales que pueden afectar en sus hojas, frutos y otras estructuras de la planta y esto hace que el fruto disminuya su calidad y rendimiento de los cultivos.

El avance de la inteligencia artificial, el procesamiento digital de las imágenes y el desarrollo de las aplicaciones móviles han permitido crear herramientas que son capaces de analizar las fotografías y reconocer los patrones visuales relacionados con el estado de las plantas. Estas tecnologías pueden contribuir a detectar las anomalías mediante el análisis de los colores, texturas, formas, lesiones y otras características que estén presentes en las hojas y en los frutos. Incluso, su implementación en los dispositivos móviles facilita el acceso a la información directamente desde el lugar donde se encuentra desarrollando el cultivo.

1.2 Presentación del tema

El cultivo de *Theobroma cacao* se constituye como uno de los rubros agrícolas con mayor relevancia económica y social para la provincia de Manabí. Sin embargo, la producción cacaotera se enfrenta con amenazas derivadas de plagas y enfermedades cuya detección temprana resulta determinante para reducir las pérdidas y garantizar la sostenibilidad del cultivo.

El presente proyecto tiene como funcionalidad el desarrollo de un sistema informático basado en el procesamiento digital de imágenes que es capaz de identificar de manera automática y objetiva las anomalías presentes en las plantaciones de *Theobroma cacao*. La investigación se llevará a cabo en la Granja Experimental Uleam El Carmen, este espacio nos ofrece las condiciones

idóneas para la recolección de los datos reales y la validación del sistema propuesto, lo que contribuirá a la implementación de herramientas tecnológicas que apoyen la toma de decisiones en el manejo fitosanitario en el cultivo.

1.3 Contextualización de la problemática

El proyecto se desarrolla en la Granja Experimental de la Uleam extensión El Carmen en el Cantón “El Carmen” de la provincia de Manabí, una zona con una demanda muy alta de la producción del cacao. Los agricultores deben afrontar dificultades para lograr acceder a la información sobre cómo va el cultivo del cacao.

El presente proyecto se centró en el monitoreo fitosanitario digital del cacao, que abarca en el registro y análisis automatizado del estado de salud de plantas para la detección temprana de plagas y enfermedades mediante sensores y algoritmos de aprendizaje automático.

Descomposición del proyecto integrador para varios temas de titulación:

1. Entrenamiento IA plagas.
2. Entrenamiento IA para hongos – líquenes.
3. Entrenamiento salud vegetal.
4. Interfaz para la detección de anomalías.
5. Chatbot (recomendaciones).

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Problematicación

En el cantón de El Carmen, ubicado en la provincia de Manabí, la gran demanda del *Theobroma cacao* genera una presión constante sobre los agricultores para que aumenten su producción. Sin embargo, la vigilancia de los cultivos presenta grandes dificultades, ya que se lleva a cabo principalmente de manera manual. Esto dificulta la identificación de plagas,

enfermedades, hongos y otros agentes perjudiciales que afectan negativamente el rendimiento y las ganancias de las cosechas de *Theobroma cacao*.

Por consiguiente, los agricultores padecen pérdidas financieras debido a la detección tardía de irregularidades y carecen del soporte requerido para aminorar los riesgos. La escasez de herramientas tecnológicas evidencia la necesidad de construir una plataforma capaz de analizar imágenes mediante algoritmos de inteligencia artificial, con el propósito de reconocer de manera anticipada y precisa las anomalías presentes en el cultivo del *Theobroma cacao*.

1.4.2 Génesis del problema

La problemática se origina por una tremenda brecha entre la creciente solicitud del *Theobroma cacao* en El Carmen, Manabí, y el uso persistente de métodos tradicionales para cuidar los cultivos.

A pesar de que esta región se afianza como una importante zona productora en la fabricación del *Theobroma cacao*, los productores se obligan a hacer inspecciones visuales manuales para identificar los problemas en la salud de las plantas. La falta de acceso a tecnologías modernas impide detectar rápido anomalías, patógenos, dolencias, y peligros llevando muchas veces a retrasos en las soluciones, incluso a tratamientos inadecuados o excesivos.

Mediante una interfaz intuitiva y de fácil utilización, los agricultores podrán identificar antes si hay anomalías, enfermedades u otros inconvenientes, dando oportunidades de solucionarlo pronto, evitando que dañen la cosecha del *Theobroma cacao*.

1.4.3 Estado actual del problema

Actualmente, los cultivadores de *Theobroma cacao* del cantón El Carmen, en Manabí, enfrentan grandes problemas al vigilar el bienestar de sus árboles. Esos problemas vienen de su fuerte dependencia de métodos manuales y de inspecciones visuales, para detectar anomalías. Este proceso, algo subjetivo y propenso a errores humanos, no les da la posibilidad de cubrir bien las grandes extensiones cultivadas, y mucho menos a tiempo.

Entonces, el descubrimiento de plagas, tipo moniliasis o escoba de bruja, y también hongos, líquenes y otras enfermedades en las hojas, generalmente se hace tarde, reduciendo la efectividad de las soluciones y incrementando los costos. Además, los agricultores carecen de asesoramiento técnico inmediato lo cual les impide actuar bien y tomar buenas decisiones.

Aunque la tecnología agrícola precisa avanza a nivel global, estas novedades no se han implementado, o adaptado a las necesidades y a la realidad de los pequeños y medianos productores de cacao en la costa ecuatoriana.

El problema empeora por el auge del *Theobroma cacao* solicitado, en este cantón, exigiendo más producción y mejor calidad en sus procesos. Sin herramientas digitales accesibles, los agricultores enfrentan una desventaja ante los retos fitosanitarios y la fragilidad.

1.5 Diagrama causa – efecto del problema

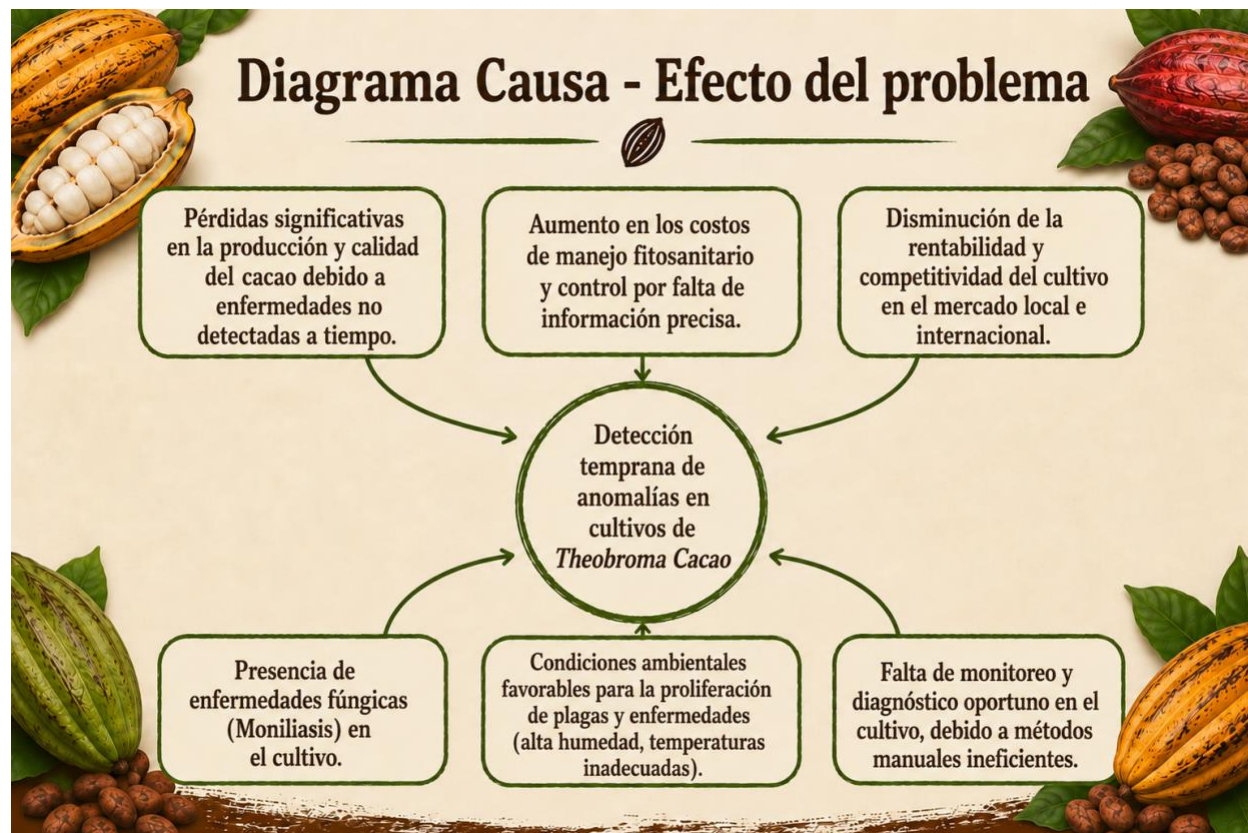


Ilustración 1. Diagrama causa-efecto de la problemática relacionada con la detección tardía de anomalías en cultivos de *Theobroma cacao*.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema informático móvil con procesamiento de imágenes y modelos de inteligencia artificial para apoyar la identificación y clasificación de anomalías en hojas y frutos de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Fundamentar bibliográficamente las técnicas y tecnologías de procesamiento de imágenes e inteligencia artificial aplicadas a la identificación de anomalías en cultivos agrícolas, con énfasis en *Theobroma cacao*.

- Realizar un estudio de campo en la Granja Experimental Uleam El Carmen para identificar las necesidades y dificultades relacionadas con el diagnóstico y monitoreo fitosanitario del cultivo de *Theobroma cacao*, mediante observación, encuesta y entrevista.
- Diseñar la arquitectura y los componentes funcionales del sistema informático móvil para integrar la captura de imágenes, los modelos de inteligencia artificial, el almacenamiento de información y la visualización de resultados.
- Implementar una aplicación móvil híbrida que permita capturar y procesar imágenes del cultivo de *Theobroma cacao*, integrar los modelos de detección de plagas, monilia y salud vegetal, y almacenar los resultados obtenidos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema mediante pruebas funcionales, verificando la ejecución de sus módulos, el almacenamiento local, la generación de informes y la sincronización de la información.

1.7 Justificación

La puesta en marcha de esta iniciativa es crucial para renovar la industria cacaotera en El Carmen, Manabí. En esa región, la mayor parte de las técnicas agrícolas todavía se aferran a formas tradicionales de labranza.

Esta práctica no es suficiente para lograr garantizar tanto la competitividad como su sostenibilidad en el cultivo. Ante este desafío crucial, y mediante un enfoque técnico avanzado, implementación de un sistema innovador, que entrelaza la inteligencia artificial con el análisis de imágenes, surge como una solución fundamental, superando las propias restricciones presentes en los diagnósticos manuales.

Con la economía y lo social, el proyecto busca apoyar a los pequeños y medianos productores. Los productores tienen más desafíos para mantener la productividad de sus cultivos porque no pueden acceder a la tecnología especializada. La incorporación de un chatbot orientado a la recomendación fitosanitaria podrá brindar a los productores una herramienta de consulta

inmediata y de fácil acceso, contribuyendo a democratizar el conocimiento técnico especializado y a fortalecer la capacidad de la respuesta frente a los problemas relacionados con la sanidad vegetal.

El proyecto se articula con los objetivos institucionales de la Granja Experimental Uleam extensión El Carmen, la cual aspira a fortalecerse como un referente de la innovación agrícola en la región, lo que promoverá la transferencia tecnológica y el fortalecimiento de las capacidades productivas de la comunidad local.

1.8 Impactos esperados

1.8.1 Impacto tecnológico

Mediante el desarrollo de este sistema informático se logró un avance significativo para el sector agrícola local, al incorporar herramientas muy innovadoras como el análisis de las imágenes y el uso de la inteligencia artificial en la vigilancia de los cultivos de *Theobroma cacao*.

La implementación del sistema contribuyó a fortalecer a la Granja Experimental Uleam El Carmen como un referente en agricultura de precisión, al facilitar la automatización de la identificación de anomalías en los cultivos.

1.8.2 Impacto social

La implementación del sistema tecnológico ocasionará un gran efecto social favorable al poder facilitar la enseñanza y el entrenamiento de los agricultores, técnicos en la agricultura y los estudiantes en el uso de las herramientas digitales principalmente dirigidas a la agricultura.

La localización temprana y precisa de las irregularidades en los cultivos de *Theobroma cacao* permitirá a los productores realizar acciones rápidas que contribuirán a proteger la producción y, así, la fuente de los ingresos de los productores cacaoteros pequeños y medianos en la región costera ecuatoriana. Este sistema se desempeña un papel fundamental ya que el producto Cacao en Ecuador se considera un producto de exportación de muy alta calidad con reconocimiento internacional.

1.8.3 Impacto ecológico

El sistema busca, principalmente, crear un impacto ambiental sumamente beneficioso fomentando una agricultura más consciente y que sea amigable con el entorno. Se identifican las áreas afectadas, y ahí se aplican los tratamientos fitosanitarios con precisión, con esta manera de hacerlos, se reduce el uso de químicos agrícolas. También, minimizamos la contaminación del suelo y del agua. La preservación de la biodiversidad y de los microorganismos del ecosistema constituye un aspecto de gran importancia.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes históricos y del estado del arte

El cultivo de *Theobroma cacao* representa una actividad agrícola de gran relevancia para Ecuador, especialmente por la producción del cacao Nacional fino y de aroma. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias señala que el país se caracteriza por la producción de cacao aromático denominado “Arriba”, proveniente principalmente del genotipo nacional, el cual mantiene un importante reconocimiento en el mercado internacional por sus características de calidad y aroma (Quiroz Vera et al., 2021).

En relación con los recursos genéticos, el cacao tipo nacional continúa siendo uno de los materiales más representativos del Ecuador. Sornoza Vélez et al. (2022) señalan que las principales zonas productoras de este tipo de cacao se encuentran en las provincias como Manabí, Guayas, Los Ríos y Esmeraldas. Además, los autores destacan la importancia de conservar y caracterizar los recursos genéticos disponibles, debido a su contribución al desarrollo de materiales con mejores características productivas y agronómicas.

El sector cacaotero ecuatoriano también enfrenta diversos desafíos relacionados con la producción, el manejo agronómico y las condiciones ambientales. García-Briones et al. (2021) indican que la cadena productiva del cacao en Ecuador debe responder a los factores que afectan su sostenibilidad y productividad, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de monitoreo, manejo y la toma de decisiones en las diferentes etapas de producción.

En los últimos años, el estado de arte relacionado con la detección de enfermedades en el cultivo de *Theobroma cacao* evidencia una creciente aplicación de técnicas de visión por computadora, aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Alvarado et al. (2025) identificaron el uso de arquitecturas como EfficientNet, MobileNet, ResNet, YOLO y SSD para tareas de clasificación y detección de enfermedades en mazorcas de cacao. Asimismo, determinaron que las soluciones actuales emplean principalmente imágenes RGB y, en menor medida, imágenes

multiespectrales e hiperespectrales, además de aplicaciones móviles orientadas al diagnóstico en el campo.

2.2 Investigaciones relacionadas

Buenaño Vera et al. (2024) desarrollaron un modelo computacional basado en *Deep Learning* para la identificación de enfermedades en mazorcas de *Theobroma cacao* específicamente moniliasis causada por *Moniliophthora roreri* y mazorca negra asociada con *Phytophthora palmivora*. Para el desarrollo se seleccionó la arquitectura EfficientDet-Lite4 y se emplearon imágenes de mazorcas sanas y afectadas para el entrenamiento y validación del modelo.

En la evaluación realizada por Buenaño Vera et al. (2024), el modelo obtuvo una precisión promedio del 35% con resultados de 42,3% para mazorca negra asociada con “*Phytophthora palmivora*”, 27,3% para moniliasis y 34,4% para mazorcas saludables. Además, durante el entrenamiento se utilizaron métricas como precisión, *recall* y *Mean Average Precision (mAP)*, lo cual permitió valorar tanto la clasificación como la localización de las anomalías presentes en las imágenes.

Por otra parte, Zambrano-Garcia y Vlassova (2023) desarrollaron una investigación orientada a la detección y clasificación de cultivos de cacao, banano y palma africana en Ecuador mediante imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2. El estudio comparó los métodos de clasificación supervisada de Máxima Verosimilitud y bosques aleatorios (*Random Forest*) e incorporó los índices espectrales NDVI y RESI para mejorar la diferenciación entre las coberturas agrícolas analizadas.

2.3 Definiciones conceptuales y categorías clave

2.3.1 Variable independiente

2.3.1.1 Dispositivo de captura de imágenes

Los dispositivos de captura de imágenes constituyen un componente fundamental en los sistemas de agricultura de precisión, debido a que permiten obtener información visual de los cultivos mediante diferentes tipos de sensores. Terrón et al. (2020) explican que la adquisición de

imágenes puede realizarse mediante cámaras instaladas en plataformas satelitales, aeronaves, vehículos aéreos no tripulados y sistemas terrestres, permitiendo registrar información asociada con diferentes regiones del espectro electromagnético. La selección del dispositivo depende de factores como la resolución espacial, la resolución espectral, la frecuencia de captura y las condiciones de operación.

En la agricultura de precisión, los vehículos aéreos no tripulados constituyen una alternativa para la adquisición de imágenes de alta resolución. Buitrago Bolívar et al. (2024) señalan que los drones pueden incorporar cámaras RGB, multiespectrales y térmicas, lo que permite obtener información relacionada con las características visuales y el estado de los cultivos. La calidad de las imágenes obtenidas depende de factores como la altura de vuelo, la velocidad, el nivel de superposición entre fotografías, las condiciones de iluminación y las características técnicas del sensor utilizado.

En aplicaciones orientadas al procesamiento de imágenes, los dispositivos móviles también representan una alternativa para la captura de información directamente en campo. La cámara integrada en estos dispositivos permite registrar imágenes de hojas y frutos que posteriormente pueden ser procesadas mediante técnicas de visión artificial y modelos de inteligencia artificial. Para obtener imágenes adecuadas para el análisis, es necesario considerar condiciones como el enfoque, la iluminación, la distancia y la orientación de la cámara durante el proceso de captura.

2.3.1.2 Técnicas de preprocesamiento de imágenes

El preprocesamiento de imágenes constituye una etapa previa al análisis mediante modelos de inteligencia artificial, cuyo propósito es preparar y uniformar los datos visuales antes de su procesamiento. En aplicaciones orientadas a la detección de enfermedades vegetales pueden emplearse operaciones como el redimensionamiento de las imágenes, ajustes de iluminación, modificaciones de contraste y transformaciones de color. Zhang et al. (2022) emplearon técnicas como escalado, traslación, variaciones en los canales HSV y operaciones morfológicas para mejorar las condiciones de las imágenes utilizadas en la detección automatizada de enfermedades en plantas.

Otra estrategia asociada con el preprocesamiento es el aumento de datos (*data augmentation*), utilizado para incrementar la diversidad del conjunto de imágenes y reducir los problemas derivados de disponer de un número limitado de muestras. Xu et al. (2022) aplicaron transformaciones como cambios aleatorios de brillo, recortes, volteos horizontales y verticales, además del redimensionamiento de las imágenes, con el propósito de generar variaciones que favorezcan el aprendizaje y la capacidad de generalización de los modelos de reconocimiento de enfermedades vegetales.

En el contexto de la detección de anomalías en *Theobroma cacao*, estas técnicas permiten estandarizar las imágenes obtenidas mediante dispositivos móviles y reducir las variaciones producidas por factores como la iluminación, la orientación y el tamaño de los elementos capturados. De esta manera, el preprocesamiento constituye un componente de apoyo para que las imágenes presenten características adecuadas antes de ser analizadas por los modelos de inteligencia artificial.

2.3.1.3 Algoritmos de segmentación de imágenes

La segmentación de imágenes es una etapa del procesamiento digital que permite dividir una imagen en regiones o componentes con características similares, con el propósito de separar los objetos de interés respecto del fondo. En aplicaciones agrícolas, esta técnica facilita la identificación de áreas correspondientes a hojas, frutos, cultivos, lesiones u otras regiones relevantes para su posterior análisis. Pusdá Chulde (2023) aborda el procesamiento y la segmentación de imágenes agrícolas como parte de los procedimientos utilizados en agricultura de precisión para automatizar el análisis de información visual.

Entre las técnicas tradicionales de segmentación se encuentran la umbralización, la detección de bordes y la agrupación de regiones. La umbralización permite diferenciar regiones de una imagen a partir de sus niveles de intensidad, mientras que los operadores de detección de bordes permiten localizar cambios significativos entre regiones.

En enfoques basados en aprendizaje profundo, la segmentación semántica permite asignar una categoría a cada píxel de una imagen. Arquitecturas como U-Net, SegNet y DeepLab han sido ampliamente utilizadas para este propósito en aplicaciones agrícolas. Una revisión publicada por

Lu et al. (2024) señala que estos modelos permiten realizar tareas como identificación de cultivos, análisis de coberturas y reconocimiento de plagas y enfermedades mediante segmentación a nivel de píxel.

2.3.1.4 Extracción y selección de características

La extracción de características es un proceso del análisis digital de imágenes que permite representar la información visual mediante atributos cuantificables que pueden ser utilizados posteriormente en tareas de clasificación. Entre estos atributos se encuentran características relacionadas con el color, la forma y la textura de los objetos presentes en una imagen. Campos-Ferreira et al. (2023) emplearon descriptores cromáticos obtenidos a partir de imágenes digitales de frutos de aguacate para diferenciar frutos sanos de aquellos afectados por antracnosis y roña, demostrando que el método utilizado para extraer las características influye directamente en el desempeño de los algoritmos de clasificación.

En los sistemas basados en aprendizaje profundo, las redes neuronales convolucionales permiten automatizar el proceso de extracción de características a partir de las imágenes. A través de sus capas convolucionales, estos modelos identifican patrones visuales relevantes que posteriormente son utilizados para realizar la clasificación. Oscoco-Ccuiro et al. (2024) desarrollaron un modelo basado en redes neuronales convolucionales para detectar enfermedades presentes en hojas de quinua, evidenciando la aplicación de este tipo de arquitectura en el reconocimiento automatizado de características asociadas con alteraciones visibles en cultivos agrícolas.

2.3.1.5 Implementación de modelos de aprendizaje automático y frameworks

El aprendizaje automático constituye una rama de la inteligencia artificial que permite desarrollar modelos capaces de identificar patrones a partir de conjuntos de datos y utilizarlos posteriormente para realizar tareas de clasificación, predicción o reconocimiento. En el ámbito agrícola, estas técnicas se han incorporado para analizar información obtenida mediante sensores e imágenes, facilitando actividades como el monitoreo de cultivos, la detección de enfermedades y la identificación de anomalías. Buitrago Bolívar et al. (2024) señalan que en la agricultura de

precisión existe una tendencia creciente hacia la utilización de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para procesar información agrícola y apoyar la toma de decisiones.

La implementación de modelos de aprendizaje automático requiere herramientas y entornos de desarrollo que faciliten la preparación de los datos, el entrenamiento y la evaluación de los algoritmos. Silva-Peñañiel et al. (2022) implementaron un modelo para el reconocimiento de enfermedades del café utilizando 1.180 imágenes y herramientas como JupyterLab, TensorFlow y Keras. El modelo fue integrado con una aplicación móvil orientada al análisis de imágenes de hojas, evidenciando la utilidad de estos frameworks para desarrollar soluciones de inteligencia artificial aplicadas al sector agrícola.

En aplicaciones relaciones específicamente con el cacao, las redes neuronales convolucionales constituyen una alternativa para procesar las características visuales presentes en hojas y frutos. Aquino Ruíz et al. (2025) desarrollaron una aplicación móvil para la detección de moniliasis en mazorcas de cacao mediante modelos U-Net y redes neuronales convolucionales, utilizando la segmentación semántica para diferenciar regiones correspondientes a distintas manifestaciones de la enfermedad. Este tipo de modelos demuestra la utilidad del aprendizaje profundo para automatizar el análisis de imágenes agrícolas y apoyar la identificación de anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao*.

2.3.2 Variable Dependiente

2.3.2.1 Tipos de anomalías de *Theobroma cacao*

El cultivo de *Theobroma cacao* puede ser afectado por diferentes anomalías fitosanitarias que alteran el desarrollo de hojas, frutos y otras estructuras de la planta. Solís Hidalgo et al. (2021) señalan que entre las principales enfermedades presentes en los cultivos de cacao en Ecuador se encuentran la moniliasis, la escoba de bruja y la mazorca negra, además de otras afectaciones como el mal de machete y la muerte regresiva. Estas enfermedades constituyen un factor importante para la productividad del cultivo y requieren una identificación adecuada para establecer medidas oportunas de manejo.

La moniliasis es causada por *Moniliophthora roreri* y afecta principalmente los frutos del cacao, produciendo alteraciones visibles durante el desarrollo de la enfermedad. Por su parte, la mazorca negra está asociada con especies del género *Phytophthora* y provoca lesiones que deterioran progresivamente los frutos. La escoba de bruja, causada por *Moniliophthora perniciosa*, afecta diferentes tejidos de la planta y ocasiona un crecimiento anormal de brotes. En Ecuador, la moniliasis y la escoba de bruja son consideradas enfermedades endémicas de importancia para la producción cacaotera.

Además de las enfermedades, el cultivo puede presentar afectaciones ocasionadas por artrópodos plaga. Cañarte Bermúdez y Navarrete Cedeño (2021) señalan que los sistemas de producción de cacao en Ecuador albergan diferentes organismos fitófagos, entre ellos insectos y ácaros, aunque solamente determinadas especies alcanzan niveles que permiten considerarlas plagas de importancia agrícola. El reconocimiento de estos organismos y de los daños que ocasionan constituye un elemento necesario para el manejo fitosanitario del cultivo.

2.3.2.2 Técnicas de detección basadas en reconstrucción y clasificación supervisada

Las técnicas de detección mediante procesamiento de imágenes permiten analizar características visuales con el propósito de reconocer patrones asociados con diferentes condiciones de los cultivos. Yandún Velasteguí (2020) desarrolló un sistema para la identificación y clasificación de enfermedades en hojas de papa mediante procesamiento digital de imágenes. El procedimiento comprendió etapas de adquisición, segmentación, extracción de características y clasificación mediante una red neuronal artificial, permitiendo diferenciar enfermedades como alternariosis, tizón tardío y virosis.

Por otra parte, la detección basada en reconstrucción puede utilizar modelos autocodificadores para aprender las características correspondientes a imágenes consideradas normales y posteriormente identificar diferencias respecto de nuevas imágenes. Cruz-Naranjo (2022) aplicó un autocodificador convolucional para identificar regiones de cultivos de café en imágenes aéreas, utilizando el error de reconstrucción como uno de los elementos para diferenciar las regiones correspondientes al cultivo de aquellas consideradas anómalas. Este enfoque

evidencia la utilidad de los modelos de reconstrucción cuando se pretende reconocer desviaciones respecto de patrones visuales previamente aprendidos.

En cuanto a la clasificación mediante aprendizaje supervisado, los modelos son entrenados a partir de imágenes previamente asociadas con categorías conocidas, de manera que puedan aprender patrones visuales y asignar posteriormente una clase a nuevas imágenes. Valle-Medina et al. (2025) utilizaron un modelo basado en Transformadores de Visión (ViT) para clasificar hojas de papa en las categorías saludable, tizón temprano y tizón tardío. El estudio empleó conjuntos diferenciados de entrenamiento y prueba y obtuvo una exactitud del 99.18% en el conjunto de prueba, demostrando la capacidad de los modelos de aprendizaje profundo para la clasificación automatizada de enfermedades vegetales.

2.3.2.3 Métodos de segmentación y localización de anomalías

La segmentación de imágenes permite identificar y delimitar regiones específicas dentro de una imagen digital, facilitando la separación de los elementos de interés respecto del fondo y de otras estructuras presentes. En la agricultura de precisión, estas técnicas se utilizan para reconocer cultivos, localizar enfermedades y analizar diferentes características de las plantas. Mora Castro et al. (2025) señalan que modelos de aprendizaje profundo como las redes neuronales convolucionales (CNN), U-Net y YOLO han sido empleados en tareas de segmentación de cultivos, detección de enfermedades, monitoreo y clasificación de especies agrícolas.

La segmentación semántica permite realizar una clasificación a nivel de píxel, asignando cada región de la imagen a una categoría determinada. Esta característica resulta especialmente útil cuando una anomalía ocupa solamente una parte de la hoja o del fruto, debido a que permite establecer con mayor precisión su ubicación y extensión. En este proceso, arquitecturas como U-Net utilizan una estructura de codificación y decodificación que permite extraer características de la imagen y posteriormente reconstruir espacialmente las regiones correspondientes a cada categoría.

En el cultivo de cacao, Aquino Ruíz et al. (2025) utilizaron la arquitectura U-Net para la segmentación semántica de imágenes de mazorcas afectadas por moniliasis causada por *Moniliophthora roreri*. El modelo permite distinguir y etiquetar diferentes regiones de una misma

imagen, identificando manifestaciones correspondientes a distintas etapas de la enfermedad. De esta manera, la segmentación no se limita a determinar la presencia o ausencia de una anomalía, sino que permite localizar las zonas afectadas y representar visualmente su distribución dentro del fruto.

2.3.2.4 Evaluación del rendimiento del sistema de detección

La evaluación del rendimiento de un sistema de detección basado en inteligencia artificial permite determinar qué tan adecuadamente el modelo identifica y clasifica las categorías definidas. Para ello se utilizan métricas obtenidas a partir de conjuntos de prueba independientes del proceso de entrenamiento. Entre las métricas más utilizadas se encuentran la exactitud, la precisión, la sensibilidad y el puntaje F1, las cuales permiten analizar el comportamiento general del modelo y su desempeño para cada clase. Valle-Medina et al. (2025) utilizaron estas métricas para evaluar un modelo orientado a la clasificación de enfermedades en hojas de papa.

La matriz de confusión constituye otra herramienta importante para evaluar los resultados de clasificación, debido a que permite comparar las categorías reales con las predicciones generadas por el modelo. A partir de esta matriz es posible identificar clasificaciones correctas y errores entre las diferentes clases. En el estudio de Valle-Medina et al. (2025), el modelo basado en Transformadores de Visión alcanzó una exactitud del 99,18% y un puntaje F1 del 98,7% además de ser evaluado mediante una matriz de confusión sobre el conjunto de prueba.

2.3.2.5 Interpretación y visualización de datos

La interpretación y visualización de datos constituye una etapa importante en los sistemas tecnológicos aplicados a la agricultura, debido a que permite transformar los resultados obtenidos mediante sensores, procesamiento de imágenes o modelos de inteligencia artificial en información comprensible para el usuario. La representación adecuada de los resultados facilita el monitoreo del cultivo y proporciona información que puede ser utilizada como apoyo para la toma de decisiones.

Montaño-Blacio et al. (2023) desarrollaron un sistema de monitoreo para cultivos que integra tecnologías de Internet de las Cosas y herramientas para el análisis y visualización de datos.

Los autores utilizaron la plataforma ThingSpeak para representar la información obtenida mediante sensores y facilitar el seguimiento de variables relacionadas con las condiciones del cultivo. Este tipo de soluciones evidencia la importancia de presentar la información de manera organizada para facilitar su interpretación por parte del usuario.

2.4 Conclusiones relacionadas al marco teórico

La revisión teórica permitió establecer que el procesamiento digital de imágenes y la inteligencia artificial constituyen herramientas aplicables al análisis automatizado de cultivos agrícolas. Las investigaciones examinadas evidencian que la captura de imágenes, el preprocesamiento, la segmentación, la extracción de características y la clasificación conforman etapas relevantes para el desarrollo de sistemas orientados al reconocimiento de enfermedades, plagas y otras alteraciones visuales presentes en los cultivos.

En el caso de *Theobroma cacao*, se identificó que enfermedades como la moniliasis, asociada con *Moniliophthora roreri*, y la mazorca negra, relacionada con especies del género *Phytophthora*, presentan manifestaciones visuales que pueden ser analizadas mediante técnicas de visión artificial. Asimismo, las afectaciones ocasionadas por plagas y las alteraciones relacionadas con el estado de salud vegetal constituyen elementos que pueden ser considerados dentro de sistemas automatizados de análisis de imágenes.

El estudio de los modelos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo permitió determinar que las redes neuronales convolucionales y otras arquitecturas de visión artificial poseen la capacidad de aprender características visuales a partir de conjuntos de imágenes. Sin embargo, el rendimiento de estos modelos depende de factores como la calidad y cantidad de los datos utilizados, las condiciones de captura de las imágenes y el proceso de entrenamiento, por lo que su desempeño debe evaluarse mediante métricas específicas y no únicamente mediante el cumplimiento funcional de una aplicación.

CAPÍTULO III

3 MARCO INVESTIGATIVO

3.1 Introducción

Este capítulo inicial explora la estructura metodológica que guio el desarrollo del sistema informático, un sistema centrado en procesar imágenes con el propósito de identificar irregularidades en el cultivo de *Theobroma cacao*, concretamente en la Granja Experimental Uleam El Carmen.

La metodología de investigación fue un pilar fundamental que posibilitó alcanzar los objetivos definidos, bajo un enfoque sistemático, preciso y por lo tanto con validez científica. El estudio se construyó con una metodología mixta, combinando elementos bibliográficos, trabajo en el campo y aplicaciones prácticas; esto no solo facilita entender el panorama actual sobre la detección de fallos fitosanitarios con inteligencia artificial, sino también concebir e implementar una solución tecnológica real, que responda a las exigencias puntuales de los cultivadores de *Theobroma cacao* en la zona.

Finalmente, este capítulo se organiza en cinco secciones principales tipos y métodos de investigación, fuentes informativas, maneras de recopilación de datos y el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Cada sección con minuciosidad detalla los procedimientos metodológicos empleados, avalando las decisiones tomadas considerando el problema investigativo planteado y los objetivos propuestos.

El diseño metodológico engloba la recolección de información teórica a través de una amplia revisión bibliográfica, además de obtener datos empíricos mediante el trabajo en el campo directo en plantaciones de cacao. Esa combinación permitió contrastar los fundamentos teóricos del procesamiento de imágenes y el aprendizaje automático, con la práctica de la producción cacaotera en El Carmen, Manabí, garantizando que el sistema desarrollado sea técnicamente sólido y viable operativamente.

3.1.1 Justificación Metodológica

La metodología seleccionada para este proyecto se fundamentó en la necesidad de implementar un proceso ordenado, flexible y técnicamente adecuado para el desarrollo de un sistema informático con procesamiento de imágenes que permitió detectar las anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen. Además, aseguró que cada etapa del trabajo contribuyera al cumplimiento de los objetivos propuestos y a la obtención de un producto final funcional, útil y preciso para el contexto agrícola en el que fue aplicado.

3.1.2 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica permitió realizar la revisión, selección y análisis sistemático de fuentes documentales, entre ellas libros, artículos científicos, tesis y publicaciones académicas especializadas, con el propósito de establecer una base teórica relacionada con el objeto de estudio (Tamayo y Tamayo, 2022).

En la presente investigación, este proceso se aplicó principalmente durante la elaboración del Marco Teórico, donde se analizaron estudios relacionados con el procesamiento digital de imágenes, las redes neuronales convoluciones, los algoritmos que son de segmentación y de clasificación y la sintomatología de las principales enfermedades del *Theobroma cacao*.

Esta revisión nos permitió identificar las arquitecturas del aprendizaje profundo que demostraron la eficacia en los problemas similares, así como las técnicas de preprocesamiento y la extracción de las características más adecuadas para las condiciones reales de la Granja Experimental Uleam El Carmen, sirviendo como un fundamento conceptual y técnico para el diseño del sistema propuesto.

3.1.3 Investigación de Campo

La investigación de campo permite obtener información directamente en el entorno donde ocurre el fenómeno objeto de estudio, facilitando su análisis dentro de las condiciones reales en las que se desarrolla. Haro Sarango et al. (2024) señalan que este tipo de investigación posibilita la recopilación de información primaria mediante técnicas como la observación directa y la aplicación de instrumentos de recolección de datos.

Esta investigación de campo permitió la aplicación directa de una encuesta a los estudiantes de la carrera de Agropecuaria y la entrevista a un ingeniero experto en el cultivo del *Theobroma cacao*, lo que aportó con datos empíricos reales para distinguir la información teórica con el contexto fitosanitario actual del cultivo.

3.1.4 Investigación aplicada

La investigación aplicada se orienta a la solución de problemas específicos mediante la utilización práctica de conocimientos científicos y tecnológicos previamente adquiridos. Haro Sarango et al. (2024) señalan que este tipo de investigación permite aplicar conocimientos teóricos para atender necesidades concretas dentro de un determinado contexto.

En la presente investigación, este enfoque se utilizó en el desarrollo de un sistema informático móvil orientado al análisis de imágenes del cultivo de *Theobroma cacao*. Para ello, se aplicaron conocimientos relacionados con procesamiento digital de imágenes, visión artificial, aprendizaje automático, desarrollo de aplicaciones móviles y gestión de datos, integrándolos en una solución tecnológica destinada a apoyar la identificación de anomalías presentes en hojas y frutos.

La aplicación de estos conocimientos permitió implementar los módulos de captura de imágenes, análisis mediante modelos de inteligencia artificial para plagas, moniliasis y salud vegetal, almacenamiento de resultados y visualización de la información. De esta manera, la investigación aplicada permitió relacionar los fundamentos teóricos y los datos obtenidos durante el estudio de campo con el desarrollo y evaluación del sistema informático propuesto.

3.1.5 Métodos de investigación

Al iniciar al observar casos singulares de plantas enfermas, analizando se buscan características visuales recurrentes lo que son: manchas, decoloraciones, lesiones y deformaciones para generalizar un poco se determinan las manifestaciones de cada anomalía.

La recolección de información se realizó mediante la aplicación de una encuesta a 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen, una entrevista a un

ingeniero con experiencia en el cultivo de *Theobroma cacao* y actividades de observación relacionadas con el entorno de estudio. Estos instrumentos permitieron obtener información sobre el conocimiento de las anomalías presentes en el cultivo, las dificultades asociadas con su identificación y la percepción respecto al uso de herramientas tecnológicas como apoyo al monitoreo fitosanitario.

3.1.5.1 Método Inductivo-Deductivo

El método inductivo-deductivo permite analizar hechos particulares para establecer generalizaciones y, posteriormente, aplicar principios generales a situaciones específicas. Hadi et al. (2023) señalan que los métodos de investigación permiten organizar el proceso de análisis de la información establecer relaciones entre los datos obtenidos y los fundamentos teóricos que sustentan un estudio.

En la presente investigación, el componente inductivo se utilizó durante la observación y el análisis de las características visuales asociadas con las anomalías presentes en hojas y frutos de *Theobroma cacao*. A partir de la información bibliográfica, la observación realizada en la Granja Experimental Uleam El Carmen, la encuesta aplicada a los estudiantes y la entrevista al experto, se identificaron patrones relacionados con enfermedades, plagas y alteraciones del estado de salud vegetal.

El componente deductivo se aplicó al utilizar los conocimientos y patrones previamente establecidos como fundamento para definir los requerimientos del sistema y orientar la integración de los modelos de inteligencia artificial destinados a la detección de plagas, moniliasis y salud vegetal. De esta manera, los fundamentos generales obtenidos durante la investigación fueron relacionados con casos particulares analizados mediante las imágenes capturadas por la aplicación móvil.

3.1.5.2 Método de Análisis-Síntesis

El método de análisis-síntesis permite estudiar un fenómeno mediante la separación de sus componentes para examinarlos individualmente y, posteriormente, integrar los resultados obtenidos con el propósito de alcanzar una comprensión general del objeto de estudio. Hadi et al.

(2023) señalan que el análisis y la síntesis permiten organizar e interpretar la información obtenida durante una investigación, relacionando sus diferentes elementos para establecer conclusiones fundamentales.

En la presente investigación, el análisis se utilizó para estudiar de manera separada los diferentes elementos relacionados con el problema investigado. Se examinaron las anomalías presentes en el cultivo de *Theobroma cacao*, los resultados obtenidos mediante la encuesta y la entrevista, las características visuales de hojas y frutos, las técnicas de procesamiento de imágenes, los modelos de inteligencia artificial y las tecnologías necesarias para el desarrollo de la aplicación móvil.

Posteriormente, la síntesis permitió integrar la información obtenida en estos componentes para establecer los requerimientos y la estructura funcional del sistema informático. A partir de esta integración se definieron los módulos de captura de imágenes, detección de plagas, moniliasis y salud vegetal, almacenamiento de resultados, historial, generación de informes y asistencia fitosanitaria. De esta manera, el método de análisis-síntesis contribuyó a relacionar los fundamentos teóricos y los resultados del estudio de campo con el diseño e implementación de la solución tecnológica propuesta.

3.1.5.3 Método de Observación

La investigación del campo se llevó a cabo en la Granja Experimental Uleam El Carmen, donde los datos primarios fueron recolectados. La observación sistemática de las plantaciones del *Theobroma cacao* son necesarias. Su captura de las imágenes digitales de las hojas y las mazorcas junto con un registro detallado de sus condiciones fitosanitarias son esenciales. Mediante esta etapa se obtiene información empírica directa sobre las anomalías que se manifiestan, las enfermedades, las plagas, las deficiencias nutricionales, los hongos y líquenes mediante las condiciones ambientales específicas regionales.

Finalmente se utilizaron registros de observación para documentar la información recopilada durante el trabajo de campo. En estos registros se consideraron datos como la fecha de observación, el tipo de órgano vegetal analizado, el estado de desarrollo de la hoja o mazorca y la presencia de anomalías visibles. La información obtenida mediante este método contribuyó a

comprender las condiciones reales del cultivo y sirvió como apoyo para establecer las necesidades funcionales del sistema informático.

3.2 Fuentes de información de datos

Las fuentes de la información se constituyen mediante los recursos mediante los cuales el investigador logra acceder a los datos, las teorías, las metodologías y las evidencias empíricas que guían el desarrollo del proyecto. Hadi et al. (2023) señalan que la metodología de la investigación se debe integrar de manera sistemática la recopilación, el análisis e interpretación de los datos provenientes de diversas fuentes, lo que garantiza que la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

3.2.1 Fuentes Primarias

Las fuentes primarias son aquellas que contienen la información original, en otras palabras, tienen los datos obtenidos directamente del objetivo de estudio sin haber sido filtrado, interpretado o evaluados previamente por terceros. Tigova (2025) señala que una fuente primaria de los datos se caracteriza por ser la primera declaración del dato en bruto, recolectada directamente por el investigador o también generada en el momento en que ocurre el fenómeno, lo que la convierte en la base más sólida y confiable para que se desarrolle el conocimiento científico riguroso.

En la presente investigación, las fuentes primarias estuvieron conformadas por la encuesta aplicada a 45 estudiantes de quinto a séptimo nivel de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen, la entrevista realizada al Ing. Paúl González, experto en el cultivo de *Theobroma cacao*, y la observación desarrollada en la Granja Experimental Uleam El Carmen. Estas fuentes permitieron obtener información directa sobre el conocimiento fitosanitario, las dificultades relacionadas con la identificación de anomalías y las necesidades existentes para el monitoreo del cultivo.

3.2.1.1 Encuestas

Una encuesta es un método que recopila los datos mediante la distribución de cuestionarios normalizados a una muestra representativa de la población. El objetivo principal es obtener la información cuantitativa y descriptiva sobre las características, las opiniones o los

comportamientos de un grupo específico en un momento determinado. Estas encuestas permiten realizar el análisis estadístico posterior ya que los datos son recopilados lo que se utiliza un método uniforme (Díaz-Bravo & Zavala-González, 2020).

La encuesta se implementó a 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen y estuvo conformada por 10 preguntas de opción múltiple, diseñadas para evaluar el criterio técnico relacionado con el diagnóstico de campo. El cuestionario abordó aspectos como las manifestaciones iniciales de la moniliasis, los factores asociados con su propagación y la influencia de las condiciones climáticas del cantón El Carmen en la presencia de enfermedades y plagas que afectan al cultivo de *Theobroma cacao*.

3.2.1.2 Entrevistas

La entrevista se realizó mediante el diálogo de persona a persona o mediante algunos medios tecnológicos, es un método de recopilación de los datos que tiene como objetivo la obtención de la información específica, totalmente diferente a las encuestas ya que permite profundizar la mejor manera las opiniones, las experiencias o los conocimientos a través de preguntas abiertas con lo que se genera las respuestas más detalladas y contextualizadas (Sanabria-Rangel & Peñuela-Vásquez, 2022).

Se realizó la entrevista a un ingeniero experto en el cultivo del cacao, seleccionado por su trayectoria y su amplio conocimiento técnico en la zona de El Carmen. Esta información fue fundamental para el proyecto ya que su experiencia permite validar el rigor científico, las fases biótropas de los patógenos, esto proporciona el criterio especializado necesario para que se calibre los algoritmos de la detección de las anomalías y que se diferencien en síntomas que suele ser subjetivos para observadores no expertos.

3.3 Estrategias Operacionales para la recolección de datos

3.3.1 Población

Una población o también conocida como universo es un conjunto completo de individuos, objetos o fenómenos que se comparten una o más características comunes sobre lo que se busca información. Cuando una población es elevadamente grande, se utilizan los métodos de muestreo,

es decir, se selecciona un subgrupo representativo de la población para que el estudio y los resultados se generalicen a la población en general. (Tamayo y Tamayo, 2022)

La población de estudio estuvo conformada por estudiantes y docentes de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen vinculados con el conocimiento del cultivo de cacao. De acuerdo con la información obtenida en la secretaría de la institución, se identificaron 157 estudiantes pertenecientes desde cuarto hasta octavo semestre y 3 docentes con conocimientos teóricos y prácticos relacionados con el cultivo de *Theobroma cacao*, estableciéndose una población total de 160 personas. Posteriormente, para la aplicación de la encuesta se seleccionaron 45 estudiantes de quinto a séptimo nivel, mientras que para la entrevista se consideró a un docente con experiencia en el cultivo de cacao.

3.3.2 Muestra

Una muestra es el subconjunto finito representativo extraído de una población que se utiliza para extraer las conclusiones sobre la población. Los métodos del muestreo se dividen normalmente en dos partes: el muestreo probabilístico (en el que todos los elementos tienen las mismas posibilidades de ser seleccionados) y el muestreo no probabilístico. La elección del tipo del muestreo se determinó por la naturaleza y además el tamaño de la población. (Pérez-Juste & García-Gómez, 2021).

Para la presente investigación se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, debido a que los participantes fueron seleccionados considerando sus conocimientos y experiencia relacionados con el cultivo de cacao. La muestra estuvo conformada por 46 participantes: 45 estudiantes de quinto a séptimo nivel de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen, a quienes se aplicó la encuesta, y 1 ingeniero con experiencia en el cultivo de *Theobroma cacao*, a quien se realizó la entrevista. Esta selección permitió obtener información relacionada con el conocimiento técnico, las dificultades de identificación de anomalías y las necesidades existentes en el contexto de estudio.

3.3.2.1 Encuesta

La encuesta se implementó como un método de la recolección de los datos cuantitativos mediante un cuestionario normalizado, de acuerdo con las fuentes empleadas, se aplicó a una muestra de 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen, específicamente a los de quinto a séptimo nivel ya que poseen conocimientos frescos sobre el cultivo. La encuesta consta de 10 preguntas de opción múltiple que son diseñadas para evaluar el criterio técnico en el diagnóstico de campo.

3.3.2.2 Entrevista

La entrevista se define como una técnica de diálogo que nos permite profundizar en opiniones y conocimientos especializados a través de las preguntas abiertas. En este estudio, se aplicó específicamente a un docente experto en el cultivo del cacao de la Uleam, seleccionado por su trayectoria académica y su amplio conocimiento técnico en el cultivo del cacao en la zona de El Carmen. La participación fue indispensable, ya que, al ser quien posee el mayor dominio sobre el comportamiento del cultivo, aportó el criterio necesario para que se validaran los aspectos científicos del sistema.

3.3.2.3 Estructura de los instrumentos de recolección de datos aplicados

3.3.2.3.1 Estructura de entrevista

La entrevista fue diseñada tomando como punto de partida el problema del cual se desprenden 3 causas del problema, cada causa fue analizada de manera teórica y contextualizada para diseñar 3 preguntas la cuales mantienen un lenguaje técnico porque se aplicarán al experto en cacao, además se incluyó una repregunta que se tomó de la 2da causa del problema y se enfocó de forma diferente con la finalidad de validar las respuestas obtenidas.

3.3.2.3.2 Estructura de encuesta

La encuesta se estructuró a partir de las tres causas fundamentales del problema fitosanitario, identificadas en el diagnóstico preliminar. Cada causa se operacionalizó mediante tres preguntas cerradas de opción múltiple, formuladas en lenguaje técnico con el propósito de evaluar el criterio especializado de los encuestados. Adicionalmente, se implementó una

repregunta de validación que permitió contrastar la información correspondiente a una de las causas y verificar la consistencia de las respuestas.

3.3.3 Plan de recolección de datos

Tabla 1. Recolección de los Datos

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA DE EJECUCIÓN
Encuesta a los estudiantes de la carrera de Agropecuaria de quinto a séptimo nivel de la Uleam extensión El Carmen.	Daniel Alexander Pérez Cedeño	26/05/2026 – 01-06-2026
Entrevista al Ing. Paúl González.	Daniel Alexander Pérez Cedeño	04/06/2026 – 11:00 a.m.

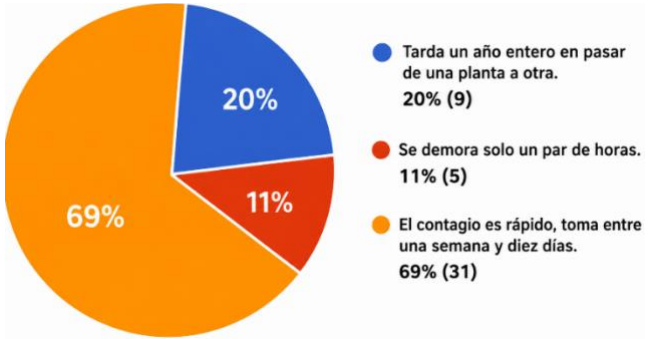
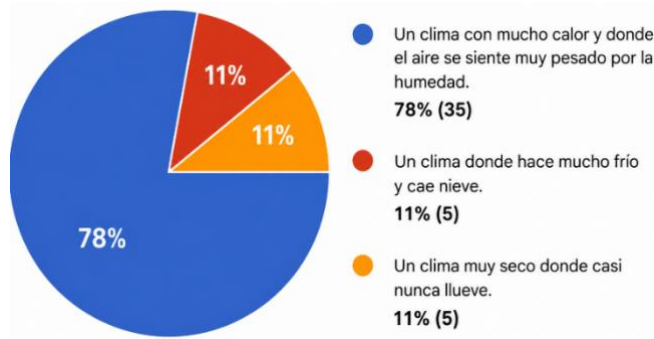
3.4 Análisis y presentación de resultados

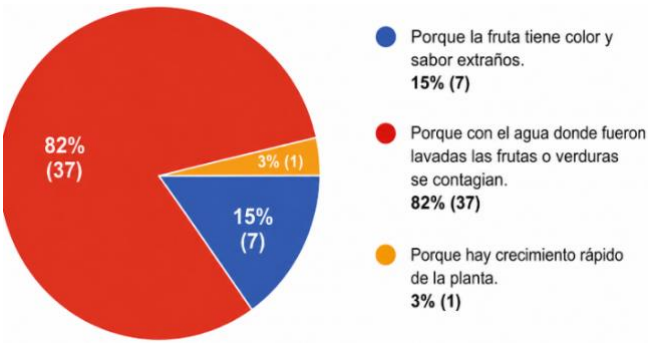
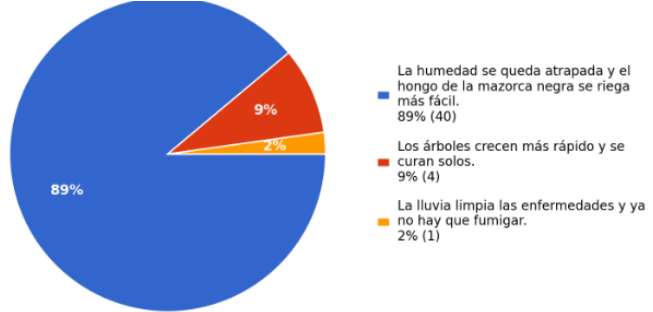
3.4.1 Presentación y descripción de los resultados obtenidos

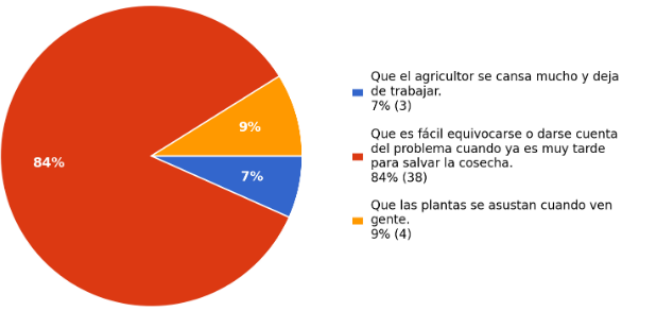
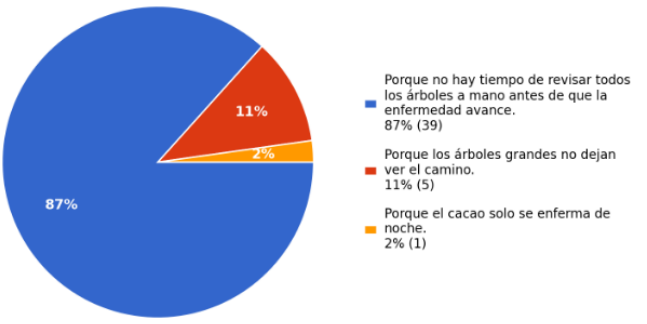
3.4.1.1 Análisis de encuesta dirigida a los estudiantes de Agropecuaria de la Uleam extensión El Carmen

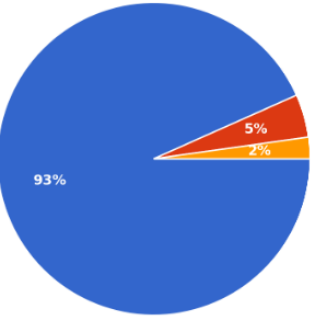
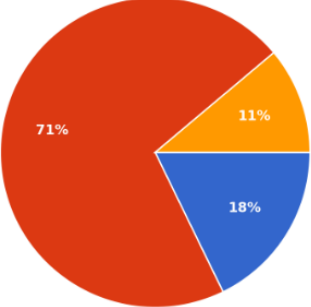
Tabla 2. Resultados Obtenidos de la Encuesta

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
1. ¿Qué signos o síntomas permiten identificar la presencia de moniliasis en una mazorca de cacao?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Síntoma</th> <th>Porcentaje</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Le salen manchas como de agua que luego se ponen cafés.</td> <td>82%</td> <td>(37)</td> </tr> <tr> <td>La fruta se pone de color azul brillante.</td> <td>16%</td> <td>(7)</td> </tr> <tr> <td>El árbol deja de dar hojas de repente.</td> <td>2%</td> <td>(1)</td> </tr> </tbody> </table>	Síntoma	Porcentaje	Cantidad	Le salen manchas como de agua que luego se ponen cafés.	82%	(37)	La fruta se pone de color azul brillante.	16%	(7)	El árbol deja de dar hojas de repente.	2%	(1)	La mayoría de los encuestados reconoce los síntomas iniciales de la enfermedad, aunque aún existen dudas, lo que evidencia la necesidad de un sistema de visión artificial que facilite su identificación.
Síntoma	Porcentaje	Cantidad												
Le salen manchas como de agua que luego se ponen cafés.	82%	(37)												
La fruta se pone de color azul brillante.	16%	(7)												
El árbol deja de dar hojas de repente.	2%	(1)												
2. ¿Qué es ese “polvito blanco” que le sale a la fruta cuando ya está muy enferma?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Porcentaje</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Son las "semillas" del hongo (esporas) que vuelan con el viento para enfermar a otras plantas.</td> <td>96%</td> <td>(43)</td> </tr> <tr> <td>Es harina que le cae del aire.</td> <td>2%</td> <td>(1)</td> </tr> <tr> <td>Es azúcar que le sale a la fruta por el sol.</td> <td>2%</td> <td>(1)</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Porcentaje	Cantidad	Son las "semillas" del hongo (esporas) que vuelan con el viento para enfermar a otras plantas.	96%	(43)	Es harina que le cae del aire.	2%	(1)	Es azúcar que le sale a la fruta por el sol.	2%	(1)	Este resultado muestra una brecha crítica del conocimiento técnico entre los estudiantes. Aunque logran identificar la mancha no comprenden que el polvo blanco son las unidades infectivas o esporas de la <i>Moniliophthora roreri</i>.
Descripción	Porcentaje	Cantidad												
Son las "semillas" del hongo (esporas) que vuelan con el viento para enfermar a otras plantas.	96%	(43)												
Es harina que le cae del aire.	2%	(1)												
Es azúcar que le sale a la fruta por el sol.	2%	(1)												

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
3. ¿Qué tan rápido se contagia el hongo de la Monilia en el cacao?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Velocidad de contagio</th> <th>Porcentaje</th> <th>Cantidad de encuestados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tarda un año entero en pasar de una planta a otra.</td> <td>20%</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Se demora solo un par de horas.</td> <td>11%</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>El contagio es rápido, toma entre una semana y diez días.</td> <td>69%</td> <td>31</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidad de contagio	Porcentaje	Cantidad de encuestados	Tarda un año entero en pasar de una planta a otra.	20%	9	Se demora solo un par de horas.	11%	5	El contagio es rápido, toma entre una semana y diez días.	69%	31	Una porción considerable de los encuestados desconoce que la velocidad con la que este hongo se propaga, a pesar de que la literatura técnica se confirmó que sus ciclos de contagio son muy cortos, lo que convierte la detección tardía en un riesgo especialmente grave para su cultivo.
Velocidad de contagio	Porcentaje	Cantidad de encuestados												
Tarda un año entero en pasar de una planta a otra.	20%	9												
Se demora solo un par de horas.	11%	5												
El contagio es rápido, toma entre una semana y diez días.	69%	31												
4. ¿Cuál es el clima que más “le gusta” a las enfermedades para atacar el cacao?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Condición climática</th> <th>Porcentaje</th> <th>Cantidad de encuestados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Un clima con mucho calor y donde el aire se siente muy pesado por la humedad.</td> <td>78%</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Un clima donde hace mucho frío y cae nieve.</td> <td>11%</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Un clima muy seco donde casi nunca llueve.</td> <td>11%</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Condición climática	Porcentaje	Cantidad de encuestados	Un clima con mucho calor y donde el aire se siente muy pesado por la humedad.	78%	35	Un clima donde hace mucho frío y cae nieve.	11%	5	Un clima muy seco donde casi nunca llueve.	11%	5	La mayoría de los encuestados identificó correctamente al calor y la humedad como factores que favorecen el desarrollo de enfermedades, lo cual coincide con las condiciones climáticas presentes en la Granja Experimental Uleam El Carmen.
Condición climática	Porcentaje	Cantidad de encuestados												
Un clima con mucho calor y donde el aire se siente muy pesado por la humedad.	78%	35												
Un clima donde hace mucho frío y cae nieve.	11%	5												
Un clima muy seco donde casi nunca llueve.	11%	5												

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN
5. ¿Por qué en zonas como “El Carmen” es tan común que aparezcan plagas?	 ● Porque la fruta tiene color y sabor extraños. 15% (7) ● Porque con el agua donde fueron lavadas las frutas o verduras se contagian. 82% (37) ● Porque hay crecimiento rápido de la planta. 3% (1)	La mayoría de los encuestados reconoce que la relación entre el clima lluvioso y cálido de la zona con el desarrollo de los hongos, se evidencia una comprensión general del entorno como factor de riesgo para los cultivos.
6. ¿Qué pasa si llueve mucho y no se limpian las ramas de los árboles?	 ■ La humedad se queda atrapada y el hongo de la mazorca negra se riega más fácil. 89% (40) ■ Los árboles crecen más rápido y se curan solos. 9% (4) ■ La lluvia limpia las enfermedades y ya no hay que fumigar. 2% (1)	La mayoría comprende que la falta de poda combinada con el exceso de la humedad facilita la aparición de las enfermedades como la mazorca negra, lo que se refleja un conocimiento práctico sobre las condiciones que agravan la situación fitosanitaria del cultivo.

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN												
7. ¿Cuáles el peligro de revisar la finca solo caminando y mirando?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reason</th> <th>Percentage</th> <th>Count</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Que es fácil equivocarse o darse cuenta del problema cuando ya es muy tarde para salvar la cosecha.</td> <td>84%</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>Que las plantas se asustan cuando ven gente.</td> <td>9%</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Que el agricultor se cansa mucho y deja de trabajar.</td> <td>7%</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Reason	Percentage	Count	Que es fácil equivocarse o darse cuenta del problema cuando ya es muy tarde para salvar la cosecha.	84%	38	Que las plantas se asustan cuando ven gente.	9%	4	Que el agricultor se cansa mucho y deja de trabajar.	7%	3	Casi la totalidad de los encuestados admite que la inspección visual es propensa a los errores o a la detección de los problemas demasiado tarde, lo que se reconoce así las limitaciones del método de monitoreo tradicional.
Reason	Percentage	Count												
Que es fácil equivocarse o darse cuenta del problema cuando ya es muy tarde para salvar la cosecha.	84%	38												
Que las plantas se asustan cuando ven gente.	9%	4												
Que el agricultor se cansa mucho y deja de trabajar.	7%	3												
8. ¿Por qué a los dueños de fincas grandes se les hace difícil controlar las plagas?	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reason</th> <th>Percentage</th> <th>Count</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porque no hay tiempo de revisar todos los árboles a mano antes de que la enfermedad avance.</td> <td>87%</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>Porque los árboles grandes no dejan ver el camino.</td> <td>11%</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Porque el cacao solo se enferma de noche.</td> <td>2%</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Reason	Percentage	Count	Porque no hay tiempo de revisar todos los árboles a mano antes de que la enfermedad avance.	87%	39	Porque los árboles grandes no dejan ver el camino.	11%	5	Porque el cacao solo se enferma de noche.	2%	1	La mayoría identifica la incapacidad física de cubrir las grandes extensiones de cultivo en el tiempo necesario, lo que se refuerza la inviabilidad de depender únicamente en la revisión manual en las fincas de gran escala.
Reason	Percentage	Count												
Porque no hay tiempo de revisar todos los árboles a mano antes de que la enfermedad avance.	87%	39												
Porque los árboles grandes no dejan ver el camino.	11%	5												
Porque el cacao solo se enferma de noche.	2%	1												

PREGUNTA	GRÁFICO	INTERPRETACIÓN
9. ¿Para qué sirve usar tecnología (como cámaras o programas) en lugar de solo mirar?	 ■ Para avisar rápido dónde está el daño y no gastar plata en químicos por gusto. 93% (42) ■ Para que las fotos del cacao salgan más bonitas en el celular. 5% (2) ■ Para que el agricultor ya no tenga que volver a entrar a la finca. 2% (1)	La mayor parte de los encuestados consideró que el uso de la tecnología permitió optimizar el gasto en químicos y agilizar el aviso ante los posibles daños, lo que reflejó una percepción muy favorable hacia una solución automatizada.
10. Si el polvito blanco es “semillas” que enferman a las demás frutas, ¿qué es lo primero que recomienda el técnico hacer?	 ■ Soplar la fruta para quitarle el polvo. 18% (8) ■ Sacar las frutas enfermas con cuidado y enterrarlas para que no sigan contagiando. 71% (32) ■ Dejar las frutas enfermas colgadas para que se sequen solas. 11% (5)	Aunque la mayoría conoce el procedimiento correcto, todavía existe desconocimiento, por lo que el sistema debe detectar la enfermedad y brindar alertas y recomendaciones claras al cultivador.

3.4.1.2 Análisis de entrevista dirigida al Ing. Paúl González.

Tabla 3. Resultados Obtenidos de la Entrevista

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
1. ¿Cuáles son las manifestaciones morfológicas iniciales que caracterizan la fase biótrofa de la <i>Moniliophthora roreri</i> en los frutos de cacao?	La <i>Moniliophthora roreri</i> es un hongo devastador que no solo afecta el exterior del fruto, también entra en la mazorca hasta destruir totalmente lo que son las almendras. La mala presentación física y la generación de las micotoxinas son las principales razones de que se anule el valor comercial del cacao y las cuales también son muy perjudiciales para la salud humana.	El Ing. Paúl González nos informa que el impacto de la <i>Moniliophthora roreri</i> no es solo externo, sino que el hongo se entra en la mazorca hasta destruir las almendras. Esto significa que, para cuando el síntoma es evidente, el valor comercial ya se habrá perdido debido a la presencia de las micotoxinas y su deterioro físico. Por lo tanto, el sistema de visión artificial debe ser capaz de detectar las “manchas de agua” para evitar que el daño llegue al centro del fruto que es el <i>Theobroma cacao</i> .
2. ¿Cuál es la función biológica de la eflorescencia pulverulenta (polvo blanco) observada en las lesiones necróticas avanzadas de la moniliasis?	El polvo blanco que asoma en las etapas avanzadas se presenta como la eflorescencia pulverulenta o esporas, que funcionan como las “semillas” del hongo. Estas se dispersan muy fácilmente por el viento o por la actividad humana lo que esto conlleva a la iniciación de nuevas infecciones en las plantas sanas.	El Ing. Paúl González nos define que este polvo como la fase de esporulación, en otras palabras, la liberación de las “semillas” de hongo. Se interpreta que esta es la etapa es de mayor riesgo epidemiológico para la granja experimental, ya que el viento o el contacto del ser humano logra que se dispersen estas esporas a las plantas sanas.

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
3. De acuerdo con la epidemiología documentada, ¿cuál es el periodo estimado para completar el ciclo de contagio de este patógeno bajo condiciones de campo?	El periodo de contagio no es muy fijo ya que depende de las condiciones ambientales específicas. El hongo posee una fase biótropa de crecimiento que es silencioso, donde la infección avanza internamente sin que está sea observada a simple vista.	El Ing. Paúl González nos aclara que el contagio no suele ocurrir en un tiempo fijo, sino que depende estrictamente del microclima. El hongo tiene un crecimiento silencioso que es la fase biótropa antes de que sea visible.
4. ¿Qué parámetros de humedad relativa y rango térmico se consideran críticos para la explosión epidémica de enfermedades fúngicas en el cultivo?	Se establece que más del 70% de las enfermedades en las plantas son fúngicas y que se requieren un microclima de humedad relativa que supere al 70% y también a temperaturas que están entre los 20 y 35 grados Celsius para multiplicarse.	Se establecen que los umbrales de peligro son de la humedad que supera al 70% y las temperaturas que están entre los 20 y 35 grados Celsius. Estos datos son fundamentales para programar las variables de riesgo en el sistema ya que se considera que el 70% de las enfermedades en las plantas son fúngicas bajo estas condiciones.
5. ¿De qué manera influyen las condiciones edafoclimáticas del cantón “El Carmen” (precipitación y temperatura) en la vulnerabilidad fitosanitaria de las plantaciones?	Las condiciones en el cantón El Carmen son muy ideales para los hongos, ya que tiene humedad constante que sobrepasa el 70% y temperaturas que tienen un promedio de 23 – 24 °C. Para luchar con esto, propongo el control de microclimas mediante podas y el uso de productos biológicos preventivos.	Nos confirma que las condiciones edafoclimáticas del cantón El Carmen se constituye con un ambiente favorable para el desarrollo de las enfermedades fúngicas del <i>Theobroma cacao</i> . Los valores obtenidos de la humedad relativa son mayores al 70% y las temperaturas son de promedios entre 23 – 24 grados Celsius.

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
6. ¿Qué impacto tiene la densidad del dosel y la ausencia de podas fitosanitarias en la incidencia de patógenos como <i>Phytophthora spp</i> ?	Al igual que la enfermedad llamada Monilia, el hongo <i>Phytophthora spp</i> también conocida como la mazorca negra, prospera en el exceso de la humedad y follaje. Es importante eliminar la parte vegetativa no productiva para que se reduzca la sombra y la humedad acumulada, lo que permite que el sistema de visión artificial pueda diferenciar entre estas las patologías coexistentes.	El Ing. Paúl González nos establece un hongo que comparte el microclima óptimo con la <i>Moniliophthora roreri</i> y el <i>Phytophthora spp</i> , nos confirma además que las condiciones ambientales del cantón El Carmen favorecen a múltiples enfermedades fúngicas. Esto implica que nuestro sistema de visión artificial sea apto para discriminar las patologías coexistentes en el mismo cultivo.
7. ¿Cuáles son las principales limitaciones técnicas y operativas de la inspección visual manual en la gestión de grandes extensiones de <i>Theobroma cacao</i> ?	En extensiones grandes la revisión visual es muy lenta y encarece en los costos de la producción por la mano de obra requerida. Yo validaría el uso de la agricultura de precisión que se basaría en sensores o fotografía aérea como una buena alternativa para que sea rápida, eficiente y económica para que detecte las plagas y la falta de nutrientes.	El Ing. Paúl González nos indica que la inspección visual manual es económicamente imposible en las plantaciones de gran escala ya que es muy alto el costo en tiempo y en la mano de obra. Su mención mediante tecnologías como sensores de campo, fotografías aéreas y la agricultura de precisión demuestra que puedes reconocer y validar la necesidad en la solución propuesta de este proyecto.
8. ¿Cómo afecta la escala de producción y la subjetividad del observador a la eficiencia del monitoreo fitosanitario tradicional?	Uno de los problemas más graves del monitoreo tradicional es que, si la persona que observa no tiene mucha experiencia, se puede confundir fácilmente. Muchas enfermedades del cacao se parecen en sus síntomas iniciales, y un diagnóstico equivocado nos lleva a aplicar tratamientos incorrectos.	La respuesta del Ing. Paúl González nos evidencia que una limitación crítica en el monitoreo tradicional es que es causada por la falta de experiencia del observador ya que existen enfermedades similares en el fruto. Así que es mejor la implementación de un Deep Learning para normalizar la detección, eliminar el error humano y garantizar criterios de clasificación.

PREGUNTA	RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
9. ¿Cuál es el valor agregado de integrar algoritmos de aprendizaje profundo (Deep Learning) y visión artificial en la identificación de anomalías en el cacao?	La gran ventaja de integrar algoritmos de Deep Learning es que podemos “programar” en la tecnología los síntomas y las condiciones específicas de cada enfermedad. Esto nos dará un diagnóstico mucho más certero y científico. Para que el algoritmo funcione bien, debemos alimentarlo con los datos y las condiciones correctas de nuestro entorno real, caso contrario, el resultado nos dará incorrecto.	El Ing. Paúl González nos valida el uso del aprendizaje profundo como una herramienta científica para obtener diagnósticos certeros, ya que se permite normalizar la detección de síntomas y condiciones específicas. Se subraya que la efectividad del sistema no depende únicamente de su arquitectura tecnológica, sino también de la calidad y la fidelidad de los datos con los que se entrena.
10. Considerando que la esporulación es la fase crítica de dispersión aérea del hongo, ¿qué estrategias de control cultural específicas se recomiendan para interrumpir el ciclo biológico del patógeno en el predio?	Mi recomendación para interrumpir el ciclo del hongo es el manejo cultural riguroso ya que, si detectamos a tiempo un fruto contaminado, hay que eliminarlo de inmediato para limitar su infección. Además, hemos tenido excelentes resultados usando el hongo <i>Trichoderma harzianum</i> como un bioinsumo.	Se plantea un protocolo de control integral de dos niveles: uno que se maneje de forma cultural preventivo, basado en la eliminación inmediata de los frutos contaminados, y otro es la estrategia biológica mediante el uso del hongo <i>Trichoderma harzianum</i> como un buen bioinsumo.

3.4.2 Informe final del análisis de los datos

Las herramientas de investigación para la recopilación de datos aplicados fueron: una encuesta implementada en Google Forms y fue dirigida a 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria y una entrevista semiestructurada al ingeniero Paúl González, docente experto en el cultivo de cacao de la Granja Experimental Uleam El Carmen. Estas herramientas proporcionaron información cuantitativa y cualitativa complementaria que nos permitió caracterizar el estado

actual del conocimiento fitosanitario y que validez en la necesidad del sistema informático propuesto para este proyecto.

3.4.2.1 Hallazgos de la encuesta a estudiantes de Agropecuaria

Los resultados de la encuesta que fue aplicada a 45 estudiantes de quinto a séptimo nivel de la carrera de Agropecuaria nos revelaron un panorama mixto: existe un nivel básico de conocimiento sobre la sintomatología de las principales enfermedades del *Theobroma cacao*, pero este se identifican separaciones críticas en los aspectos microbiológicos y el manejo de urgencia.

La mayoría de los encuestados identifica correctamente las manchas de agua como el primer indicio de la Moniliasis, y el 80% reconoce que el calor y la humedad son los principales factores climáticos que más favorecen el ataque de las enfermedades fúngicas, criterio que se juntan con las condiciones ambientales documentadas de la Granja Experimental Uleam El Carmen (temperatura de 24 – 26 °C y una humedad relativa del 75 – 85%). El 77% comprende que la relación entre el clima lluvioso – cálido en el cantón El Carmen y el crecimiento fúngico. Además, el 87% entiende que la falta de poda y el exceso de la humedad favorecen a las enfermedades como por ejemplo la mazorca negra.

Se detectaron separaciones de conocimiento significativas, el 40% desconoce la velocidad de la propagación de la monilia (un ciclo que tiene de 7 a 10 días), lo cual resulta preocupante ya que el desconocimiento puede ser la causa de los retrasos en la aplicación de medidas de control. Aunque los estudiantes identifican visualmente la eflorescencia pulverulenta característica, muchos no logran comprender que ese polvo blanco corresponde a las esporas de la *Moniliophthora roreri*, la fase que tiene mayor riesgo epidémico por su dispersión aérea, además el 36% desconoce que el protocolo correcto mediante el entierro o el retiro de los frutos infectados son como medida de control inmediata, lo que evidencia la necesidad de que el sistema no solo pueda detectar la anomalía, sino que emita las guías de acción clara y accesible para los productores.

El 97% de los encuestados considera que la tecnología optimiza el gasto de los químicos y que acelera el aviso de daños mediante la tecnología que resulto altamente ser favorable y el 87% reconoce que la inspección visual es propensa a cometer errores o al poder detectar las

enfermedades demasiado tarde. Estos datos nos pueden evidenciar una amplia receptividad hacia la solución tecnológica propuesta en este proyecto y confirman la aceptación institucional del sistema en el contexto académico-agronómico de la Uleam El Carmen.

3.4.2.2 Hallazgos de la entrevista al ingeniero Paúl González

La entrevista realizada al Ing. Paúl González nos aportó perspectiva técnica especializada que complemento y nos validó los datos cuantitativos de la encuesta, confirmando 3 ejes fundamentales para el diseño del sistema.

Primero, mediante a la gravedad y la progresividad del daño, el ingeniero nos confirmó que la *Moniliophthora roreri* ingresa hasta las almendras lo que destruye el valor comercial de la cosecha antes de que los síntomas externos sean evidentes. Esto nos refuerza el requerimiento de la detección temprana en la fase biótrofa del sistema, antes de que el daño sea irreversible. Además, el ingeniero indicó que el 70% de las enfermedades agrícolas son de origen fúngico y que estas aumentan con humedad superior al 70% y la temperatura entre los 20 y 35 °C, umbrales que coinciden exactamente con las condiciones ambientales en el cantón El Carmen (la humedad >70%, la temperatura promedio de 23-24°C). Esta coincidencia validó la alta vulnerabilidad fitosanitaria de la zona y justificó la necesidad de implementar el sistema propuesto.

Segundo, lo relativo a las limitaciones del monitoreo tradicional, el ingeniero Paúl González destacó dos vulnerabilidades complementarias que son: la ineficacia económica de la inspección manual en las grandes extensiones y la variabilidad diagnóstica producida por la particularidad del observador. Ambas limitaciones son inherentes al método visual tradicional y que no pueden resolverse simplemente con más personal o más capacitación, lo que hace indispensable una solución tecnológica es que estandarice el proceso de la detección con criterio objetivos, rápidos y repetibles.

Tercero, respecto a la validación del enfoque tecnológico, el ingeniero señaló el uso de los algoritmos de aprendizaje profundo condicionándolo a la parametrización correcta del modelo con los datos reales del campo. Esta condición refuerza que la necesidad de capturar imágenes representativas directamente en la Granja Experimental Uleam El Carmen durante la fase de entrenamiento del modelo. Además, la recomendación del uso de *Trichoderma harzianum* como

el control biológico que da el sustento al módulo de recomendación del sistema, que deberá incluir alternativas de bajo impacto químico coordinadas con los principios de agricultura sostenible.

3.4.2.3 Interpretación y cruce de resultados

Con el propósito de establecer una relación directa entre los resultados obtenidos mediante los instrumentos de investigación, se realizó un cruce descriptivo entre las preguntas de la encuesta aplicada a los estudiantes y las preguntas de la entrevista realizada al experto. El análisis se organizó de acuerdo con las tres causas identificadas en la problemática, permitiendo contrastar el conocimiento de los estudiantes con el criterio técnico del especialista y determinar la relación existente entre los factores analizados.

Tabla 4. Cruce de variables de la encuesta y la entrevista

Causa analizada	Encuesta	Entrevista	Cruce de resultados
Desconocimiento técnico sobre la sintomatología y el ciclo biológico de las enfermedades.	Preguntas 1, 2 y 3: reconocimiento de síntomas de moniliasis, identificación de las esporas y velocidad de propagación.	Preguntas 1, 2 y 3: evolución de la enfermedad, esporulación y propagación del patógeno.	El cruce permitió comparar el conocimiento de los estudiantes sobre las manifestaciones visibles de la enfermedad con la explicación técnica del experto. Se identificó que el reconocimiento visual puede ser adecuado, pero existen mayores dificultades en la comprensión del ciclo biológico y la propagación de la enfermedad.

Causa analizada	Encuesta	Entrevista	Cruce de resultados
Condiciones climáticas y manejo cultural que favorecen las enfermedades fúngicas.	Preguntas 4, 5 y 6: influencia del calor, humedad, condiciones climáticas de El Carmen, acumulación de humedad y falta de poda.	Preguntas 4, 5 y 6: rangos de humedad y temperatura, condiciones edafoclimáticas de El Carmen y efecto de la densidad del follaje y ausencia de poda.	Los resultados de ambos instrumentos presentan correspondencia, debido a que los estudiantes relacionaron la humedad y la temperatura con el desarrollo de enfermedades, mientras que el experto explicó que estos factores, junto con la falta de poda y la acumulación de humedad, favorecen la proliferación de hongos fitopatógenos.
Dependencia de la inspección visual manual para el monitoreo fitosanitario.	Preguntas 7, 8 y 9: limitaciones de la inspección manual, posibilidad de errores y utilidad de herramientas tecnológicas.	Preguntas 7, 8 y 9: dificultades de inspección en grandes extensiones, subjetividad del observador y aporte del aprendizaje profundo y visión artificial.	El cruce evidenció una relación entre las dificultades percibidas en el monitoreo manual y la necesidad de utilizar herramientas tecnológicas. Los resultados de la encuesta se complementaron con el criterio del experto, quien señaló limitaciones relacionadas con tiempo, costo y experiencia del observador, además de reconocer el potencial de la inteligencia artificial como herramienta de apoyo.

a) Causa 1: Desconocimiento técnico sobre la sintomatología y el ciclo biológico de las enfermedades del *Theobroma cacao*.

Esta causa se confronta principalmente en las preguntas uno, dos y tres de la encuesta que fue dirigida a los estudiantes de la carrera de Agropecuaria, esto permitió determinar que los estudiantes confunden el polvo blanco del fruto enfermo con otra cosa y no saben que tan rápido se contagia. Esto se confirma con las preguntas uno, dos y tres de la entrevista donde el Ing. Paúl González explicó que la enfermedad avanza mediante dentro de la mazorca antes de que muestre señales visibles, además que ese polvo blanco son las esporas del hongo y que su propagación

depende del clima del lugar. Con esta información, la causa queda confirmada que falta un conocimiento claro para que se identifique la enfermedad a tiempo, lo que respalda la necesidad de un sistema que permita detectarlas de manera rápida y oportuna.

b) Causa 2: Condiciones climáticas y de manejo cultural del cultivo que favorecen la proliferación de hongos fitopatógenos.

El calor y la humedad son las condiciones perfectas para que los hongos que enferman a los frutos se desarrollen con rapidez. En el cantón El Carmen tiene precisamente este tipo de clima que es cálido y muy lluviosos, esto también se le suma que, si no se podan las ramas de las plantas mediante el tiempo de lluvias, la humedad se acumula aún más entre el follaje, por lo que facilita a las enfermedades como la mazorca negra. Tanto los estudiantes encuestados como el ingeniero consultado han coincidido que el entorno natural de la zona es un factor riesgo constante para los cultivos de este fruto.

c) Causa 3: Dependencia de la inspección visual manual como único método de monitoreo fitosanitario, lo que la vuelve subjetiva, lenta y poco escalable.

En la actualidad, la principal forma de que detecte las enfermedades en las plantas consiste en recorrer el campo y realizar una observación directa. Sin embargo, este método tradicional tiene varios problemas como, por ejemplo, es lento, depende de la experiencia que tenga la persona que revisa y en las fincas grandes es prácticamente imposible cubrir todo el terreno a tiempo. Muchas enfermedades también se parecen entre sí visualmente, lo que lleva a confusiones y a diagnósticos tardíos. Tanto los estudiantes como el ingeniero coinciden que el método tradicional ya no es suficiente y que al usar una tecnología permitiría detectar los problemas más rápido y con mayor precisión, sin importar quién haga la revisión.

En conjunto, el cruce de los resultados permitió relacionar las tres causas identificadas con la información obtenida mediante la encuesta y la entrevista, evidenciando la necesidad de fortalecer el monitoreo fitosanitario mediante una herramienta tecnológica de apoyo.

CAPÍTULO IV

4 MARCO PROPOSITIVO

4.1 Introducción

Este presente capítulo se detalló la propuesta técnica y operativa para la implementación de un sistema informático con procesamiento de imágenes, enfocado en la detección de anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao*. Se detalló la arquitectura del proyecto, los recursos necesarios para su realización y el plan de desarrollo basado en las iteraciones ágiles, lo que garantizó que la solución tecnológica respondiera a las necesidades agronómicas de la Granja Experimental Uleam El Carmen.

4.2 Descripción de la propuesta

La propuesta consiste en el diseño y el desarrollo de una plataforma informática que integra los algoritmos de la visión artificial y el aprendizaje automático (Machine Learning). Este sistema permite la captura o la carga de las fotografías de las hojas y mazorcas de cacao para someterlas a un proceso de preprocesamiento digital. Posteriormente, un modelo computacional previamente entrenado analizó la imagen para que la clasifique y que identifique si la planta se encuentra sana o presenta síntomas de anomalías fitosanitarias, se entregó un diagnóstico rápido y las respectivas recomendaciones preventivas al usuario final.

4.3 Determinación de recursos

4.3.1 Humanos

Tabla 5. Recursos Humanos

<i>Rol</i>	<i>Responsabilidad</i>	<i>Asignado a</i>
Product Owner (PO)	Define y prioriza el Product Backlog, representa a la Granja Experimental Uleam El Carmen.	Ing. Raúl Saed Reascos Pinchao, Mg

Scrum Master (SM)	Organizar los sprints, dar el seguimiento a las actividades, identificar las dificultades y asegurar la aplicación del proceso de desarrollo Scrum.	Daniel Alexander Pérez Cedeño
Equipo de Desarrollo	Analizar, diseñar, programar, integrar y probar la interfaz móvil, las bases de datos creadas, los servicios de la sincronización, la cámara, los modelos de inteligencia artificial, el chatbot y los reportes en formato pdf.	Daniel Alexander Pérez Cedeño

4.3.2 Tecnológicos

Tabla 6. Recursos Tecnológicos

<i>Recurso</i>	<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
Computador portátil	Marca HP, procesador Intel (R) Core (TM) i7-4510U CPU, con 8,00 GB de RAM instalada.	Realización de la codificación, la gestión del servidor local y el entrenamiento del modelo computacional.
Visual Studio Code	Versión 1.127.0	Aplicación utilizada para la codificación del código y la depuración del sistema.
Smartphone Android/Cámara digital	Redmi Note 11 Pro, versión del sistema operativo 1.0.4.0. TGDMIXM, versión de Android 13.	Dispositivo móvil para el funcionamiento de la aplicación y captura de las imágenes del fruto.
SQLite	Base de datos relacional local	Almacenamiento de los usuarios, el historial, los diagnósticos, las recomendaciones, las rutas de las

		imágenes, los pdf y el estado de la sincronización
Supabase	Plataforma de servicios en la nube	Sincronización del análisis, el almacenamiento remoto de las imágenes y de los documentos en formato pdf.
Flutter	Versión 3.44.2, framework de la interfaz móvil.	Entorno de desarrollo (SDK) de código abierto que fue utilizado para construir la interfaz visual y la aplicación móvil de forma nativa.
Python	Lenguaje de programación	Implementación de los componentes del chatbot y de los servicios relacionados con la inteligencia artificial.
Android SDK y Gradle	Herramientas de compilación de Android	La construcción, la depuración y la generación del archivo APK de la aplicación para su funcionamiento.

4.3.3 Económicos

Tabla 7. Recursos Económicos

<i>Cantidad</i>	<i>Recursos</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Subtotal</i>
1	Laptop marca HP	\$600,00	\$600,00
1	Teléfono celular marca Huawei para pruebas	\$120,00	\$120,00
200 horas	Horas de desarrollo, integración y pruebas del sistema	\$10,00	\$2.000,00
4 meses	Servicio de internet	\$30,00	\$120,00
1	Flutter y Dart	\$0,00	\$0,00

1	Visual Studio Code	\$0,00	\$0,00
1	SQLite	\$0,00	\$0,00
1	Supabase, plan gratuito académico	\$0,00	\$0,00
TOTAL ESTIMADO:			\$2.842,00

4.4 Metodología de desarrollo Scrum

Se seleccionó la metodología Scrum como un buen marco de trabajo ya que debido a que su naturaleza iterativa e incremental resulta muy ideal para el desarrollo de un prototipo de software, especialmente al integrar componentes de visión artificial con el desarrollo de una aplicación móvil. La utilización de esta metodología resultó ser adecuada porque facilitó el desarrollo progresivo de los componentes con diferentes características técnicas, entre ellos la autenticación de los usuarios, la captura de imágenes mediante el uso de la cámara, la ejecución de los modelos de inteligencia artificial, el chatbot de asistencia fitosanitaria, el historial de los análisis, la generación de los reportes en formato pdf y la sincronización con Supabase.

Cada sprint estuvo conformado por un objetivo, historias de usuario, las tareas técnicas, los criterios de aceptación, las pruebas y evidencias. Al finalizar cada iteración se obtuvo un aumento funcional de la aplicación móvil, permitiendo que se revise el avance y que se realice ajustes antes de continuar con el siguiente módulo.

4.4.1 Justificación de la metodología Scrum

La elección de la metodología Scrum se fundamentó en la necesidad de administrar de una manera ordenada el desarrollo de una solución tecnológica que es compuesta por varios módulos interdependientes. La elaboración de una aplicación móvil con procesamiento de las imágenes, integrada con inteligencia artificial que es almacenada localmente y en servidor de la nube, requirió una integración progresiva de sus componentes y la validación de cada uno antes de continuar con el siguiente.

Scrum nos permitió transformar los requerimientos generales del proyecto en funcionalidades diminutas y manejables. De esta forma, fue posible elaborar primero los módulos esenciales de la autenticación y la navegación, continuar con la cámara móvil y la integración de

las inteligencias artificiales, incorporar el chatbot de asistencia fitosanitaria, el historial y los reportes en formato pdf y finalizar con la sincronización, las pruebas y la generación de la aplicación en apk.

4.4.2 Roles Scrum

Tabla 8. Roles Scrum del proyecto

<i>Rol Scrum</i>	<i>Responsable</i>	<i>Funciones desarrolladas</i>
Product Owner	Ing. Paul González	Orientación de los requerimientos, revisión de la utilidad de la propuesta, priorizar las necesidades y validar que el sistema responda al contexto agrícola
Scrum Master	Daniel Alexander Pérez Cedeño	Organizar los sprints, controlar el avance, identificar los obstáculos y asegurar el cumplimiento de las actividades planificadas.
Equipo de desarrollo	Daniel Alexander Pérez Cedeño	Analizar, diseñar, programar, integrar y probar los módulos de la aplicación móvil.

4.4.3 Eventos Scrum

Tabla 9. Eventos Scrum aplicados en el proyecto.

<i>Evento Scrum</i>	<i>Aplicación en el proyecto</i>
Sprint Planning	Se definieron el objetivo, las historias de usuario y las tareas de cada sprint correspondiente.
Daily Scrum	Se realizó un seguimiento personal de las actividades terminadas, pendientes y las dificultades.
Revisión del Sprint (Sprint Review)	Se comprobó el funcionamiento del incremento desarrollado.
Sprint Retrospective	Se analizaron los errores y las mejoras para el siguiente sprint.

4.4.4 Product Backlog (Pila del Producto)

Tabla 10. Product Backlog del Sistema Cacao.

Id	Requisito	Descripción	Prioridad
PB-01	Gestión de usuarios	Registro de datos, el inicio de sesión y editar su perfil	Alta
PB-02	Panel principal de la interfaz móvil	Acceso a los módulos del sistema	Alta
PB-03	Cámara móvil y captura de imágenes	Captura, enfoque y zoom de las imágenes	Media
PB-04	Análisis con inteligencia artificial	La detección de plagas, monilia y salud vegetal.	Alta
PB-05	Diagnóstico y sus recomendaciones	Integración de los resultados y las sugerencias	Alta
PB-06	Chatbot fitosanitario	Consultas relacionadas con el cultivo de <i>Theobroma cacao</i>	Media
PB-07	Historial y detalle	Almacenamiento y su consulta del análisis	Alta
PB-08	Reportes y el formato PDF	Estadísticas y la generación de un informe en formato PDF.	Media
PB-09	Almacenamiento y su sincronización	SQLite, Supabase y el funcionamiento sin conexión	Alta
PB-10	Pruebas y despliegue	Validación general y la generación del APK de la aplicación	Alta

4.4.5 Planificación general de los sprints

Tabla 11. Planificación general de los sprints.

<i>Sprint</i>	<i>Nombre</i>	<i>Objetivo principal</i>	<i>Incremento obtenido</i>
Sprint 1	Gestión de los usuarios	Implementar el registro, inicio de sesión, su perfil y el panel principal	El acceso seguro y la navegación entre módulos correctamente.
Sprint 2	Cámara móvil y su análisis con inteligencia artificial	Integrar la captura de las imágenes y los tres modelos de inteligencia artificial.	La detección de las plagas, monilia y la salud vegetal del fruto.
Sprint 3	Chatbot fitosanitario	Implementar las consultas y las recomendaciones relacionadas con el <i>Theobroma cacao</i>	El asistente virtual funcionando correctamente
Sprint 4	Historial, reportes y formato PDF.	Guardar, consultar y presentar los resultados obtenidos de los análisis	El historial, las estadísticas correspondientes y los informes en formato PDF.
Sprint 5	Sincronización y despliegue	Integrar el SQLite, Supabase, las pruebas finales y la generación correcta del APK.	Aplicación final instalada y sincronizada sin ningún error.

4.5 Desarrollo del sistema mediante sprints

4.5.1 Sprint 1: autenticación y gestión del usuario

4.5.1.1 Objetivo del sprint

Su objetivo fue implementar los módulos iniciales de la gestión de los usuarios y la navegación principal de la aplicación móvil. Durante este sprint se desarrollaron las funciones de registro, inicio de sesión, validación de datos, la recuperación de contraseña, personalización de la fotografía de perfil y el acceso correcto al panel principal del sistema.

4.5.1.2 Historias de usuario del Sprint 1

4.5.1.2.1 Historia de usuario HU-01: Registro e inicio de sesión

Tabla 12. Historia de usuario HU-01: registro e inicio de sesión.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-01	Título:	Registro e inicio de sesión
Prioridad:	Alta	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario del sistema		
Quiero:	Registrarme e iniciar sesión mediante mi número de cédula y contraseña		
Para:	Acceder de forma segura a las funcionalidades de la aplicación		
Criterios de aceptación:	El sistema validó los datos, guardó al usuario en SQLite y permitió el acceso mediante las credenciales correctas		

4.5.1.2.2 Historia de usuario HU-02: Perfil y panel principal

Tabla 13. Historia de usuario HU-02: gestión del perfil y panel principal.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-02	Título:	Gestión del perfil y su navegación
Prioridad:	Media	Usuario:	Usuario autenticado
Como:	Usuario registrado		
Quiero:	Visualizar mis datos, seleccionar una fotografía de mi galería y acceder a los módulos		
Para:	Personalizar mi perfil y utilizar las funciones principales		
Criterios de aceptación:	El sistema debe mostrar los datos del usuario, permitir gestionar la foto de perfil seleccionada y abrir los módulos desde el panel principal.		

4.5.1.3 Sprint Backlog

Tabla 14. Sprint Backlog del Sprint 1.

ID	Tarea	Estado
SB-01	Diseñar las pantallas de registro e inicio de sesión	Completado
SB-02	Implementar las validaciones de los datos personales	Completado

<i>ID</i>	<i>Tarea</i>	<i>Estado</i>
SB-03	Guardar la información del usuario en la base de datos SQLite	Completado
SB-04	Implementar la recuperación de la contraseña	Completado
SB-05	Diseñar el panel principal de navegación	Completado
SB-06	Incorporar la gestión de la fotografía de perfil	Completado

4.5.1.4 Sprint Review

Tabla 15. Sprint Review del Sprint 1.

<i>Funcionalidad evaluada</i>	<i>Resultado</i>	<i>Estado</i>
Registro del usuario	Los datos se almacenaron correctamente en SQLite	Aprobado
Inicio de sesión	El usuario accedió mediante credenciales válidas y correctas	Aprobado
Recuperación de la contraseña	Se permitió modificar la contraseña correctamente	Aprobado
Perfil de usuario	Se mostró y se actualizó la fotografía de perfil	Aprobado
Panel principal	Los botones permitieron acceder a los módulos	Aprobado

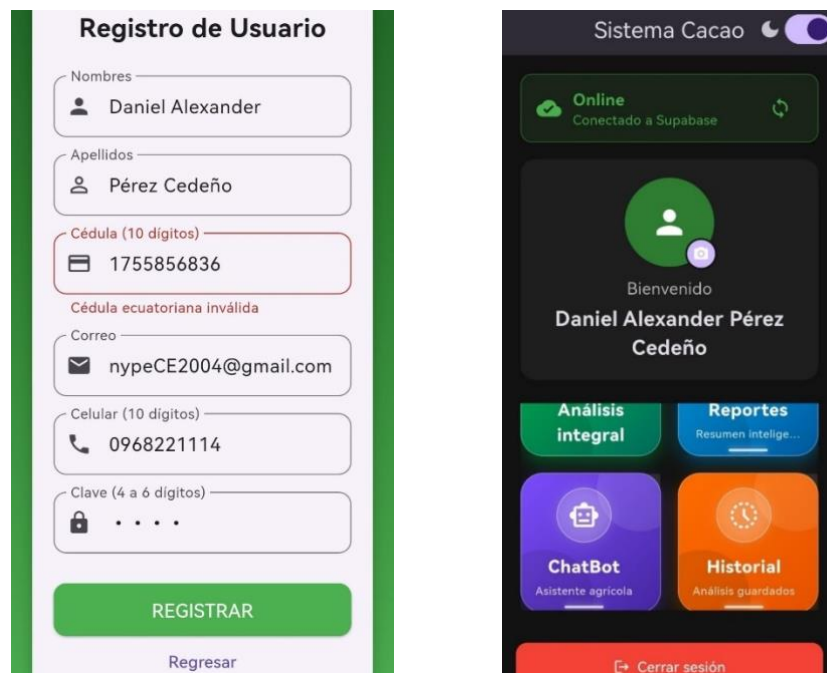
4.5.1.5 Sprint Retrospective

Tabla 16. Sprint Retrospective del Sprint 1.

<i>Aspecto evaluado</i>	<i>Resultado</i>
¿Qué funcionó bien?	El registro, inicio de sesión, recuperación de contraseña y la navegación principal funcionaron correctamente
¿Qué dificultades se presentaron?	Se encontraron errores en validaciones, conexión con SQLite y envío del usuario al panel principal
¿Cómo se solucionaron?	Se corrigieron los modelos, parámetros, dependencias y reglas de validación
¿Qué se mejorará en el siguiente sprint?	Se realizaron pruebas individuales de la cámara y de cada modelo de inteligencia artificial antes de integrarlos.

4.5.1.6 Evidencias del Sprint 1

Ilustración 2. autenticación y gestión del usuario.



4.5.2 Sprint 2: captura y análisis integral de imágenes

4.5.2.1 Objetivo del Sprint

Implementar el módulo principal de la aplicación móvil, encargado de la captura de las imágenes del cultivo de *Theobroma cacao* y analizarlas mediante tres modelos de inteligencia artificial para identificar las plagas, la monilia y las condiciones de salud vegetal.

4.5.2.2 Historia de usuario del Sprint 2

4.5.2.2.1 Historia de usuario HU-03: Captura de imágenes del cultivo de *Theobroma cacao*

Tabla 17. Historia de usuario HU-03: captura de imágenes del cultivo de cacao.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-03	Título:	Captura de imágenes del cultivo de <i>Theobroma cacao</i>
Prioridad:	Alta	Usuario:	Usuario de la aplicación

Como:	Usuario encargado del monitoreo del cultivo de <i>Theobroma cacao</i>
Quiero:	Capturar una fotografía de una hoja, fruto, mazorca o plaga mediante la cámara del dispositivo móvil.
Para:	Obtener una imagen clara que pueda ser procesada por los modelos de inteligencia artificial.
Criterios de aceptación:	La aplicación abrió la cámara trasera, permitió enfocar mediante un toque, utilizar el zoom y guardar correctamente la fotografía capturada.

4.5.2.2.2 Historia de usuario HU-04: Análisis integral mediante inteligencia artificial

Tabla 18. Historia de usuario HU-04: análisis integral mediante inteligencia artificial.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-04	Título:	Análisis integral mediante inteligencia artificial
Prioridad:	Alta	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario encargado del monitoreo fitosanitario del <i>Theobroma cacao</i>		
Quiero:	Conocer la anomalía detectada, el porcentaje de confianza, el diagnóstico y las recomendaciones correspondientes		
Para:	Obtener un diagnóstico de las anomalías, mostrar la clase y el porcentaje de confianza, y guardar los resultados en SQLite.		
Criterios de aceptación:	El sistema debe validar los datos, guardar al usuario en SQLite y permitir el acceso con las credenciales correctas		

4.5.2.3 Sprint Backlog

Tabla 19. Sprint Backlog del Sprint 2.

ID	Tarea	Estado
SB-07	Integrar la cámara trasera del dispositivo	Completado
SB-08	Implementar enfoque táctil y control de zoom	Completado
SB-09	Ejecutar el modelo de detección de plagas	Completado
SB-10	Ejecutar el modelo de detección de monilia	Completado
SB-11	Ejecutar el modelo de la salud vegetal	Completado
SB-12	Mostrar confianza, diagnóstico y recomendaciones	Completado
SB-13	Guardar imagen y resultados en SQLite	Completado

4.5.2.4 Sprint Review

Tabla 20. Sprint Review del Sprint 2

<i>Funcionalidad evaluada</i>	<i>Resultado obtenido</i>	<i>Estado</i>
Apertura de la cámara	La cámara trasera se inició correctamente	Aprobado
Enfoque táctil	El enfoque respondió al tocar la pantalla	Aprobado
Control de zoom	El usuario pudo acercar y alejar la imagen	Aprobado
Captura de fotografía	La imagen fue guardada correctamente	Aprobado
IA de plagas	Se mostró la clase y el nivel de confianza	Aprobado
IA de monilia	Se presentó el resultado del análisis	Aprobado
IA de salud vegetal	Se identificó la condición vegetal	Aprobado
Guardado del análisis	Los resultados fueron almacenados en SQLite	Aprobado

4.5.2.5 Evaluación técnica de los modelos de inteligencia artificial

Para evaluar el desempeño de los modelos de inteligencia artificial del Sistema Cacao, se realizó una validación mediante imágenes previamente etiquetadas. Se consideraron métricas como exactitud, precisión, sensibilidad y F1-score para determinar el nivel de acierto en la detección de monilia y salud vegetal.

Tabla 21. Métricas de evaluación de los modelos de inteligencia artificial

Modelo / clase evaluada	Exactitud (Accuracy)	Precisión	Sensibilidad (Recall)	F1-score
Clase Monilia	No reportado	76,92%	77,78%	77,35%
Salud vegetal	81,09%	81,01%	81,09%	81,03%

Nota: Los resultados de salud vegetal corresponden al desempeño global del modelo utilizando el promedio ponderado (weighted average). Para la clase Monilia se reportaron las métricas específicas de precisión, sensibilidad y F1-score, mientras que no se dispuso de una exactitud individual.

El modelo de inteligencia artificial presentó una sensibilidad del 77,78% para la detección de Monilia, indicando su capacidad para identificar correctamente los casos reales correspondientes a esta categoría. Por su parte, el modelo de salud vegetal alcanzó una exactitud global del 81,09%, una precisión ponderada del 81,01%, un recall del 81,09% y un F1-score del 81,03%. Estos resultados permiten cuantificar técnicamente el desempeño de los modelos de inteligencia artificial integrados en el Sistema Cacao y evidenciar su capacidad de apoyo en la identificación de Monilia y en la evaluación del estado de salud vegetal.

4.5.2.6 Sprint Retrospective

Tabla 22. Sprint Retrospective del Sprint 2.

<i>Aspecto evaluado</i>	<i>Resultado</i>
¿Qué funcionó bien?	La cámara, el análisis integral y la visualización de resultados funcionaron correctamente
¿Qué dificultades se presentaron?	Se produjeron errores de permisos, dependencias y almacenamiento de salud vegetal
¿Cómo se solucionaron?	Se configuró el manifiesto de Android, se actualizaron las dependencias y se modificó la base SQLite
¿Qué se mejoró en el siguiente sprint?	Se optimizó la presentación de recomendaciones y la integración del chatbot.

4.5.2.7 Evidencias del Sprint 2

Ilustración 3. captura y análisis integral de imágenes.



4.5.3 Sprint 3: chatbot de asistencia fitosanitaria

4.5.3.1 Objetivo del sprint

Implementar un chatbot capaz de responder consultas relacionadas con el cultivo de *Theobroma cacao*, sus plagas, sus enfermedades, condiciones de salud vegetal y recomendaciones básicas del manejo fitosanitario.

4.5.3.2 Historia de usuario del Sprint 3

4.5.3.2.1 Historia de usuario HU-05: Consulta fitosanitaria mediante chatbot

Tabla 23. Historia de usuario HU-05: consulta fitosanitaria mediante chatbot.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-05	Título:	Consulta fitosanitaria mediante chatbot
Prioridad:	Media	Usuario:	Usuario de la aplicación

Como:	Usuario encargado del monitoreo del cultivo de <i>Theobroma cacao</i>
Quiero:	Realizar preguntas relacionadas con las plagas, enfermedades y el manejo del <i>Theobroma cacao</i>
Para:	Obtener orientación inmediata que apoye la toma de decisiones fitosanitarias
Criterios de aceptación:	El chatbot debe recibir la consulta, generar una respuesta relacionada con el <i>Theobroma cacao</i> y mostrarla dentro de la aplicación móvil.

4.5.3.2.2 Historia de usuario HU-06: Generación de recomendaciones técnicas

Tabla 24. Historia de usuario HU-06: generación de recomendaciones técnicas.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-06	Título:	Generación de recomendaciones técnicas
Prioridad:	Media	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario que necesita saber sobre el cultivo de <i>Theobroma cacao</i>		
Quiero:	Recibir recomendaciones claras y comprensibles		
Para:	Conocer posibles acciones frente a plagas, la monilia o alteraciones de la salud vegetal		
Criterios de aceptación:	El sistema debe presentar recomendaciones coherentes, legibles y relacionadas con la consulta realizada		

4.5.3.3 Sprint Backlog

Tabla 25. Sprint Backlog del Sprint 3.

ID	Tarea	Estado
SB-14	Diseñar la interfaz del chatbot	Completado
SB-15	Implementar el campo de entrada de preguntas	Completado
SB-16	Conectar Flutter con el servicio del chatbot	Completado
SB-17	Procesar las consultas relacionadas con <i>Theobroma cacao</i>	Completado
SB-18	Mostrar las respuestas y las recomendaciones	Completado
SB-19	Validar los mensajes vacíos o fuera de contexto	Completado

4.5.3.4 Sprint Review

Tabla 26. Sprint Review del Sprint 3.

<i>Funcionalidad evaluada</i>	<i>Resultado obtenido</i>	<i>Estado</i>
Interfaz del chatbot	Se mostró correctamente en la aplicación móvil	Aprobado
Envío de preguntas	La consulta fue procesada	Aprobado
Respuesta fitosanitaria	Se generó una respuesta relacionada con el <i>Theobroma cacao</i>	Aprobado
Validación de mensajes vacíos	Se impidió el envío sin contenido	Aprobado
Presentación de las recomendaciones	La información fue visible y comprensible	Aprobado
Manejo de los errores	Se mostró un mensaje cuando no fue posible responder	Aprobado

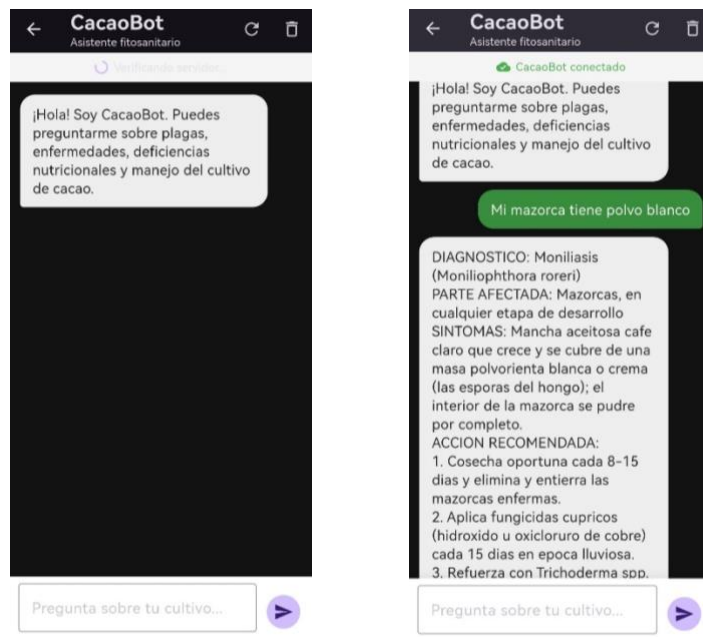
4.5.3.5 Sprint Retrospective

Tabla 27. Sprint Retrospective del Sprint 3.

<i>Aspecto evaluado</i>	<i>Resultado</i>
¿Qué funcionó bien?	La interfaz, el envío de preguntas y la visualización de las respuestas
¿Qué dificultades se presentaron?	Problemas de conexión con el servicio y los tiempos de espera en algunas consultas
¿Cómo se solucionaron?	Se ajustó la comunicación con el servicio y se agregaron mensajes de carga y error.
¿Qué se mejorará en el siguiente sprint?	Se organizará la información generada mediante el historial, los reportes y los documentos PDF.

4.5.3.6 Evidencias del Sprint 3

Ilustración 4. chatbot de asistencia fitosanitaria.



4.5.4 Sprint 4: historial, reportes y generación de pdf

4.5.4.1 Objetivo del Sprint

Implementar los módulos encargados de almacenar, consultar y presentar los resultados de los análisis realizados, así como la generación de los informes en formato PDF para conservar la evidencia del diagnóstico.

4.5.4.2 Historia de usuario del Sprint 4

4.5.4.2.1 Historia de usuario HU-07: Consulta del historial de análisis

Tabla 28. Historia de usuario HU-07: consulta del historial de análisis.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-07	Título:	Consulta del historial de análisis
Prioridad:	Alta	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario que realiza análisis del cultivo de <i>Theobroma cacao</i>		
Quiero:	Consultar los análisis guardados anteriormente		

Para:	Revisar la imagen, los resultados de las inteligencias artificiales, el diagnóstico y las recomendaciones
Criterios de aceptación:	El sistema debe mostrar los registros almacenados, permitiendo abrir su detalle y presentar la información correspondiente a las plagas, la monilia y la salud vegetal

4.5.4.2.2 Historia de usuario HU-08: Generación de reportes e informes PDF

Tabla 29. Historia de usuario HU-08: generación de reportes e informes PDF.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-08	Título:	Generación de reportes e informes PDF
Prioridad:	Media	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario encargado del seguimiento fitosanitario		
Quiero:	Visualizar reportes estadísticos y generar un informe PDF		
Para:	Mantener un respaldo de los resultados y facilitar una revisión posterior		
Criterios de aceptación:	El sistema debe mostrar el resumen de análisis, plagas, monilia, salud vegetal y PDF generados, además de crear y abrir correctamente el informe.		

4.5.4.3 Sprint Backlog

Tabla 30. Sprint Backlog del Sprint 4.

ID	Tarea	Estado
SB-20	Crear la tabla de historial en SQLite	Completado
SB-21	Guardar imagen, resultados y recomendaciones	Completado
SB-22	Diseñar la pantalla de historial	Completado
SB-23	Mostrar el detalle de cada análisis	Completado
SB-24	Implementar eliminación de registros	Completado
SB-25	Diseñar el módulo de reportes	Completado
SB-26	Calcular los indicadores del historial	Completado
SB-27	Generar y abrir el informe PDF	Completado

4.5.4.4 Sprint Review

Tabla 31. Sprint Review del Sprint 4.

<i>Funcionalidad evaluada</i>	<i>Resultado obtenido</i>	<i>Estado</i>
Guardado del análisis	La información se almacenó correctamente en SQLite	Aprobado
Consulta del historial	Los registros fueron presentados en orden cronológico	Aprobado
Detalle del análisis	Se mostraron los resultados de las tres IA	Aprobado
Eliminación de registros	Los análisis pudieron eliminarse correctamente	Aprobado
Reportes estadísticos	Los indicadores se actualizaron con datos reales	Aprobado
Generación del PDF	El archivo fue creado, guardado y abierto	Aprobado

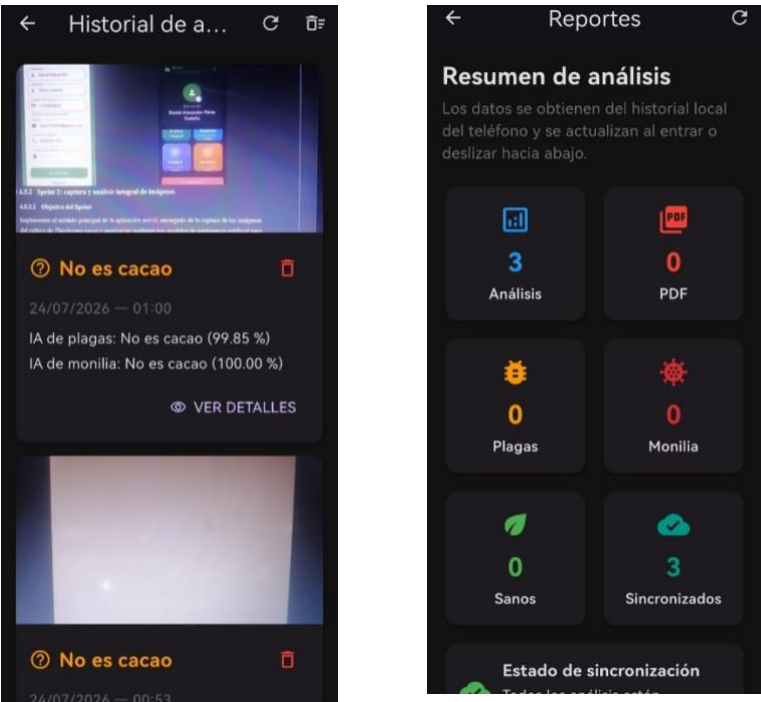
4.5.4.5 Sprint Retrospective

Tabla 32. Sprint Retrospective del Sprint 4.

<i>Aspecto evaluado</i>	<i>Resultado</i>
¿Qué funcionó bien?	El almacenamiento del historial, la consulta de los resultados y la generación de PDF
¿Qué dificultades se presentaron?	Los reportes inicialmente mostraban valores fijos y de salud vegetal no se almacenaba de forma independiente
¿Cómo se solucionaron?	Se conectaron los reportes con SQLite y se agregaron los campos de clase y confianza de salud vegetal
¿Qué se mejorará en el siguiente sprint?	Se fortalecerá la sincronización con Supabase, las pruebas generales y el despliegue de la aplicación

4.5.4.6 Evidencias del Sprint 4

Ilustración 5. historial y reportes



4.5.5 Sprint 5: sincronización, pruebas y despliegue

4.5.5.1 Objetivo del sprint

Integrar el almacenamiento local con Supabase, comprobar el funcionamiento general de la aplicación y generar una versión instalable en formato APK

4.5.5.2 Historia de usuario del Sprint 5

4.5.5.2.1 Historia de usuario HU-09: Sincronización de análisis en la nube

Tabla 33. Historia de usuario HU-09: sincronización de análisis en la nube.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-09	Título:	Sincronización de análisis en la nube
Prioridad:	Alta	Usuario:	Usuario de la aplicación
Como:	Usuario que realiza análisis del cultivo de <i>Theobroma cacao</i>		
Quiero:	Sincronizar los análisis, las imágenes y los documentos PDF con Supabase		

Para:	Mantener un respaldo de la información y evitar la pérdida de los registros
Criterios de aceptación:	El sistema debe almacenar primero los registros en SQLite y sincronizarlos con Supabase cuando exista conexión a Internet.

4.5.5.2.2 Historia de usuario HU-10: Pruebas finales y generación del APK

Tabla 34. Historia de usuario HU-10: pruebas finales y generación del APK.

HISTORIA DE USUARIO			
Id de historia:	HU-10	Título:	Pruebas finales y generación del APK
Prioridad:	Alta	Usuario:	Desarrollador y usuarios evaluadores
Como:	Desarrollador del sistema		
Quiero:	Probar todos los módulos y generar una versión instalable		
Para:	Verificar la estabilidad del sistema y permitir su instalación en dispositivos Android		
Criterios de aceptación:	La aplicación debe ejecutar correctamente los módulos principales y generar un archivo APK en modo release.		

4.5.5.3 Sprint Backlog

Tabla 35. Sprint Backlog del Sprint 5.

<i>ID</i>	<i>Tarea</i>	<i>Estado</i>
SB-28	Configurar Supabase en la aplicación	Completado
SB-29	Sincronizar los registros de SQLite	Completado
SB-30	Subir imágenes y documentos PDF	Completado
SB-31	Controlar registros pendientes o con error	Completado
SB-32	Probar el funcionamiento sin conexión	Completado
SB-33	Ejecutar pruebas generales de los módulos	Completado
SB-34	Corregir errores de compilación	Completado
SB-35	Generar el archivo APK en modo release	Completado

4.5.5.4 Sprint Review

Tabla 36. Sprint Review del Sprint 5.

<i>Funcionalidad evaluada</i>	<i>Resultado obtenido</i>	<i>Estado</i>
Almacenamiento local	Los análisis se guardaron en SQLite	Aprobado
Funcionamiento sin internet	Los registros permanecieron pendientes	Aprobado
Sincronización con Supabase	Los datos fueron enviados al recuperar la conexión	Aprobado
Carga de imágenes	Las fotografías fueron almacenadas en Supabase Storage	Aprobado
Carga de PDF	Los informes fueron almacenados correctamente	Aprobado
Pruebas generales	Los módulos principales funcionaron de manera integrada	Aprobado
Generación del APK	Se creó correctamente el archivo instalable	Aprobado

4.5.5.5 Sprint Retrospective

Tabla 37. Sprint Retrospective del Sprint 5.

<i>Aspecto evaluado</i>	<i>Resultado</i>
¿Qué funcionó bien?	El almacenamiento local, la sincronización, las pruebas generales y la generación del APK
¿Qué dificultades se presentaron?	Se encontraron errores en Gradle, AndroidManifest, dependencias y compatibilidad entre paquetes
¿Cómo se solucionaron?	Se corrigió el manifiesto, se actualizaron dependencias y se realizaron compilaciones de prueba.
¿Qué mejoras futuras se consideran?	Publicar la aplicación, optimizar el tamaño del APK y ampliar el conjunto de modelos de inteligencia artificial

4.5.5.6 Evidencias del Sprint 5

Ilustración 6. Descarga del APK y aplicación en otro dispositivo

sistema_cacao > build > app > outputs > flutter-apk

Nombre

Fecha de modificación

Tipo

app-release.apk

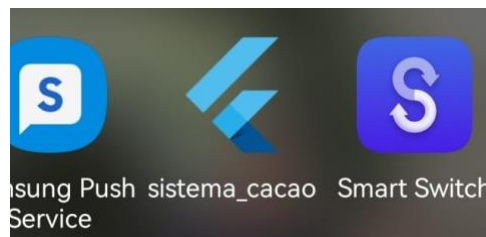
24/7/2026 0:36

Archivo APK

app-release.apk.sha1

24/7/2026 0:36

Archivo SHA1



4.6 Arquitectura del sistema

La aplicación móvil denominada Sistema Cacao fue desarrollada mediante una arquitectura modular que integra la interfaz de usuario, la cámara, modelos de inteligencia artificial, el almacenamiento local y los servidores en la nube. Flutter y Dart se utilizaron para elaborar las pantallas y controlar la navegación entre los diferentes módulos.



Las imágenes capturadas mediante el uso de la cámara son procesadas por tres modelos de inteligencia artificial especializados en plagas, monilia y salud vegetal. Los resultados obtenidos se almacenan inicialmente en SQLite y posteriormente pueden sincronizarse con Supabase cuando exista conexión a internet.

4.7 Diseño de las bases de datos SQLite y Supabase

4.7.1 Base de datos local SQLite

Esta aplicación utiliza SQLite como base de datos local para almacenar la información de los usuarios y los análisis realizados. En esta base se conservan los datos de autenticación, las rutas de las imágenes, los resultados obtenidos por los modelos de inteligencia artificial, los porcentajes de confianza, el diagnóstico, las recomendaciones y la ubicación de los archivos PDF.

Ilustración 7. Creación de las tablas para usuarios e historial_analisis

```
Future<void> _crearTablaUsuarios(Database db) async {  
  await db.execute('''  
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS usuarios(  
      id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,  
      nombres TEXT NOT NULL,  
      apellidos TEXT NOT NULL,  
      cedula TEXT NOT NULL UNIQUE,  
      correo TEXT NOT NULL,  
      celular TEXT NOT NULL,  
      clave TEXT NOT NULL  
    )  
  ''');  
}
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS historial_analisis(  
  id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,  
  
  uuid_local TEXT NOT NULL UNIQUE,  
  
  ruta_imagen TEXT NOT NULL,  
  
  clase_plagas TEXT NOT NULL,  
  confianza_plagas REAL NOT NULL,  
  
  clase_monilia TEXT NOT NULL,  
  confianza_monilia REAL NOT NULL,  
  
  clase_salud_vegetal TEXT NOT NULL DEFAULT '',  
  confianza_salud_vegetal REAL NOT NULL DEFAULT 0,
```

4.7.2 Base de datos remota Supabase

Supabase fue utilizado como plataforma de almacenamiento remoto y de sincronización de la información. La tabla denominada *analisis_cacao* almacenó los resultados generados por la aplicación, mientras que Supabase Storage almacenó las fotografías capturadas y los informes en formato PDF. Cuando el dispositivo móvil recupere la conexión a internet, los registros pendientes guardados en SQLite se sincronizan automáticamente con la nube lo que permite mantener un respaldo de los análisis realizados.

Tabla 38. Especificación técnica de la tabla analisis_cacao

<i>Campo</i>	<i>Tipo de dato</i>	<i>Restricción</i>	<i>Descripción</i>
id	uuid	Clave primaria	Identificador único generado por Supabase
Uuid_local	text	Único	Identificador compartido con SQLite para evitar registros duplicados
Usuario_cedula	text	No nulo	Cédula del usuario que realizó el análisis
clase_plagas	text	No nulo	Clase identificada por el modelo de plagas
Confianza_plagas	Double precision	No nulo	Porcentaje de confianza del modelo de plagas
Clase_monilia	text	No nulo	Clase identificada por el modelo de monilia.
Confianza_monilia	Double precision	No nulo	Porcentaje de confianza del modelo de monilia
Clase_salud_vegetal	text	No nulo	Resultado obtenido por el modelo de salud vegetal
Confianza_salud_vegetal	Double precision	No nulo	Porcentaje de confianza del modelo de salud vegetal
diagnostico	text	No nulo	Diagnóstico general generado por la aplicación
recomendaciones	text	No nulo	Recomendaciones asociadas con el resultado del análisis
url_imagen	text	No nulo	Ruta de la imagen guardada en Supabase Storage
url_pdf	text	Puede ser nulo	Ruta del informe PDF almacenado en Supabase Storage
Fecha_analisis	timestamp	No nulo	Fecha y hora en que se realizó el análisis

Fecha_sincronizacion	timestamp	No nulo	Fecha y hora en la que la información se sincronizó con Supabase
----------------------	-----------	---------	--

La integridad referencial entre las bases de datos SQLite y Supabase se gestiona desde su lógica de la aplicación, debido a que ambas bases de datos se encuentran en entornos diferentes y no pueden utilizar una clave foránea directa. Cada análisis guardado en la base de datos SQLite recibe un valor único en el campo *uuid_local*, el cual también se envía a la tabla *analisis_cacao* de la base de datos Supabase para identificar el mismo registro y evitar duplicaciones.

El campo *estado_sincronizacion* registra el estado del proceso de sincronización mediante los siguientes valores: **0 pendiente**, **1 sincronizado**, **2 sincronizando** y **3 error**. Cuando Supabase confirma el almacenamiento, SQLite registra el *id_remoto*, las direcciones remotas de la imagen y del PDF, y la *fecha_sincronizacion*. Si ocurre un error o no existe la conexión a internet, el análisis permanece almacenado localmente para ser sincronizado posteriormente.

Ilustración 8. Creación de la tabla analisis_cacao en Supabase

Sistema Cacao ULEAM

Free

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

1281

1282

1283

1284

1285

1286

1287

1288

1289

1290

1291

1292

1293

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304

1305

1306

1307

1308

1309

1310

1311

1312

1313

1314

1315

1316

1317

1318

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1335

1336

1337

1338

1339

1340

1341

1342

1343

1344

1345

1346

1347

1348

1349

1350

1351

1352

1353

1354

1355

1356

1357

1358

1359

1360

1361

1362

1363

1364

1365

1366

1367

1368

1369

1370

1371

1372

1373

1374

1375

1376

1377

1378

1379

1380

1381

1382

1383

1384

1385

1386

1387

1388

1389

1390

1391

1392

1393

1394

1395

1396

1397

1398

1399

1400

1401

1402

1403

1404

1405

1406

1407

1408

1409

1410

1411

1412

1413

1414

1415

1416

1417

1418

1419

1420

1421

1422

1423

1424

1425

1426

1427

1428

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

1443

1444

1445

1446

1447

1448

1449

1450

1451

1452

1453

1454

1455

1456

1457

1458

1459

1460

1461

1462

1463

1464

1465

1466

1467

1468

1469

1470

1471

1472

1473

1474

1475

1476

1477

1478

1479

1480

1481

1482

1483

1484

1485

1486

1487

1488

1489

1490

1491

1492

1493

1494

1495

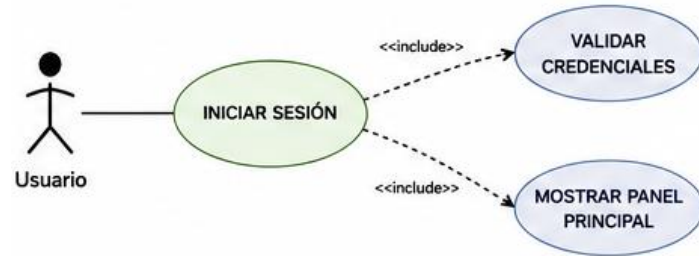
1496

1497

4.8 Casos de uso del sistema

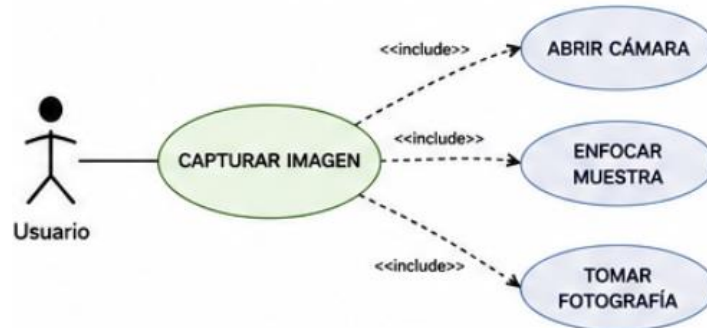
4.8.1 Caso de uso: Iniciar sesión

Ilustración 9. Caso de uso: Iniciar sesión



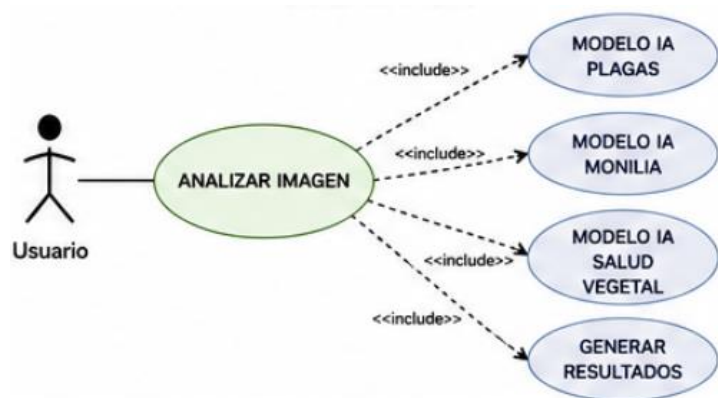
4.8.2 Caso de uso: Capturar imagen

Ilustración 10. Caso de uso: Capturar imagen



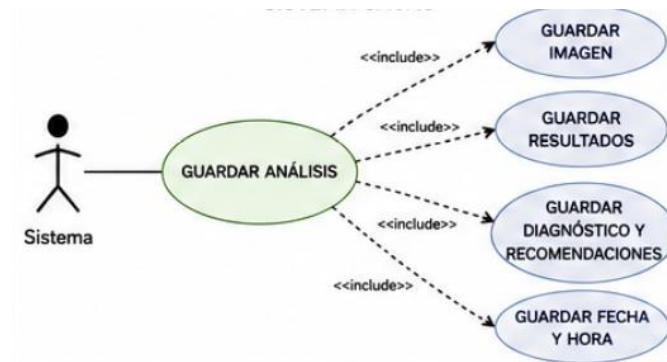
4.8.3 Caso de uso: Analizar imagen

Ilustración 11. Caso de uso: Analizar imagen



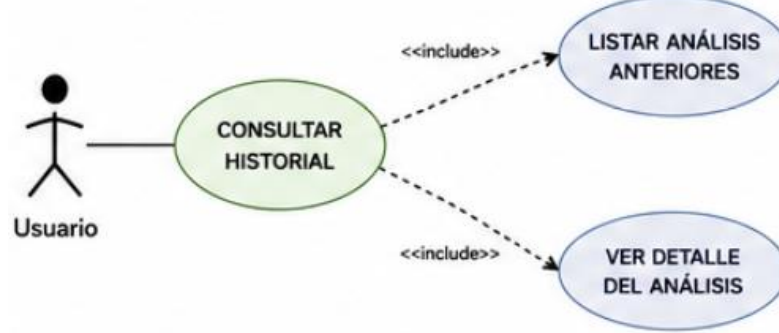
4.8.4 Caso de uso: Guardar análisis

Ilustración 12. Caso de uso: Guardar análisis



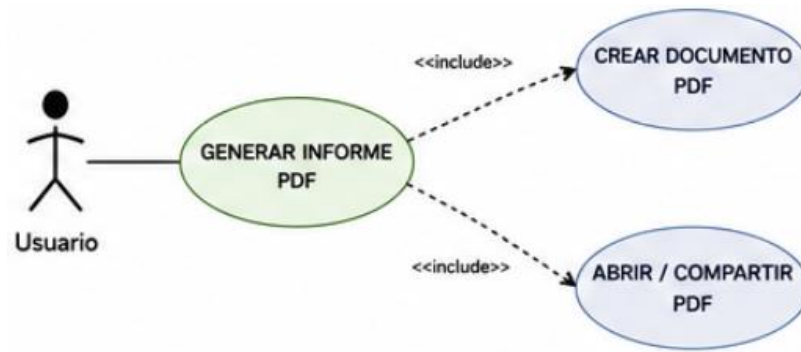
4.8.5 Caso de uso: Consultar historial

Ilustración 13. Caso de uso: Consultar historial



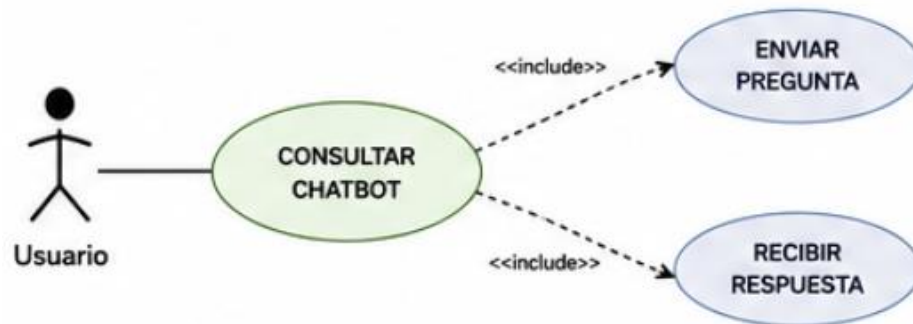
4.8.6 Caso de uso: Generar informe PDF

Ilustración 14. Caso de uso: Generar informe PDF



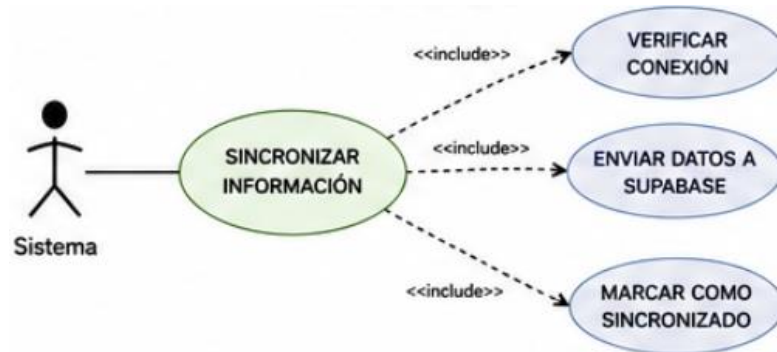
4.8.7 Caso de uso: Consultar chatbot

Ilustración 15. Caso de uso: Consultar chatbot



4.8.8 Caso de uso: Sincronizar información

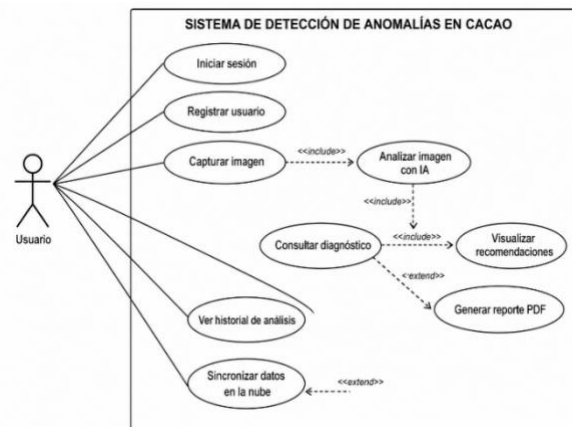
Ilustración 16. Caso de uso: Sincronizar información



4.9 Diagrama del sistema

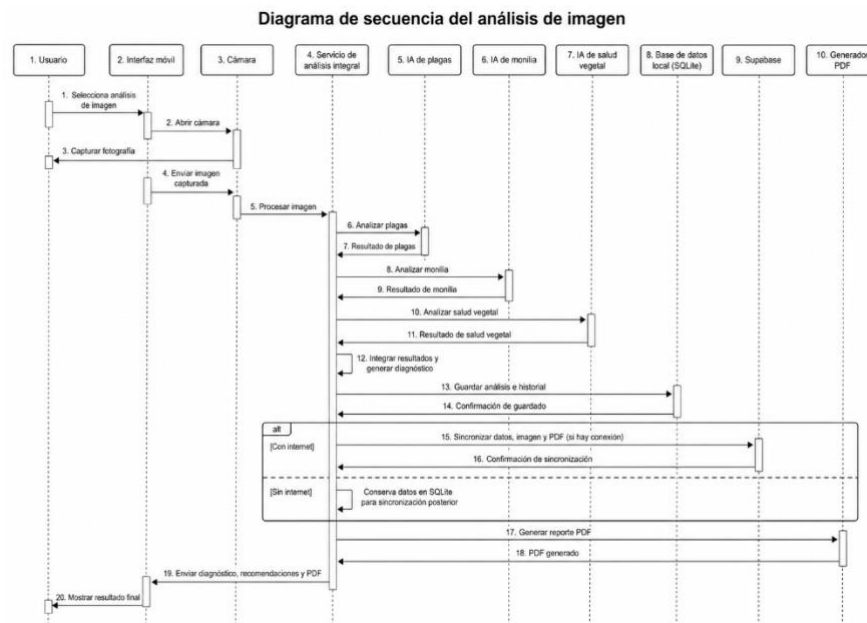
4.9.1 Diagrama general de casos de uso

Ilustración 17. Diagrama general de casos de uso



4.9.2 Diagrama de secuencia del análisis de imagen

Ilustración 18. Diagrama de secuencia del análisis de imagen



4.10 Resultado final de la propuesta

Como resultado final se obtuvo una aplicación móvil denominada **Sistema Cacao**, desarrollada como apoyo para la detección de anomalías presentes en hojas y mazorcas de *Theobroma cacao*. La aplicación integra modelos de inteligencia artificial para identificar plagas, monilia y alteraciones relacionadas con la salud vegetal, mostrando al usuario el resultado obtenido, el porcentaje de confianza, el diagnóstico y las recomendaciones correspondientes.

La información generada durante los análisis se almacena localmente mediante SQLite, lo que nos permite que la aplicación continúe funcionando sin conexión a Internet. Cuando existe conectividad, los datos, las imágenes y documentos pueden sincronizarse con Supabase lo que proporciona un respaldo remoto a la información.

CAPÍTULO V

5 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Introducción

En este presente capítulo vamos a exponer la evaluación de los resultados obtenidos luego del desarrollo e implementación del sistema informático con procesamiento de imágenes para la detección de anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen. Esta etapa es importante ya que nos permite verificar el grado de cumplimiento de los objetivos planteados, así como analizar el desempeño funcional del sistema frente a las necesidades detectadas durante el estudio.

La evaluación de resultados investiga la comprobación del sistema desarrollado si responde adecuadamente al problema investigado, especialmente en relación con la carga, el procesamiento y el análisis de las imágenes del cultivo. De esta manera, se consigue información objetiva sobre la utilidad del software como una herramienta de apoyo para el monitoreo fitosanitario y la detección temprana de las posibles anomalías que se encuentran.

5.2 Planificación de la evaluación

La evaluación del sistema se realizó mediante la implementación de pruebas funcionales orientadas para verificar que los módulos desarrollados cumplieran correctamente con las actividades establecidas. Se revisó el acceso de los usuarios, la captura de las imágenes, la ejecución de los modelos de inteligencia artificial, la presentación de los resultados, el almacenamiento del historial, la generación de documentos en formato PDF y la sincronización con Supabase.

Los criterios utilizados para su evaluación fueron los siguientes:

- Funcionamiento correcto de los módulos.
- Claridad de los resultados.
- Almacenamiento de la información.

- Funcionamiento sin conexión.
- Sincronización de datos.
- Generación de reportes.

5.3 Resultados de las pruebas funcionales

Las pruebas funcionales se realizaron para comprobar el comportamiento de los principales módulos del Sistema Cacao. Para cada prueba se comparó el resultado esperado con el resultado obtenido durante la ejecución de la aplicación.

Tabla 39. Resultados de las pruebas funcionales del Sistema Cacao

Código	Funcionalidad evaluada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado
PF-01	Registro de usuario	Registrar correctamente los datos válidos	El usuario fue registrado correctamente	Aprobado
PF-02	Inicio de sesión	Permitir el acceso con credenciales válidas	Se accedió al panel principal	Aprobado
PF-03	Panel principal	Mostrar y permitir el acceso a los módulos	Los módulos se mostraron correctamente	Aprobado
PF-04	Captura de imagen	Abrir la cámara y capturar la fotografía	La imagen fue capturada correctamente	Aprobado
PF-05	Análisis con IA	Ejecutar los modelos de plagas, monilia y salud vegetal	Los tres modelos generaron resultados	Aprobado
PF-06	Diagnóstico	Mostrar resultados, confianza y recomendaciones	La información fue presentada correctamente	Aprobado
PF-07	Almacenamiento local	Guardar el análisis en SQLite	El registro fue almacenado correctamente	Aprobado
PF-08	Historial	Mostrar los análisis almacenados	Los registros se visualizaron en orden	Aprobado

Código	Funcionalidad evaluada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado
PF-09	Chatbot	Responder consultas relacionadas con cacao	El chatbot generó una respuesta	Aprobado
PF-10	Generación de PDF	Crear y abrir el informe del análisis	El documento fue generado correctamente	Aprobado
PF-11	Funcionamiento sin conexión	Conservar localmente los registros pendientes	La información permaneció guardada en SQLite	Aprobado
PF-12	Sincronización	Enviar los registros pendientes a Supabase	Los datos fueron sincronizados correctamente	Aprobado

5.3.1 Cálculo de los porcentajes de mitigación

Tabla 40. Cálculo técnico del nivel de mitigación de las causas

Causa identificada	Indicadores evaluados	Indicadores cumplidos	Cálculo	Mitigación
Presencia de enfermedades y plagas	5	3	$3/5 \times 100$	60%
Condiciones ambientales favorables	5	2	$2/5 \times 100$	40%
Falta de monitoreo y diagnóstico oportuno	10	9	$9/10 \times 100$	90%

5.4 Mitigación de las causas identificadas

5.4.1 Presencia de enfermedades y plagas en el cultivo

La presencia de enfermedades y plagas no pueden ser eliminadas directamente mediante una aplicación informática. Sin embargo, el sistema contribuye a mitigar sus efectos al permitir la identificación de patrones visuales relacionados con la monilia, los ácaros, los chinches, trips y hormigas arrieras. Esto facilita que el usuario obtenga una advertencia temprana y que pueda tomar medidas antes de que el problema continúe expandiéndose. Por tanto, esta causa se considera mitigada parcialmente.

5.4.2 Condiciones ambientales favorables para las anomalías

Las condiciones ambientales como, por ejemplo, la humedad y la temperatura, no pueden ser modificadas por la aplicación. No obstante, el sistema proporciona diagnósticos y recomendaciones que pueden orientar al usuario sobre las medidas preventivas y de manejo fitosanitario que debe considerar cuando identifica una anomalía en el fruto. Por lo tanto se considera mitigada parcialmente.

5.4.3 Falta de monitoreo y diagnóstico oportuno

Esta causa fue atendida directamente mediante el desarrollo de la aplicación móvil. En el cual el usuario puede capturar imágenes desde el lugar del cultivo, ejecutar el análisis y obtener resultados sin depender únicamente de una inspección manual. En consecuencia, esta causa se considera mitigada en un nivel alto, porque el sistema digitaliza y automatiza una parte del proceso del monitoreo y del diagnóstico.

5.5 Porcentaje estimado de mitigación

Para poder determinar el porcentaje estimado de mitigación, se definieron los diez indicadores funcionales para cada causa identificada. Cada indicador implementado recibió un valor de 1, mientras que los indicadores no cubiertos por la aplicación recibieron un valor de 0. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Mitigación} = \frac{\text{Indicadores cumplidos}}{\text{Indicadores evaluados}} \times 100$$

Tabla 41. Cálculo del porcentaje estimado de mitigación funcional

<i>Causa evaluada</i>	<i>Indicadores cumplidos</i>	<i>Indicadores no cumplidos</i>	<i>Cálculo</i>	<i>Mitigación</i>
Presencia de enfermedades y plagas	Captura de imágenes, análisis de plagas, detección de monilia, análisis de salud	Medición de severidad, confirmación de un especialista, aplicación de	6/10 x 100	60%

<i>Causa evaluada</i>	<i>Indicadores cumplidos</i>	<i>Indicadores no cumplidos</i>	<i>Cálculo</i>	<i>Mitigación</i>
	vegetal, porcentaje de confianza y recomendaciones	tratamientos y monitoreo automático		
Condiciones ambientales favorables	Recomendaciones preventivas, chatbot fitosanitario, historial de análisis e informe PDF	Medición de humedad, temperatura, sensores, alertas ambientales, predicción climática y control del ambiente	$\frac{4}{10} \times 100$	40%
Falta de monitoreo y diagnóstico oportuno	Captura de imágenes, análisis con IA, presentación de resultados, diagnóstico, almacenamiento local, historial, PDF, funcionamiento sin internet y sincronización con Supabase	Monitoreo continuo sin intervención del usuario	$\frac{9}{10} \times 100$	90%

Tabla 42. Porcentaje estimado de mitigación

<i>Causa evaluada</i>	<i>Nivel de mitigación</i>
Presencia de enfermedades y plagas	60%
Condiciones ambientales favorables	40%
Falta de monitoreo y diagnóstico oportuno	90%

El porcentaje general estimado se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Mitigación general} = \frac{60+40+90}{3}$$

Mitigación general = 63,33%

Este resultado representa una valoración técnica del alcance funcional.

5.6 Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos muestran que el **Sistema Cacao** cumple con el propósito de apoyar el monitoreo fitosanitario mediante una aplicación móvil. La integración de la cámara en el dispositivo, los modelos de inteligencia artificial, el historial y las recomendaciones reducen la dependencia exclusiva de la inspección visual manual y permiten organizar la información generada durante cada análisis.

La causa que recibió una mayor atención fue la falta de monitoreo y diagnóstico oportuno, debido a que la aplicación permite analizar las fotografías directamente desde el dispositivo móvil. En cambio, la presencia de enfermedades y las condiciones ambientales solamente fueron mitigadas de manera parcial o indirecta, porque requieren las acciones agrícolas adicionales que no dependen exclusivamente del software.

5.7 Cumplimiento de los objetivos

El objetivo general fue elaborado exitosamente mediante el desarrollo de una aplicación que es capaz de procesar imágenes y utilizar modelos de inteligencia artificial para identificar anomalías en el cultivo de *Theobroma cacao*. También se implementaron algunas funciones complementarias como el historial, el chatbot, los reportes, la generación de PDF y la sincronización de los datos.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se determinó que la detección tardía de las anomalías constituye una limitación importante para el monitoreo fitosanitario del cultivo de *Theobroma cacao* en la Granja Experimental Uleam El Carmen. Esta afirmación se sustenta en la dependencia de inspecciones visuales manuales, la falta de los registros organizados y el acceso limitado a la información técnica inmediata, las situaciones que justificaron el desarrollo de una herramienta móvil orientada a apoyar la identificación oportuna de las plagas, las enfermedades y las alteraciones de la salud vegetal.

Se estableció que el procesamiento digital de las imágenes y la inteligencia artificial son las tecnologías técnicamente adecuadas para apoyar la identificación de las anomalías visibles en las hojas y frutos de *Theobroma cacao*. La revisión de las investigaciones relacionadas demostró que las técnicas de preprocesamiento, clasificación y reconocimiento de patrones permiten analizar características como colores, formas, texturas y lesiones; además, el uso de modelos optimizados facilita su incorporación en aplicaciones móviles destinadas al trabajo de campo.

La implementación de una aplicación de apoyo al monitoreo fitosanitario responde a una necesidad identificada en la población estudiada. Esta afirmación se respalda en los resultados de la encuesta aplicada a 45 estudiantes de la carrera de Agropecuaria y en la entrevista realizada a un experto de *Theobroma cacao*, instrumentos que evidenciaron dificultades en el reconocimiento de determinadas anomalías y una valoración favorable hacia el uso de herramientas tecnológicas para complementar la inspección manual.

Además, la metodología Scrum permitió desarrollar e integrar satisfactoriamente los componentes del **Sistema Cacao** mediante entregas progresivas. Los cinco sprints facilitaron la implementación de la autenticación, la captura de las imágenes, la ejecución de los modelos de las plagas, la monilia y la salud vegetal, el chatbot, el historial, los reportes, la generación de PDF y la sincronización. Asimismo, SQLite permitió conservar los registros localmente, mientras que en Supabase proporcionó respaldo remoto cuando existía la conexión a internet.

El **Sistema Cacao** cumplió funcionalmente con su propósito de apoyar el monitoreo y el diagnóstico de las anomalías en el cultivo. Las pruebas ejecutadas comprobaron el funcionamiento de los módulos principales y la interacción entre la cámara móvil, los modelos de inteligencia artificial y las bases de datos. Además, la evaluación de los indicadores estableció una mitigación funcional estimada del 63,33% destacándose la atención de la falta de monitoreo y diagnóstico oportuno con un 90%; este resultado representa la cobertura funcional del sistema y no de una reducción directa de las enfermedades o pérdidas productivas.

6.2 Recomendaciones

Se sugiere a los administradores del aplicativo **Sistema Cacao** realizar los mantenimientos periódicos, actualizar las dependencias y verificar el funcionamiento de las bases de datos SQLite y Supabase y los procesos de la sincronización, con el propósito de proteger la información y conservar la compatibilidad con futuras versiones del sistema operativo Android.

Se sugiere al tutor del trabajo de titulación continuar orientando la revisión y el perfeccionamiento del **Sistema Cacao**, especialmente en la validación de los modelos de inteligencia artificial, la aplicación de pruebas de campo y la coherencia entre los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos, con la finalidad de fortalecer la calidad técnica y académica del proyecto

Se sugiere a los futuros autores de trabajos de titulación ampliar el conjunto de las imágenes utilizadas por los modelos, considerando diferentes variedades de *Theobroma cacao*, condiciones de la iluminación, las etapas de desarrollo y los niveles de la afectación, para mejorar su capacidad de clasificación en escenarios reales.

Se sugiere a los especialistas en agronomía y fitopatología revisar y actualizar los diagnósticos y recomendaciones fitosanitarias incorporados en la aplicación, asegurando que la información proporcionada sea técnicamente correcta y adecuada para las anomalías detectadas.

Se sugiere a los responsables de la Granja Experimental Uleam El Carmen aplicar las pruebas de campo con los estudiantes, los técnicos y los productores, a fin de evaluar la facilidad

de uso, comprensión de los resultados y utilidad práctica del sistema en condiciones agrícolas reales.

Se sugiere a los agricultores y usuarios de la aplicación utilizar el **Sistema Cacao** como una herramienta complementaria, capturar las imágenes con iluminación y enfoque adecuados y consultar a un especialista antes de aplicar tratamientos o tomar decisiones sobre el manejo fitosanitario del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, L. S. (2023). *Deep Learning: teoría y aplicaciones*. Alpha Editorial.
- Alvarado, J., Restrepo-Arias, J. F., Velásquez, D., y Maiza, M. (2025). Detección de enfermedades en cultivos de cacao mediante técnicas de visión artificial: una revisión sistemática de la literatura. *MDPI*, 15(10), 1-27. <https://doi.org/10.3390/agriculture15101032>
- Anzules-Toala, V., Pazmiño-Bonilla, E., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V., y Julca-Otiniano, A. (2021). *Control of cacao (Theobroma cacao) diseases in Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador* (Vol. 33). <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45939>
- Aquino Ruíz, A., León De la O, D. M., García Mínguez, R., Muñoz Rodríguez, C. R., Garrido Vázquez, J. N., y 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*, 8(6), 11436-11449. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15915
- Buenaño Vera, D., Oviedo, B., Casanova, W. C., y Zambrano-Vega, C. (02 de Enero de 2024). *Deep learning-based computational model for disease identification in cocoa pods (Theobroma cacao L.)*. El trabajo selecciona EfficientDet-Lite4 y lo integra en una aplicación Android.: <https://arxiv.org/abs/2401.01247>
- Buitrago Bolívar, E., Rico Franco, J. A., y Rojas Amador, S. (2024). *Monitoreo de cultivos y suelos en agricultura de precisión con UAV e inteligencia artificial: una revisión* (Vol. 28). Tecnura. <https://doi.org/10.14483/22487638.22360>
- Campos-Ferreira, U. E., González-Camacho, J. M., y Carrillo-Salazar, J. A. (2023). Identificación automática de enfermedades en frutos de aguacate con base en máquinas de aprendizaje y descriptores cromáticos. *Revista Chapingo. Serie: Horticultura*, 29(3), 115-130. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2023.04.002>

- Cañarte Bermúdez, E., y Navarrete Cedeño, J. B. (2021). *Reconocimiento de artrópodos-plaga y controladores biológicos como herramienta para el manejo ecológico de plagas en cacao*. Portoviejo, EC: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2021. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/2714df78-43cb-4e50-aa64-ed10da7a5b23>
- Cruz-Naranjo, J. C. (24 de Septiembre de 2022). *Detección de regiones de café en imágenes aéreas de plantaciones costarricenses*. Instituto Tecnológico de Costa Rica: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/items/d06ea2f3-79c4-4e49-8ac9-b0a7b098528c>
- Díaz-Bravo, L., y Zavala-González, S. (2020). *Metodología de la Investigación Científica para Ciencias de la Salud*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- García-Briones, A. R., Pico-Pico, B. F., y Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., y Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Haro Sarango, A. F., Chisag Pallmay, E. R., Ruiz Sarzosa, J. P., y Caicedo Pozo, J. E. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones: Types and classification of investigations. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>
- Jaimes Suárez, Y., y Aranzazu Hernández, F. (2023). *Manejo de las enfermedades del cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia, con énfasis en monilia (Moniliophthora roreri)*. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-034-2>
- Lu, Z., Yang, W., Yuan, Y., Gou, R., y Li, X. (2024). Semantic segmentation of agricultural images: A survey. *Information Processing in Agriculture*, 11(2), 172-186. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.02.001>

- Montaño-Blacio, M., González-Escarabay, J., Jiménez-Sarango, Ó., Mingo-Morocho, L., y Carrión-Aguirre, C. (2023). Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para cultivos hidropónicos. *Ingenius*(30), 9-18. <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.01>
- Mora Castro, G., Ayala Cruz, K. V., Valenzuela Hernández, J. d., y Romero Fitch, J. d. (2025). *Procesamiento de imágenes con UAV en la agricultura de precisión: panorama actual, tendencias tecnológicas, una revisión sistemática* (Vol. 13). <https://doi.org/10.36825/riti.13.32.002>
- Oscoco-Ccuiro, S., Huashuayo-Miranda, E., y Aquino-Cruz, M. (2024). Modelo de Redes Neuronales Convolucionales para detectar enfermedades en las hojas del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en el Centro Agronómico K'ayra, San Jeronimo, Cusco 2023. *C&T Riqchary Revista de investigación en ciencias y tecnología*, 6(1), 13-19. <https://doi.org/10.57166/riqchary.v6.n1.2024.117>
- Pérez-Juste, R., y García-Gómez, J. M. (2021). *Métodos y diseños de investigación en educación*. España: UNED.
- Pusdá Chulde, M. R. (2023). *Algoritmos para agricultura de precisión utilizando computación de alto rendimiento*. Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/149069>
- Quiroz Vera, J. G., Mestanza Velasco, S. A., Parada Vera, N. C., Morillo Velasteguí, L. E., Samaniego, I., y Garzón Catota, I. A. (2021). *Catálogo de cultivares de cacao en Ecuador*. Yaguachi, EC: INIAP, Estación Experimental Litoral Sur, Programa de Cacao, 2021: <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/8825b24f-b2f6-42a1-b949-966921431073>
- Sanabria-Rangel, P., y Peñuela-Vásquez, J. A. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Ediciones de la U.
- Silva-Peñañiel, G. E., Bonilla, B. M., Vaca, A. M., y Cuchiye, W. C. (2022). Implementación de modelo machine learning aplicado al estudio de enfermedades de café en el centro de

- investigación sachawí. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(12), 710-728. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227660>
- Solís Hidalgo, Z. K., Peñaherrera Villafuerte, S. L., y Vera Coello, D. I. (2021). *Las enfermedades del cacao y las buenas prácticas agronómicas para su manejo*. Mocache, EC: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, 2021. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/737d44b0-99ab-47db-9f99-0edf11a6bef1>
- Sornoza Vélez, L., Valencia Carreño, L., Corozo-Quiñónez, L., Sánchez Mora, F., Peña Monserrate, G., y Salas-Macías, C. (2022). Recursos genéticos de variedades de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. *Ciencia y tecnología*, 15(2), 31-44. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.582>
- Tamayo y Tamayo, M. (2022). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Terrón, J., y Domínguez, F. J. (2020). *Conceptos de agricultura de precisión Separata del Capítulo II del libro: AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON IMÁGENES DE SATÉLITE* (Vol. II). Proyecto INNOACE. https://www.researchgate.net/publication/350754788_CONCEPTOS_DE_AGRICULTURA_DE_PRECISION_Separata_del_Capitulo_II_del_libro_AGRICULTURA_DE_PRECISION_CON_IMAGENES_DE_SATELITE_MANUAL_DE_BUENAS_PRACTICAS_AGRICOLAS
- Tigova, J. (2025). Fuente Primaria de Datos: Pilar fundamental en la investigación científica. *Archivos de medicina*, 21(2), 1-2. <https://doi.org/10.36648/1698-9465-21-1662>
- Tipantuña, S. A., y Gaibor, J. S. (2022). *Aplicación de la Inteligencia Artificial en el Sector Agrícola* (Vol. 3). <https://pure.ups.edu.ec/es/publications/application-of-artificial-intelligence-in-the-agricultural>
- Torres Navarro, J. (2021). *Python Deep Learning: Introducción práctica con Keras y TensorFlow* 2. España.: UOC.

- Valle-Medina, F. D., Castillo-Herdia, L. J., Correa-Peralta, M. A., y Guzmán-Seraquive, J. E. (2025). Clasificación de enfermedades en hojas de papa utilizando Transformadores de Visión. *Novasinergia*, ISSN 2631-2654, 1(142-156), 8. <https://doi.org/10.37135/ns.01.15.06>
- Villalobos-Culqui, C., Valles-Coral, M. A., García-Rivas-Plata, C., y Tuesta-Hidalgo, O. A. (2025). *Artificial vision model based on convolutional neural networks for black pod identification in cacao plantations* (Vol. 5). <https://doi.org/10.51252/rcsi.v5i1.678>
- Xu, M., Yoon, S., Fuentes, A., Yang, J., y Park, D. S. (2022). Style-consistent image translation: A novel data augmentation paradigm to improve plant disease recognition. *Frontiers in Plant Science*, 12, 142-773. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.773142>
- Yandún Velasteguí, M. A. (2020). Detección de enfermedades en cultivos de Papa usando procesamiento de imágenes. *Cumbres*, 6(1), 43-52. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v6n1a4>
- Zambrano-Garcia, O. M., y Vlassova, L. (12 de Mayo de 2023). *Algoritmo de inteligencia artificial para la detección de cultivos de cacao (Teobroma cacao L.), banano (Musa paradisiaca L.) y palma africana (Elaeis guineensis J.)*. Umn.edu: <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/1564>
- Zhang, Y., Wa, S., Zhang, L., y Lv, C. (2022). Automatic plant disease detection based on Tranvolution detection network with GAN modules using leaf images. *Frontiers in Plant Science*, 13, 693-875. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.875693>

ANEXOS

Anexo A. Notificación de asignación del tutor



Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

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

Estimad@
Docente y Estudiante
Uleam

En cumplimiento de lo establecido en la Ley, el Reglamento de Régimen Académico y las disposiciones estatutarias de la Uleam, 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 INFORMÁTICO CON PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN FOTOGRAFÍAS 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: PEREZ CEDEÑO DANIEL ALEXANDER

Carera: SOFTWARE 2024 - NS - (EL CARMEN)

Periodo de inducción: Periodo 2025-2

Anexo B. Instrumento de encuesta aplicado a los estudiantes



DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDEÑO

PREGUNTAS DE ENCUESTA

1. ¿Cómo te das cuenta de que a una mazorca le está dando Monilia?
 - o a) Le salen manchas como de agua que luego se ponen cafés.
 - o b) La fruta se pone de color azul brillante.
 - o c) El árbol deja de dar hojas de repente.
2. ¿Qué es ese "polvito blanco" que le sale a la fruta cuando ya está muy enferma?
 - o a) Es harina que le cae del aire.
 - o b) Son las "semillas" del hongo (esporas) que vuelan con el viento para enfermar a otras plantas.
 - o c) Es azúcar que le sale a la fruta por el sol.
3. ¿Qué tan rápido se contagia el hongo de la Monilia en el cacao?
 - o a) Tarda un año entero en pasar de una planta a otra.
 - o b) Se demora solo un par de horas.
 - o c) El contagio es rápido, toma entre una semana y diez días.
4. ¿Cuál es el clima que más "le gusta" a las enfermedades para atacar el cacao?
 - o a) Un clima con mucho calor y donde el aire se siente muy pesado por la humedad.
 - o b) Un clima donde hace mucho frío y cae nieve.
 - o c) Un clima muy seco donde casi nunca llueve.
5. ¿Por qué en zonas como "El Carmen" es tan común que aparezcan plagas?
 - o a) Porque el suelo es muy seco y no tiene fuerza.
 - o b) Porque es un lugar donde llueve mucho y hace calor, lo que ayuda a los hongos a crecer.
 - o c) Porque hay demasiados pájaros en la zona.



6. ¿Qué pasa si llueve mucho y no se limpian las ramas de los árboles?
 - o a) La humedad se queda atrapada y el hongo de la mazorca negra se riega más fácil.
 - o b) Los árboles crecen más rápido y se curan solos.
 - o c) La lluvia limpia las enfermedades y ya no hay que fumigar.
7. ¿Cuál es el peligro de revisar la finca solo caminando y mirando?
 - o a) Que el agricultor se cansa mucho y deja de trabajar.
 - o b) Que es fácil equivocarse o darse cuenta del problema cuando ya es muy tarde para salvar la cosecha.
 - o c) Que las plantas se asustan cuando ven gente.
8. ¿Por qué a los dueños de fincas grandes se les hace difícil controlar las plagas?
 - o a) Porque no hay tiempo de revisar todos los árboles a mano antes de que la enfermedad avance.
 - o b) Porque los árboles grandes no dejan ver el camino.
 - o c) Porque el cacao solo se enferma de noche.
9. ¿Para qué sirve usar tecnología (como cámaras o programas) en lugar de solo mirar?
 - o a) Para avisar rápido dónde está el daño y no gastar plata en químicos por gusto.
 - o b) Para que las fotos del cacao salgan más bonitas en el celular.
 - o c) Para que el agricultor ya no tenga que volver a entrar a la finca.
10. Si el polvito blanco son "semillas" que enferman a las demás frutas, ¿qué es lo primero que recomienda el técnico hacer?
 - a) Soplar la fruta para quitarle el polvo.
 - b) Sacar las frutas enfermas con cuidado y enterrarlas para que no sigan contagiando.
 - c) Dejar las frutas enfermas colgadas para que se sequen solas.

Anexo C. Evidencia de aplicación de la encuesta



DIAGNÓSTICO FITOSANITARIO Y MONITOREO DIGITAL EN THEOBROMA

Se han guardado todos los cambios en Drive

Preguntas Respuestas 45 Configuración

45 respuestas

Ver en Hojas de cálculo

Resumen

Pregunta

Individual

Anexo D. Guía de entrevista aplicada al experto



GUÍA DE ENTREVISTA TÉCNICA: DIAGNÓSTICO FITOSANITARIO Y MONITOREO DIGITAL EN *THEOBROMA CACAO*

Objetivo: Recopilar datos técnicos sobre la incidencia de patógenos, variables ambientales y la eficiencia de los métodos de monitoreo para la validación de un sistema de visión artificial.

1. ¿Cuáles son las manifestaciones morfológicas iniciales que caracterizan la fase biótrofa de la *Moniliophthora roreri* en los frutos de cacao?
2. ¿Cuál es la función biológica de la eflorescencia pulverulenta (polvo blanco) observada en las lesiones necróticas avanzadas de la moniliasis?
3. De acuerdo con la epidemiología documentada, ¿cuál es el periodo estimado para completar el ciclo de contagio de este patógeno bajo condiciones de campo?
4. ¿Qué parámetros de humedad relativa y rango térmico se consideran críticos para la explosión epidémica de enfermedades fúngicas en el cultivo?
5. ¿De qué manera influyen las condiciones edafoclimáticas del cantón "El Carmen" (precipitación y temperatura) en la vulnerabilidad fitosanitaria de las plantaciones?
6. ¿Qué impacto tiene la densidad del dosel y la ausencia de podas fitosanitarias en la incidencia de patógenos como *Phytophthora spp*??
7. ¿Cuáles son las principales limitaciones técnicas y operativas de la inspección visual manual en la gestión de grandes extensiones de *Theobroma cacao*?
8. ¿Cómo afecta la escala de producción y la subjetividad del observador a la eficiencia del monitoreo fitosanitario tradicional?
9. ¿Cuál es el valor agregado de integrar algoritmos de aprendizaje profundo (Deep Learning) y visión artificial en la identificación de anomalías en el cacao?
10. Considerando que la esporulación es la fase crítica de dispersión aérea del hongo, ¿qué estrategias de control cultural específicas se recomiendan para interrumpir el ciclo biológico del patógeno en el predio?

Activar Win

Anexo E. Evidencia de aplicación de la entrevista al experto



Anexo F. Reporte del sistema antiplagio



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ULEAM-ECU

DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDEÑO Compilatio 2026 07 25

ID : 4b78cede6d52baba2e02009ee8b3408d9f25704e



6%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : DANIEL ALEXANDER PÉREZ CEDEÑO Compilatio 2026 07 25.txt
Tamaño del archivo original : 6,56 MB
Número de palabras : 18.088

Depositante : RAUL REASCOS PINCHAO
Fecha de depósito : 25 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 25 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

4%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos

2%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.

Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

0%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

GLOSARIO

Algoritmo: Conjunto ordenado de instrucciones que son utilizadas para resolver un problema o ejecutar una tarea dentro de un sistema informático.

Almacenamiento local: Proceso mediante el cual la información se guarda directamente en el dispositivo móvil, permitiendo la consulta sin conexión a internet.

Análisis de imagen: Procedimiento computacional utilizado para que se examine una fotografía y extraer características que permitan identificar objetos, patrones o anomalías.

Anomalía: Una alteración visible que afecta el estado normal de una hoja, fruto o planta de cacao, como las enfermedades, plagas o deficiencias nutricionales.

APK: Archivo instalable utilizado para que se distribuya y se ejecute mediante aplicaciones en dispositivos con sistema operativo Android.

Aplicación móvil: Programa informático diseñado para funcionar en teléfonos inteligentes o tabletas.

Base de datos: Conjunto organizado de información que puede ser almacenada, consultada, actualizada y administrada por un sistema informático.

CacaoBot: Chatbot integrado en el Sistema Cacao para responder consultas y proporcionar orientación relacionada con el cultivo de cacao.

Captura de imagen: Proceso mediante el cual el usuario obtiene una fotografía utilizando la cámara del dispositivo móvil.

Clasificación de imágenes: Proceso mediante el cual un modelo de inteligencia artificial asigna una imagen a una categoría determinada.

Conectividad: Capacidad del dispositivo para comunicarse con internet y acceder a servicios externos o plataformas en la nube.

Diagnóstico: resultado generado por el sistema después de analizar una imagen e identificar una posible anomalía en el cultivo.

Flutter: Framework de desarrollo creado por Google que permite construir aplicaciones móviles utilizando un único código fuente.

Historial de análisis: Módulo que almacena y presenta los resultados de las evaluaciones realizadas anteriormente por el usuario.

Inteligencia artificial: Disciplina informática que permite desarrollar sistemas capaces de realizar tareas asociadas con el aprendizaje, reconocimiento y toma de decisiones.

Machine Learning: Rama de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender patrones a partir de datos y realizar predicciones.

Monilia: Enfermedad del cacao causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, que afecta principalmente las mazorcas y puede ocasionar pérdidas en la producción.

Plaga: Organismo que causa daños en las plantas, frutos o cultivos y afecta su desarrollo o productividad.

Porcentaje de confianza: Valor numérico que expresa el nivel de seguridad con el que el modelo de inteligencia artificial realiza una clasificación.

Procesamiento de imágenes: Conjunto de técnicas informáticas aplicadas para mejorar, transformar, analizar o interpretar imágenes digitales.

Recomendación fitosanitaria: Orientación generada por el sistema para prevenir, controlar o manejar una anomalía detectada en el cultivo.

Salud vegetal: Estado general de una planta considerando la presencia o ausencia de enfermedades, plagas, daños o deficiencias.

Scrum: Metodología ágil utilizada para organizar el desarrollo del software en periodos cortos de trabajo denominados sprints.

Sistema informático: Conjunto de componentes de software, datos, usuarios y procedimientos que trabajan de manera integrada para cumplir una función.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y recursos que permiten ejecutar tareas en un dispositivo electrónico.

Sprint: Periodo de trabajo definido dentro de Scrum en el que se desarrollan y entregan funcionalidades específicas del sistema.

SQLite: Sistema de gestión de base de datos local utilizado para almacenar usuarios, análisis, resultados e historiales dentro del dispositivo.

Supabase: Plataforma en la nube utilizada para almacenar, respaldar y sincronizar información generada por la aplicación.

Theobroma cacao: Nombre científico de la planta de cacao, cultivada principalmente por sus semillas para la producción de chocolate y otros derivados.

Visión artificial: Área de la inteligencia artificial que permite a un sistema interpretar y analizar información contenida en imágenes digitales.