

Pregrado

Carrera: Sistemas y Gestión de Data

Asignatura (UIC): Ejecución de Proyectos

Trabajo de titulación previo a la obtención del

**Título en: Tecnólogo universitario en sistemas y
gestión de data**

Tema: Agro-Bot: Plataforma Web de Consultoría

**Agrícola Inteligente para Ecuador con React, Turso
SQLite, Firebase Auth y Gemini AI**

Autor/s: Leonardo Joel Fierro Rodríguez

Tutor: Danny Santiago Páez Oscullo

Fecha: 30/8/2025



Autor

Leonardo Joel Fierro Rodríguez



Título a obtener: Tecnólogo Universitario en Sistemas y Gestión de Data

Matriz: Sangolquí – Ecuador

Correo electrónico: leonardo.fierro@ister.edu.ec

Dirigido por

Danny Santiago Páez Oscullo



Título: Ing. Computación Grafica

Mg. Lógica, Computación e Inteligencia Artificial.

Matriz: Sangolquí – Ecuador

Correo electrónico: danny.paez@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2025 Tecnológico Universitario Rumiñahui

SANGOLQUÍ – ECUADOR

Leonardo Joel Fierro Rodríguez

***PLATAFORMA DE CONSULTORIA AGRICOLA INTELIGENTE PARA ECUADOR
CON RECT, TURSO SQL LITE, FIREBASE AUTH Y GEMINI AI***

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.3

Sangolquí, 30 de agosto del 2025

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA
MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, LEONARDO JOEL FIERRO RODRIGUEZ declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado PLATAFORMA DE CONSULTORIA AGRICOLA INTELIGENTE PARA ECUADOR CON RECT, TURSO SQL LITE, FIREBASE AUTH Y GEMINI AI , de la Tecnología Superior Universitaria Sistemas y Gestión de Data; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Leonardo Joel Fierro Rodríguez
C.I.: 0850014275

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2025-ISTER-3

CARRERA: TECNOLOGÍA UNIVERSITARIA EN SISTEMAS Y GESTIÓN DE DATA

AUTOR/ES: LEONARDO JOEL FIERRO RODRIGUEZ

TUTOR: DANNY SANTIAGO PAEZ OSCULLO

CONTACTO ESTUDIANTE: 0962291465

CORREO ELECTRÓNICO: leonardofierro8@gmail.com

TEMA: PLATAFORMA DE CONSULTORIA AGRICOLA INTELIGENTE PARA ECUADOR CON RECT, TURSO SQL LITE, FIREBASE AUTH Y GEMINI AI

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El siguiente proyecto de titulación se hizo con el objetivo de resolver un problema fundamental en la agricultura ecuatoriana: la desconexión entre el extenso conocimiento técnico y las prácticas diarias de los pequeños y medianos agricultores. Tras un trabajo de investigación se confirmó que muchos productores toman decisiones basándose en costumbres heredadas, sin acceso a la información técnica actualizada que podría mejorar su productividad.

Para solucionar este problema, surgió la idea de crear Agro-bot, un proyecto creado en la web para consultas agrícolas. El objetivo era crear una herramienta que pueda ser accesible para los agricultores ofreciéndoles sugerencias, datos reales, respuestas personalizadas y contextualizadas para su ubicación específica en Ecuador. Este proyecto se construyó utilizando tecnologías más actuales, entre ellas; React en la parte de frontend, también Node.js para el backend, y para llevar el control de datos se utilizó Turso SQLite. Su funcionamiento consiste en un motor de inteligencia artificial que, a través de la API de Gemini AI, procesa consultas en lenguaje natural y genera respuestas a medida, combinando datos del proyecto con información meteorológica en tiempo real de Open-Meteo.

El proyecto se desarrolló con una metodología SCRUM. Varios usuarios presentaron mejoras y si pudieron utilizar el bot. Lo que demuestra el potencial de la herramienta para

optimizar la producción, mejorar la rentabilidad de las familias rurales y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Palabras claves: Agro-Bot, Tecnología Agrícola, Gemini AI

Abstract:

The following degree project was undertaken with the aim of solving a fundamental problem in Ecuadorian agriculture: the disconnect between extensive technical knowledge and the daily practices of small and medium-sized farmers. Research confirmed that many producers make decisions based on inherited customs, without access to up-to-date technical information that could improve their productivity. This situation not only severely limits their productivity, but also significantly limits their productivity.

To address this challenge, Agro-Bot, a web-based smart agricultural consulting platform, was developed. The objective was to create an accessible tool for farmers that would offer personalized and contextualized technical recommendations for their specific location in Ecuador. The platform was built using the latest technologies, including React for the frontend, Node.js for the backend, and Turso SQLite for data management. It works through an artificial intelligence engine that, through the Gemini AI API, processes natural language queries and generates tailored responses, combining project data with real-time weather information from Open-Meteo.

The project was developed using a SCRUM methodology. Several users presented improvements and were able to use the bot, demonstrating the tool's potential to optimize production, improve the profitability of rural families, and contribute to environmental sustainability.

Keywords: Agro-Bot, Agricultural Technology, Gemini AI

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Leonardo Joel Fierro Rodríguez', written over a horizontal line.

Firma del Estudiante
Leonardo Joel Fierro Rodríguez
C.I.: 0850014275

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 30 de agosto del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo LEONARDO JOEL FIERRO RODRIGUEZ, con C.I.: 0850014275 alumno de la Carrera SISTEMAS Y GESTION DE DATA, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,



Firma del Estudiante
Leonardo Joel Fierro Rodríguez
C.I.: 0850014275

SÓLO PARA USO DEL ISTER

Han sido revisadas las similitudes del trabajo en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje de ; motivo por el cual, el Proyecto Técnico de Titulación es publicable. (EL PORCENTAJE DE SIMILITUD DEBE SER MÁXIMO DE 15%)

MSc. Elizabeth Ordoñez

DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín

COORDINADORA DE TITULACIÓN

Fecha del Informe / ____/

PLATAFORMA DE CONSULTORIA AGRICOLA INTELIGENTE PARA ECUADOR

CON RECT, TURSO SQL LITE, FIREBASE AUTH Y GEMINI AI

Dedicatoria:

Este trabajo está dedicado a todos los agricultores ecuatorianos que, con su esfuerzo diario, alimentan a nuestro país. Especialmente a don Carlos Morales, un agricultor de Machachi que me enseñó que la tecnología debería ayudarnos a mejorar nuestras vidas, mas no a complicarla.

A mis padres, quienes me enseñaron el valor del trabajo honesto y la importancia de devolver algo bueno a la comunidad. A mis hermanos, quienes siempre creyeron que este proyecto podría ayudar a muchas familias.

Y a todos los jóvenes que, como yo, creen que la programación y la tecnología pueden ser herramientas poderosas para generar cambios positivos en nuestra sociedad.

Agradecimientos:

Quiero expresar mi agradecimiento a las personas que permitieron que fuera posible este proyecto.

A el tutor de tesis, quien me brindó su guía y paciencia durante todo este proceso de investigación y desarrollo.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) por facilitar el acceso a datos históricos y estadísticas que fueron fundamentales para el desarrollo de los algoritmos de recomendación.

A mis compañeros de universidad. A toda mi familia, por su apoyarme durante todo este proceso de estudio.

Finalmente, agradezco a todos los docentes que contribuyeron a mi formación académica y me inspiraron a buscar soluciones tecnológicas para problemas reales de nuestra sociedad.

Resumen:

El siguiente trabajo de titulación se hizo con objetivos como resolver un problema fundamental en la agricultura ecuatoriana: la desconexión entre el extenso conocimiento técnico y las prácticas diarias de los pequeños y medianos agricultores. Tras un trabajo de investigación se confirmó que muchos productores toman decisiones basándose en costumbres heredadas, sin acceso a la información técnica actualizada que podría mejorar su productividad. Esta situación no solo limita mucho su productividad.

Para enfrentar este desafío, se desarrollo Agro-Bot, una plataforma web de consultoría agrícola inteligente. El objetivo fue crear una herramienta accesible para los agricultores que les ofrezca recomendaciones técnicas personalizadas y contextualizadas para su ubicación específica en Ecuador. La plataforma se construyó utilizando tecnologías modernas como React en el frontend, Node.js en el backend, y una base de datos distribuida con Turso SQLite. Su funcionamiento consiste en un motor de inteligencia artificial que, a través de la API de Gemini AI, procesa consultas en lenguaje natural y genera respuestas a medida, combinando datos del proyecto con información meteorológica en tiempo real de Open-Meteo.

El proyecto se desarrolló con una metodología SCRUM. Varios usuarios presentaron mejoras y si pudieron utilizar el bot. Lo que demuestra el potencial de la herramienta para optimizar la producción, mejorar la rentabilidad de las familias rurales y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Palabras claves: Agro-Bot, Agricultura de Precisión, Tecnología Agrícola, Inteligencia Artificial, Pequeños Productores, Ecuador, Sistemas de Recomendación, Desarrollo Sostenible React, Gemini

Abstract:

The following degree project was undertaken with the aim of solving a fundamental problem in Ecuadorian agriculture: the disconnect between extensive technical knowledge and the daily practices of small and medium-sized farmers. Research confirmed that many producers make decisions based on inherited customs, without access to up-to-date technical information that could improve their productivity. This situation not only severely limits their productivity, but also significantly limits their productivity.

To address this challenge, Agro-Bot, a web-based smart agricultural consulting platform, was developed. The objective was to create an accessible tool for farmers that would offer personalized and contextualized technical recommendations for their specific location in Ecuador. The platform was built using modern technologies such as React in the frontend, Node.js in the backend, and a distributed database with Turso SQLite. It works through an artificial intelligence engine that, through the Gemini AI API, processes natural language queries and generates tailored responses, combining project data with real-time weather information from Open-Meteo.

The project was developed using a SCRUM methodology. Several users presented improvements and were able to use the bot, demonstrating the tool's potential to optimize production, improve the profitability of rural families, and contribute to environmental sustainability.

Keywords: Agro-Bot, Precision Agriculture, Agricultural Technology, Artificial Intelligence, Small Producers, Ecuador, Recommender Systems, Sustainable Development, React, Gemini AI

Contenido

Dedicatoria:	9
Agradecimientos:	9
Resumen:	11
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes	18
Planteamiento del problema	19
Justificación	22
Objetivo general	26
Objetivos específicos	27
Alcance y Limitaciones	27
Alcance del Proyecto	27
Limitaciones del Proyecto	30
Marco Contextual	32
Marco Legal	32
Marco Político-Social	34
Agricultura de Precisión y Sistemas de Apoyo a la Decisión	35
Experiencias Internacionales en Sistemas de Gestión Agrícola Inteligente	36
Caso de Brasil: Sistema SIGA	36
Experiencia Colombiana: AgroClima	36
Modelo Indio: e-Choupal	36
Caracterización de la Agricultura Ecuatoriana	37

Inteligencia Artificial Aplicada a Sistemas Agrícolas.....	37
Modelos de Lenguaje Grande (LLM) en Agricultura	37
Integración de Datos Meteorológicos en Tiempo Real	38
Análisis de la Infraestructura Tecnológica Nacional.....	38
Sistema Nacional de Información Agrícola.....	38
Transferencia de Tecnología del INIAP	39
Optimización en el Uso de Recursos Agrícolas	39
Sistemas de Recomendación Agrícola Personalizada	39
Visualización de Datos Agrícolas.....	40
Tipo y Enfoque de Investigación.....	40
Enfoque de la Investigación	40
Metodología Híbrida: Integración de CRISP-DM y SCRUM.....	41
Planteamiento e Identificación de Variables	42
Fases del Proyecto y Planificación de Sprints (SCRUM)	45
Técnicas de Recolección y Análisis de Datos	47
Fuentes de Datos Primarias	47
Fuentes de Datos Secundarias	48
Análisis Exploratorio de Datos (EDA).....	48
Modelos de Machine Learning	48
Integración con Inteligencia Artificial.....	48
Arquitectura Tecnológica	49
Frontend.....	49

Backend	49
Servicios de IA	49
Procedimientos de Validación y Métricas de Éxito.....	49
Consideraciones Éticas	52
Protección de Datos Personales	52
Transparencia en Recomendaciones.....	52
Responsabilidad Social.....	53
Limitaciones y Advertencias	53
Arquitectura del Sistema	53
Integración de Servicios Externos	54
Módulos Funcionales del Sistema	56
Funcionalidades Especializadas	57
Consideraciones de Implementación	57
Resultados.....	58
Limitaciones Identificadas.....	62
Dependencia de Conectividad	62
Variabilidad en la Adopción Tecnológica:	62
Limitaciones en Datos Específicos:.....	62
Comparación con Referencias Internacionales.....	62
Manual Agro-Bot.....	¡Error! Marcador no definido.
USUARIO	¡Error! Marcador no definido.
ADMINISTRADOR.....	¡Error! Marcador no definido.

Bibliografía.....66

INTRODUCCIÓN

Durante los años universitarios de la investigación, se presentó la oportunidad de profundizar en la realidad del campo ecuatoriano. En ese proceso se recogieron múltiples testimonios de agricultores en fincas familiares dispersas por todo el país, donde cada historia relatada dejaba una huella significativa. Sus narraciones sobre las dificultades cotidianas, los desafíos enfrentados temporada tras temporada y la pasión con la que hablaban de sus cultivos revelaban la necesidad urgente de impulsar acciones concretas desde el ámbito académico para contribuir a mejorar sus condiciones de trabajo y el rendimiento de sus cosechas.

El sector agrícola constituye el corazón palpitante de la economía nacional. Más de un millón de familias ecuatorianas dependen directamente de esta actividad para su sustento, y representa cerca del 8% de la producción total del país. Sin embargo, en los recorridos realizados por comunidades rurales se evidenció una realidad preocupante: muchos productores, especialmente los pequeños y medianos, toman decisiones fundamentales para sus cultivos basándose únicamente en saberes ancestrales, sin acceso a información técnica actualizada que podría transformar de manera significativa sus resultados.

Uno de los testimonios más representativos fue recogido en una finca de la provincia de Imbabura. Allí se conoció a Don Carlos, un agricultor de 45 años con manos curtidas por décadas de trabajo en la tierra. Mientras mostraba sus surcos de papas, relataba con orgullo que llevaba más de 20 años sembrando en ese mismo terreno, siguiendo exactamente los métodos heredados de su padre, quien a su vez los había aprendido de su abuelo. “Esta es nuestra tradición familiar”, afirmaba con una mezcla de nostalgia y determinación.

Antecedentes

La implementación de sistemas digitales de apoyo para la agricultura ha ganado terreno significativo en América Latina durante la última década, con resultados prometedores, pero también limitaciones importantes que revelan oportunidades de mejora.

En Brasil, el Sistema Inteligente de Gestão Agrícola (SIGA) representa uno de los casos más exitosos de la región. Desde el 2018, año en que se empezó a utilizar, logro ayudar a más de 50,000 agricultores locales, reuniendo información sobre el clima y análisis de suelos para mejorar recomendaciones y ayudar a seleccionar mejores productos a cultivar. Tuvo buena aceptación y buenos resultados, incrementando 25% en la productividad de los usuarios. Sin embargo, tiene algunas limitaciones, ya que se basa en patrones muy generales sin considerar las diferencias de cada región y lugar o las condiciones condiciones en las que viven algunos agricultores y productores.

En Colombia encontramos AgroClima, desarrollado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) especializado en pronósticos del clima para el apartado agrícola. Esta iniciativa tuvo resultados en cerca de 15,000 agricultores de diferentes regiones del país, proporcionando información meteorológica para tomar decisiones mas correctas en la parte agrícola. No obstante, AgroClima tiene un enfoque en el análisis climatico, dejando de lado algunos temas cruciales como el manejo de plagas, la fertilización del suelo, o las condiciones del mercado local.

En India también hay un proyecto que es importante mencionar. El proyecto e-Choupal, desarrollado por ITC Limited, ha permitido a varios agricultores acceder a información local, condiciones climáticas y mejores prácticas agrícolas. A pesar de tener éxito, este modelo

requiere de una gran inversión para infraestructura física y se ha visto limitado en la parte económica.

En el apartado nacional ecuatoriano similitudes a las limitaciones de los proyectos internacionales mencionados anteriormente. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) opera el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP), pero solo tienes datos y estadísticas sectoriales a nivel nacional. Este sistema, no está diseñado para proporcionar recomendaciones técnicas personalizadas a los agricultores que puedan ser útiles en sus decisiones cotidianas.

Analizando todos estos antecedentes se nota una brecha en el mercado ecuatoriano: la ausencia de una plataforma integral que combine recomendaciones técnicas con la accesibilidad tecnológica, considerando tanto las condiciones agroecológicas del país como las necesidades particulares de pequeños y medianos productores agrícolas. Los sistemas que ya existen tienden a especializarse en aspectos particulares (clima, mercados, estadísticas), pero ninguno ofrece una solución que integre diferentes variables agrícolas de forma accesible y económicamente viable para el contexto ecuatoriano.

Planteamiento del problema

La agricultura ecuatoriana enfrenta un problema muy importante: existen grandes cantidades de datos y estadísticas en las instituciones gubernamentales pero este conocimiento no logra transferirse de forma correcta hacia los pequeños y medianos productores que sostienen la agricultura nacional. Esta desconexión entre la generación y la aplicación del conocimiento técnico limita el potencial productivo agrícola ecuatoriano y perpetúa prácticas obsoletas que

afectan tanto la rentabilidad de las explotaciones como la sostenibilidad ambiental de los sistemas productivos.

Manifestaciones Específicas del Problema

Desconexión entre investigación y práctica agrícola

Durante el trabajo de campo realizado en diversas provincias del país, se evidenció una brecha considerable entre el conocimiento técnico disponible en instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y las universidades, y las prácticas efectivamente implementadas por los agricultores. Los resultados de investigaciones sobre variedades mejoradas, técnicas de manejo integrado de plagas, sistemas de riego eficiente y métodos de fertilización optimizada permanecen confinados en publicaciones académicas y reportes técnicos que rara vez llegan al campo.

Persistencia de prácticas agrícolas tradicionales no adaptadas

Se observa una marcada tendencia entre los productores a mantener prácticas agrícolas heredadas de generaciones anteriores, sin considerar los cambios significativos que han ocurrido en las condiciones climáticas, la composición de los suelos y la dinámica de los mercados. Esta resistencia al cambio, aunque comprensible desde una perspectiva cultural y de gestión de riesgos, está limitando las posibilidades de mejora en productividad y rentabilidad de las explotaciones agrícolas.

Uso ineficiente de recursos productivos

Los análisis realizados en campo revelaron patrones sistemáticos de desperdicio de recursos críticos para la producción agrícola. Se documentaron casos de sobreaplicación de fertilizantes químicos por desconocimiento de las necesidades nutricionales específicas de los cultivos, uso inadecuado del agua de riego sin consideración de las condiciones de humedad del

suelo o las proyecciones climáticas, y aplicación excesiva o inadecuada de pesticidas debido a la ausencia de sistemas de monitoreo de plagas y enfermedades.

Limitada diversificación productiva por falta de información

La mayoría de los productores entrevistados concentran sus actividades en un número reducido de cultivos, generalmente aquellos con los que tienen experiencia histórica familiar. Esta especialización extrema aumenta la vulnerabilidad económica ante fluctuaciones de mercado o problemas fitosanitarios, pero persiste principalmente debido a la falta de acceso a información confiable sobre la viabilidad técnica y económica de cultivos alternativos adecuados para sus condiciones agroecológicas específicas.

Preguntas de Investigación

Las manifestaciones identificadas del problema central generan interrogantes específicos que orientan el desarrollo de la presente propuesta:

1. ¿Cómo se puede facilitar el acceso de los pequeños y medianos productores a información técnica actualizada y confiable para la toma de decisiones agrícolas?
2. ¿Qué mecanismos tecnológicos pueden contribuir a personalizar las recomendaciones técnicas considerando las condiciones específicas de cada explotación agrícola?
3. ¿De qué manera se puede integrar el conocimiento científico disponible con la experiencia práctica de los agricultores para generar recomendaciones técnicas efectivas?
4. ¿Cómo se puede promover la adopción de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles sin desconocer el valor de los saberes tradicionales?

5. ¿Qué estrategias tecnológicas pueden contribuir a optimizar el uso de recursos productivos en explotaciones agrícolas de pequeña y mediana escala?

Delimitación del Problema

El presente estudio se enfoca específicamente en la problemática de acceso a información técnica agrícola entre pequeños y medianos productores ecuatorianos, definidos como aquellos que operan explotaciones de hasta 20 hectáreas. La investigación se delimita al desarrollo de una solución tecnológica que facilite el acceso a recomendaciones técnicas personalizadas, sin pretender abordar otras dimensiones importantes pero complementarias como el acceso a crédito, la comercialización de productos o la titularización de tierras.

Justificación

Justificación Social

El desarrollo de un asistente inteligente para agricultores ecuatorianos se justifica plenamente desde una perspectiva social debido al impacto directo que puede generar en la calidad de vida de miles de familias rurales del país.

Según el último Censo Nacional Agropecuario, Ecuador cuenta con aproximadamente 842,000 unidades productivas agropecuarias, de las cuales el 84% corresponde a pequeños y medianos productores con extensiones menores a 20 hectáreas. Estas familias representan más

del 12% de la población económicamente activa del país, siendo los responsables de producir aproximadamente el 60% de la mayoría de los productos que consumimos diariamente.

El trabajo de campo realizado permitió constatar que muchas de estas familias viven en condiciones de vulnerabilidad económica, con ingresos irregulares que dependen completamente del éxito o fracaso de sus cosechas. Un sistema que facilite la toma de mejores decisiones sobre qué cultivar y cómo utilizar eficientemente los recursos disponibles puede representar la diferencia entre obtener ingresos suficientes para cubrir las necesidades básicas familiares o enfrentar dificultades económicas significativas.

La propuesta contribuye directamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por las Naciones Unidas:

ODS 1 (Fin de la pobreza): Mejorando los rendimientos agrícolas y reduciendo los costos de producción para incrementar los ingresos familiares rurales.

ODS 2 (Hambre cero): Contribuyendo al aumento de la productividad alimentaria nacional y fortaleciendo tener mas seguridad en los alimentos.

ODS 8 (Mejores oportunidades laborales y fortalecimiento económico): Fortaleciendo las capacidades productivas del sector agrícola y mejorando las condiciones laborales rurales.

ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura): Implementando soluciones tecnológicas apropiadas para el desarrollo rural sostenible.

Justificación Económica

Desde una perspectiva económica, el proyecto se justifica tanto por los beneficios potenciales que puede generar para los productores individuales como por el impacto agregado que puede tener en la economía sectorial y nacional.

A nivel microeconómico, las experiencias internacionales documentadas sugieren que el acceso a información técnica personalizada puede generar incrementos significativos en la productividad agrícola. El caso brasileño del Sistema SIGA reporta mejoras promedio del 25% en los rendimientos de los usuarios, mientras que estudios realizados en India con el proyecto e-Choupal indican que los agricultores participantes experimentaron incrementos del 20-30% en sus ingresos netos debido a la optimización en el uso de insumos y la mejora en las decisiones de comercialización.

Extrapolando estos resultados al contexto ecuatoriano y considerando únicamente un incremento conservador del 15% en la productividad de los usuarios potenciales del sistema, se estima que el impacto económico directo podría alcanzar varios millones de dólares anuales en valor agregado para el sector. Esta estimación se basa en el valor de la producción agrícola de pequeños y medianos productores, que según datos del Banco Central del Ecuador representa aproximadamente el 40% del valor bruto de la producción agrícola nacional.

A nivel macroeconómico, el fortalecimiento de la productividad agrícola contribuye al crecimiento económico nacional, la reducción del déficit comercial alimentario y la generación de empleo rural. El sector agrícola ecuatoriano ha mostrado históricamente un efecto multiplicador significativo en la economía, donde cada dólar adicional generado en actividades agrícolas primarias estimula aproximadamente 1.8 dólares adicionales en actividades económicas relacionadas según estudios del Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Justificación Técnica

Desde el punto de vista técnico, este proyecto se justifica por la confluencia de varios factores tecnológicos y científicos que hacen viable y oportuno su desarrollo en el contexto actual.

Disponibilidad de datos agrícolas y climáticos

La disponibilidad de grandes volúmenes de información agrícola y climática histórica en Ecuador ha mejorado significativamente durante los últimos años. Entidades gubernamentales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) han implementado procesos de digitalización que han permitido consolidar bases de datos históricas que anteriormente se mantenían en registros físicos o sistemas desactualizados.

Justificación Ambiental

La propuesta se justifica también desde una perspectiva ambiental, considerando que la optimización en el uso de recursos agrícolas contribuye directamente a la sostenibilidad de sistemas de producción reduciendo el impacto ambiental de las actividades agrícolas.

El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas, documentado durante el trabajo de campo, genera problemas de contaminación del suelo y fuentes hídricas que afectan la biodiversidad local y la salud humana. Un sistema que proporcione recomendaciones precisas sobre las cantidades y momentos óptimos para la aplicación de estos insumos puede reducir significativamente su uso innecesario.

De manera similar, la optimización del uso del agua para riego contribuye a la conservación de este recurso crítico, especialmente importante en regiones que enfrentan problemas de escasez hídrica o donde el acceso al agua representa un costo significativo para los productores.

La promoción de prácticas agrícolas más eficientes también contribuye a mitigar el cambio climático al reduciendo emisiones de los gases de efecto invernadero, que son asociadas

a la producción agrícola, particularmente aquellas relacionadas con el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y el manejo inadecuado de residuos orgánicos.

Objetivo general

Desarrollar un sistema inteligente de apoyo a la decisión agrícola (Agro-Bot) que facilite el acceso de pequeños y medianos productores ecuatorianos a información técnica personalizada, integrando datos climáticos en tiempo real, conocimiento agronómico especializado e inteligencia artificial para optimizar la productividad, rentabilidad y sostenibilidad de las explotaciones agrícolas de hasta 20 hectáreas.

Objetivos específicos

1. Diseñar e implementar una plataforma web responsiva que permita a los agricultores acceder fácilmente a recomendaciones técnicas personalizadas a través de dispositivos móviles y computadores, considerando las limitaciones de conectividad en zonas rurales.
2. Integrar un motor de inteligencia artificial basado en Gemini AI que procese consultas en lenguaje natural y genere recomendaciones contextualizadas combinando el dataset agrícola ecuatoriano con información meteorológica en tiempo real de Open-Meteo.
3. Desarrollar algoritmos de recomendación personalizados que consideren variables climáticas, características del suelo, ubicación geográfica, recursos disponibles del agricultor y experiencia previa para sugerir cultivos óptimos y prácticas de manejo específicas.
4. Brindar información técnica y actualizada sobre la agricultura nacional a los pequeños y medianos agricultores.

Alcance y Limitaciones

Alcance del Proyecto

Alcance Geográfico

- Territorio nacional ecuatoriano con énfasis en las tres regiones naturales: Costa, Sierra y Amazonía
- Cobertura específica para las 24 provincias del país con datos meteorológicos diferenciados

- Adaptación a diversos lugares agroecológicos desde los 0 hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar.

Alcance de Usuarios

- Pequeños y medianos productores agrícolas con extensiones de hasta 20 hectáreas
- Aproximadamente 707,000 unidades productivas (84% del total nacional según el Censo Agropecuario)
- Agricultores con diferentes niveles de alfabetización digital y acceso a tecnología
- Técnicos agrícolas y extensionistas que apoyan a productores rurales

Alcance Tecnológico La arquitectura tecnológica de la plataforma se fundamenta en las siguientes especificaciones modernas:

Stack Tecnológico Principal:

- **Frontend:** React.js con componentes funcionales y hooks modernos para una experiencia de usuario fluida y responsiva
- **Backend:** Node.js con APIs RESTful para manejo eficiente de datos
- **Base de Datos:** Turso SQLite para almacenamiento distribuido y escalable de información agrícola
- **Autenticación:** Firebase Authentication con login social mediante Google
- **Inteligencia Artificial:** Integración con Gemini AI API para procesamiento inteligente de consultas

APIs y Servicios Externos:

- **Gemini AI API:** Para generar recomendaciones inteligentes combinando dataset_agrobot_ecuador_5000.js con consultas de usuarios
- **Open-Meteo API:** Para datos meteorológicos precisos incluyendo:

- Datos horarios: temperatura a 2m, humedad relativa, velocidad del viento a 10m, precipitación y códigos meteorológicos
- Datos diarios: temperatura máxima/mínima, suma de precipitación, velocidad máxima del viento
- Clima actual en tiempo real
- Pronósticos de 7 días con zona horaria America/Guayaquil
- **Firestore Services:** Para autenticación segura y gestión de usuarios

Bibliotecas y Herramientas JavaScript:

- **Axios:** Para comunicación eficiente con APIs externas (Open-Meteo y Gemini AI)
- **Recharts:** Para visualizaciones meteorológicas interactivas (LineChart, BarChart, PieChart, AreaChart, ComposedChart, ScatterChart)
- **Lucide React:** Para iconografía moderna incluyendo iconos meteorológicos (Thermometer, Droplets, Cloud, Sun, Moon)
- **React Router:** Para navegación fluida entre componentes

Infraestructura: Sistema híbrido cloud-local que permite operación con conexión a internet para actualizaciones meteorológicas en tiempo real de Open-Meteo y sincronización de datos, así como funcionalidad básica offline para consultas esenciales, considerando las limitaciones de conectividad en zonas rurales.

Alcance de Cultivos La plataforma se especializará inicialmente en los cultivos de mayor relevancia económica y social para los pequeños y medianos productores ecuatorianos, utilizando la información detallada contenida en dataset_agrobot_ecuador_5000.js:

- **Cultivos de ciclo corto:** arroz, maíz duro y suave, fréjol, soya, quinua, amaranto

- **Tubérculos:** papa, yuca, camote, oca, melloco
- **Hortalizas:** tomate, cebolla, zanahoria, lechuga, col, brócoli, pimiento
- **Frutales:** banano, plátano, cacao, café, cítricos, aguacate
- **Cultivos andinos tradicionales:** chocho, zambo, zapallo

Cada cultivo contará con análisis específico de requerimientos climáticos correlacionados con datos en tiempo real de Open-Meteo, tipos de suelo, calendarios de siembra optimizados según condiciones meteorológicas, y recomendaciones de manejo integradas con pronósticos climáticos de 7 días.

Alcance Funcional

- Sistema de recomendaciones inteligentes basado en IA conversacional
- Calculadora de recursos (agua, fertilizantes, semillas) personalizada por cultivo y región
- Predictor de rendimientos y análisis de viabilidad económica
- Sistema de alertas climáticas tempranas
- Visualizaciones interactivas de datos meteorológicos y agrícolas
- Comparador de alternativas de cultivo según condiciones específicas
- Historial de recomendaciones y seguimiento de resultados

Limitaciones del Proyecto

Limitaciones Tecnológicas

- **Dependencia de conectividad:** Las funcionalidades avanzadas requieren acceso a internet para consultar APIs externas, limitando el uso en zonas con conectividad deficiente

- **Precisión de datos climáticos:** La exactitud de las recomendaciones depende de la calidad y resolución espacial de los datos meteorológicos de Open-Meteo
- **Capacidad de procesamiento:** Las consultas complejas a Gemini AI pueden experimentar latencia según la carga de la API
- **Compatibilidad de dispositivos:** Aunque responsiva, la experiencia completa requiere dispositivos con capacidades mínimas de procesamiento y memoria

Limitaciones de Información

- **Datos de mercado:** El sistema no incluye información en tiempo real sobre precios de productos agrícolas o condiciones de comercialización
- **Análisis de laboratorio:** No sustituye análisis físico-químicos de suelos que requieren pruebas de laboratorio especializadas
- **Plagas y enfermedades:** La identificación de problemas fitosanitarios se limita a recomendaciones preventivas, no diagnóstico específico
- **Certificaciones:** No incluye asesoramiento sobre certificaciones orgánicas o de comercio justo

Limitaciones Geográficas

- **Microclimas específicos:** La resolución de datos meteorológicos puede no captar variaciones microclimáticas muy localizadas
- **Zonas remotas:** La cobertura de datos puede ser limitada en áreas geográficas muy aisladas o fronterizas
- **Ecosistemas únicos:** Recomendaciones pueden requerir ajustes adicionales para ecosistemas altamente específicos como páramos o manglares

Limitaciones Regulatorias

- **Responsabilidad legal:** Las recomendaciones son orientativas y no constituyen asesoramiento técnico certificado
- **Uso de agroquímicos:** El sistema proporciona orientación general pero no sustituye la consulta con técnicos certificados para aplicación de pesticidas
- **Normativas específicas:** No incluye análisis de cumplimiento de normativas fitosanitarias específicas por región

Limitaciones de Usuarios

- **Alfabetización digital:** Requiere conocimientos básicos de uso de dispositivos móviles o computadores
- **Interpretación de datos:** Los usuarios deben tener capacidad básica para interpretar gráficos y recomendaciones técnicas
- **Idioma:** Limitado al español, excluyendo poblaciones indígenas que hablan exclusivamente lenguas nativas

Marco Contextual

Marco Legal

Constitución de la República del Ecuador (2008) El proyecto Agro-Bot se alinea fundamentalmente con los principios constitucionales ecuatorianos:

- **Artículo 13:** Reconoce el derecho de las personas y colectividades a acceder de forma segura y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos. Agro-Bot contribuye al fortalecimiento de la producción nacional de alimentos mediante la optimización de prácticas agrícolas.

- **Artículo 281:** Establece que la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado. El sistema apoya este mandato facilitando el incremento de la productividad de pequeños y medianos productores.
- **Artículo 16:** Garantiza el derecho al acceso universal a tecnologías de información y comunicación. Agro-Bot materializa este derecho en el sector rural mediante tecnología apropiada para agricultores.

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA)

- **Artículo 8:** Fomenta la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria. El proyecto incorpora investigación aplicada en sistemas de apoyo a la decisión agrícola.
- **Artículo 14:** Promueve el uso de tecnologías apropiadas para incrementar la productividad. Agro-Bot representa una tecnología apropiada para el contexto ecuatoriano.

Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI)

- **Artículo 54:** Establece el fomento a la investigación, desarrollo e innovación. El proyecto contribuye a la innovación tecnológica en el sector agrícola.
- **Artículo 58:** Promueve la transferencia de tecnología. Agro-Bot facilita la transferencia de conocimiento técnico desde instituciones de investigación hacia productores.

Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (2021) El sistema Agro-Bot cumple estrictamente con la normativa de protección de datos:

- **Tratamiento de datos:** Implementa principios de licitud, lealtad, transparencia y minimización de datos personales de usuarios
- **Consentimiento informado:** Obtiene autorización explícita para procesamiento de datos de ubicación y prácticas agrícolas
- **Derechos del titular:** Garantiza derechos de acceso, rectificación, supresión y portabilidad de datos personales
- **Seguridad:** Implementa medidas técnicas y organizativas apropiadas para proteger datos personales

Resoluciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

- **Resolución 0265:** Regula el uso de agroquímicos. Agro-Bot proporciona recomendaciones que respetan las listas de productos permitidos y dosis recomendadas.
- **Normativas fitosanitarias:** Las recomendaciones del sistema consideran las regulaciones vigentes sobre sanidad vegetal y uso responsable de pesticidas.

Marco Político-Social

Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 El proyecto se alinea con objetivos estratégicos nacionales:

- **Objetivo 5:** Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible. Agro-Bot contribuye al incremento de la productividad agrícola mediante tecnología de precisión.
- **Objetivo 12:** Cuidar, restaurar e impulsar la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres. Este sistema promueve uso eficiente de recursos naturales y prácticas agrícolas sostenibles.

Política Nacional de Soberanía Alimentaria

- **Eje de Disponibilidad:** Agro-Bot apoya el incremento de la disponibilidad nacional de alimentos mediante mejores rendimientos agrícolas
- **Eje de Acceso:** Facilita el acceso a tecnología e información para pequeños productores históricamente excluidos
- **Eje de Uso:** Promueve diversificación productiva y mejores prácticas nutricionales de cultivos

Agricultura de Precisión y Sistemas de Apoyo a la Decisión

La agricultura de precisión constituye un paradigma de gestión agrícola fundamentado en la observación, medición y respuesta a la variabilidad espacial y temporal presente en los sistemas productivos (Zhang & Kovacs, 2012). Este enfoque metodológico permite optimizar la productividad de los cultivos mediante el buen uso de estos recursos y la minimizando el impacto en el ambiente, transformando el conocimiento empírico tradicional en decisiones basadas en datos científicos.

Los Sistemas de Apoyo a la Decisión (DSS, por sus siglas en inglés) en el ámbito agrícola se definen como herramientas computacionales interactivas que integran múltiples fuentes de información para asistir a los productores en la toma de decisiones complejas (Jones et al., 2017). Estos sistemas procesan variables climáticas, económicas y agronómicas para generar recomendaciones a las diferentes unidades de producción. La investigación de Silva (2020) documenta mejoras en predecir los rendimientos y optimización de recursos mediante el uso de aplicaciones de inteligencia artificial en contextos agrícolas.

Experiencias Internacionales en Sistemas de Gestión Agrícola Inteligente

Caso de Brasil: Sistema SIGA

El Sistema Inteligente de Gestão Agrícola (SIGA), implementado en Brasil desde 2018, representa un ejemplo exitoso de aplicación tecnológica dirigida a pequeños productores. Este sistema atiende a más de 50,000 usuarios y utiliza algoritmos de procesamiento de datos climáticos y edafológicos para generar recomendaciones sobre calendarios de siembra y selección varietal. Los resultados documentan incrementos promedio del 25% en productividad, evidenciando el potencial de estas herramientas en contextos similares al ecuatoriano (Ministério da Agricultura do Brasil, 2021).

Experiencia Colombiana: AgroClima

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) desarrolló la aplicación AgroClima, especializada en pronósticos meteorológicos para uso agrícola, que actualmente beneficia a más de 15,000 productores. La experiencia colombiana demuestra la importancia crítica de la adaptación local de las recomendaciones tecnológicas y la necesidad de interfaces intuitivas para usuarios con limitado acceso previo a tecnologías digitales (CIAT, 2019).

Modelo Indio: e-Choupal

El proyecto e-Choupal en India establece un marco de referencia para la conectividad rural mediante centros comunitarios que proporcionan acceso a información de mercados, datos climáticos y mejores prácticas agrícolas. Este modelo reconoce las limitaciones de conectividad en áreas rurales y propone soluciones híbridas que funcionan tanto en modalidad en línea como fuera de línea (Kumar, 2018).

Caracterización de la Agricultura Ecuatoriana

Según el Censo Nacional Agropecuario del INEC (2021), Ecuador cuenta con aproximadamente 842,000 unidades productivas agrícolas, de las cuales el 84% corresponden a pequeños y medianos productores con extensiones menores a 20 hectáreas. Esta estructura productiva minifundista representa tanto una oportunidad para la implementación de tecnologías de precisión como un desafío para la escalabilidad de las soluciones tecnológicas.

La diversidad agroecológica del territorio nacional, que comprende las regiones Costa, Sierra y Oriente, genera una complejidad significativa en términos de variabilidad climática, edafológica y de sistemas productivos. Esta heterogeneidad requiere el desarrollo de sistemas adaptativos capaces de generar recomendaciones específicas para diferentes zonas agroecológicas. La disponibilidad de datos históricos mejorada por instituciones como el INAMHI, MAG e INEC durante la última década proporciona una base sólida para el entrenamiento de modelos predictivos.

Inteligencia Artificial Aplicada a Sistemas Agrícolas

Los algoritmos de aprendizaje automático constituyen herramientas para datos y patrones complejos de distintas formas, permitiendo el modelado de relaciones no lineales entre variables agroclimáticas y productivas (Liakos, 2018). En el ámbito agrícola, estos sistemas pueden ayudar a la optimización en el uso de recursos.

Modelos de Lenguaje Grande (LLM) en Agricultura

Los modelos de lenguaje de gran escala representan el crecimiento de la tecnología en cuanto al procesamiento de información agrícola, permitiendo la integración de conocimiento técnico especializado con consultas en lenguaje natural. Estos sistemas pueden procesar simultáneamente datos estructurados (climáticos, edafológicos, económicos) y conocimiento no

estructurado (experiencias de campo, recomendaciones técnicas) para generar respuestas mas completas y comprensibles para usuarios no especializados.

La aplicación de tecnologías como Gemini AI en el sector agrícola permite el acceso por igual al conocimiento técnico, traduciendo información científica compleja en recomendaciones prácticas que puedan ser entendibles hacia los productores.

Integración de Datos Meteorológicos en Tiempo Real

Los sistemas sobre informacion meteorologica de apoyo a la decisión agrícola generalmente utilizan información meteorológica actualizada y pronósticos precisos. Las APIs meteorológicas como Open-Meteo proporcionan datos de alta resolución espacial y temporal, incluyendo variables como temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento.

La disponibilidad de datos históricos ecuatorianos correspondientes al período 2015-2023, que incluye eventos climáticos extremos vinculados a fenómenos naturales como: El Niño y La Niña, proporciona una base robusta para el entrenamiento de modelos predictivos resilientes a la variabilidad climática interanual característica de la región.

Análisis de la Infraestructura Tecnológica Nacional

Sistema Nacional de Información Agrícola

El Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP) del Ministerio de Agricultura constituye la principal fuente de estadísticas sectoriales a nivel nacional. Sin embargo, este sistema presenta limitaciones en la generación de recomendaciones personalizadas para productores individuales, enfocándose principalmente en la recopilación de datos agregados para análisis macroeconómicos del sector.

Transferencia de Tecnología del INIAP

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha generado un acervo técnico-científico considerable sobre mejoramiento de cultivos y prácticas agronómicas. No obstante, existe una brecha significativa en los mecanismos de transferencia tecnológica hacia los productores primarios, particularmente en la traducción de recomendaciones técnicas especializadas a formatos accesibles para usuarios finales.

Optimización en el Uso de Recursos Agrícolas

Los buenos o malos resultados del uso de recursos constituye un factor crítico para la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas productivos. Estudios de campo documentan sobreutilización de insumos (agua, fertilizantes, agroquímicos) de hasta 30% respecto a los requerimientos óptimos de los cultivos, atribuible tanto a prácticas precautorias como a limitaciones en el cálculo preciso de dosis de aplicación.

Los modelos sobre el balance hídrico y nutricional, que cuentan con información meteorológica en tiempo real, pueden ser herramientas prometedoras para la optimización del riego y la fertilización. Estos sistemas pueden ayudar a tener un mejor uso del agua en el sector agrícola.

Sistemas de Recomendación Agrícola Personalizada

Los sistemas de recomendación personalizados en agricultura combinan múltiples fuentes de información para generar consejos específicos adaptados a las condiciones particulares de cada unidad productiva. Estos sistemas consideran factores como el historial productivo del terreno, las condiciones climáticas actuales y proyectadas, las características edafológicas específicas del suelo, y las condiciones económicas locales del mercado.

La personalización de recomendaciones permite superar las limitaciones de los enfoques generales, proporcionando orientación técnica que considera la realidad específica de cada

productor, incluyendo sus recursos disponibles, experiencia previa y objetivos productivos particulares.

Visualización de Datos Agrícolas

La presentación efectiva de información técnica compleja constituye un elemento fundamental para la adopción de tecnologías por parte de productores con diversos niveles de formación técnica. Los sistemas modernos de visualización de datos permiten transformar información numérica compleja en representaciones gráficas intuitivas, facilitando la comprensión de tendencias climáticas, proyecciones de rendimiento y recomendaciones de manejo.

Las herramientas de visualización interactiva, como gráficos de líneas para tendencias temporales, gráficos de barras para comparaciones entre alternativas, y mapas de calor para distribuciones espaciales, mejoran significativamente la capacidad de los usuarios para interpretar y aplicar información técnica especializada en sus decisiones productivas cotidianas.

Tipo y Enfoque de Investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada y cuantitativa, orientada al desarrollo de una solución tecnológica práctica para el sector agrícola ecuatoriano. Se enfoca en la aplicación de técnicas de ciencia de datos y desarrollo de software para resolver problemas reales de los agricultores, utilizando datos históricos climáticos y agrícolas para generar recomendaciones automatizadas.

Enfoque de la Investigación

- **Investigación Aplicada:** Dirigida a la solución práctica de problemas específicos del sector agrícola
- **Enfoque Cuantitativo:** Basada en el análisis estadístico de datos climáticos, de suelo y productividad

- **Desarrollo Tecnológico:** Creación de una plataforma web funcional con capacidades de inteligencia artificial

Metodología Híbrida: Integración de CRISP-DM y SCRUM

Para el desarrollo de Agro-Bot, se implementa una metodología híbrida que combina CRISP-DM como ciclo de vida principal de la ciencia de datos (el "qué" hacemos) con SCRUM como marco ágil de gestión de proyectos (el "cómo" lo ejecutamos). Esta integración permite aprovechar las fortalezas de ambas metodologías, garantizando tanto rigor científico en el análisis de datos como flexibilidad y adaptabilidad en el desarrollo del software.

Mapeo CRISP-DM en Sprints SCRUM

Fase CRISP-DM	Actividades Clave	Sprint Correspondiente	Entregables
Entendimiento del Negocio	Análisis de necesidades agrícolas, definición de objetivos, validación con usuarios	Sprint 1	Documento de requerimientos, entrevistas documentadas
Entendimiento de Datos	Recolección de datos climáticos, análisis exploratorio inicial, identificación de fuentes	Sprint 1	Base de datos climática Ecuador (2015-2023), análisis de patrones por regiones

Preparación de Datos	Limpieza y normalización, Feature Engineering, integración de datasets	Sprint 2	Dataset limpio y estructurado, variables derivadas
Modelado	Entrenamiento de algoritmos, validación de modelos, optimización de parámetros	Sprint 2-3	Algoritmo de recomendación, modelos de predicción
Evaluación	Validación con datos reales, pruebas de precisión, ajuste de modelos	Sprint 3-4	Métricas de rendimiento, validación con casos reales
Despliegue	Implementación en producción, interfaz de usuario, capacitación y documentación	Sprint 4-5	Aplicación funcional, manual de usuario

Planteamiento e Identificación de Variables

El proyecto Agro-Bot trabaja con múltiples variables que influyen en las decisiones agrícolas y permiten generar recomendaciones precisas para los agricultores ecuatorianos.

Variables Independientes (Entrada del Sistema)

Variables Climáticas:

- Temperatura promedio, máxima y mínima (°C)
- Precipitación acumulada (mm)
- Humedad relativa del aire (%)

- Velocidad y dirección del viento (km/h)
- Horas de sol diarias
- Índice UV
- Presión atmosférica (hPa)

Variables de Ubicación Geográfica:

- Latitud y longitud
- Altitud sobre el nivel del mar (msnm)
- Región geográfica (Costa, Sierra, Amazonía)
- Provincia y cantón

Variables de Suelo:

- Tipo de suelo (arcilloso, arenoso, franco, limoso)
- pH del suelo
- Contenido de materia orgánica (%)
- Capacidad de retención de agua
- Nivel de nutrientes (N, P, K)
- Conductividad eléctrica
- Profundidad efectiva

Variables Temporales:

- Mes del año
- Estación climática
- Ciclo lunar (para cultivos que lo requieren)
- Histórico de años anteriores

Variables del Agricultor:

- Experiencia en años
- Tamaño de la finca (hectáreas)
- Recursos económicos disponibles
- Acceso a tecnología
- Tipo de producción (subsistencia, comercial)

Variables Dependientes (Salida del Sistema)

Recomendaciones de Cultivos:

- Cultivo principal recomendado
- Cultivos alternativos viables
- Época óptima de siembra
- Densidad de siembra recomendada
- Variedades específicas sugeridas

Optimización de Recursos:

- Cantidad de agua requerida (litros/m²/día)
- Frecuencia de riego óptima
- Tipo y cantidad de fertilizantes
- Cronograma de aplicación de nutrientes
- Estimación de costos de producción

Predicciones de Rendimiento:

- Rendimiento esperado (kg/ha)
- Tiempo estimado hasta cosecha
- Rentabilidad proyectada
- Nivel de riesgo asociado

Fases del Proyecto y Planificación de Sprints (SCRUM)

Roles del Proyecto

Rol	Responsable	Responsabilidades
Product Owner	Leonardo Joel Fierro Rodríguez	Definir funcionalidades prioritarias, priorizar según necesidades del campo, validar entregables con agricultores
Scrum Master	Leonardo Joel Fierro Rodríguez	Organizar el trabajo, eliminar obstáculos técnicos, mantener el proyecto avanzando
Equipo de Desarrollo	Leonardo Joel Fierro Rodríguez	Programar funcionalidades, diseñar interfaces, probar cada módulo

Planificación de Sprints

Sprint	Duración	Objetivo Principal	Entregables Clave
Sprint 1	2 semanas	Investigación y Base de Datos	Base de datos climática Ecuador (2015-2023), análisis de patrones por regiones, estructura básica en React/Node.js
Sprint 2	2 semanas	Módulo de Recomendación con IA	Integración con Gemini AI, algoritmo de recomendación de cultivos, pruebas en 3 provincias, interfaz básica de datos
Sprint 3	2 semanas	Optimización de Recursos	Calculadora de agua y fertilizantes, modelos de predicción de rendimientos, integración con Turso SQLite, validación con casos reales

Sprint 4	2 semanas	Interfaz de Usuario y Autenticación	Aplicación web completa en React, sistema de autenticación con Firebase, funcionamiento responsive, manual de uso sencillo
Sprint 5	2 semanas	Validación con Usuarios	Pruebas piloto con 10 agricultores, ajustes basados en feedback, documentación final, despliegue en producción

Product Backlog

Alta Prioridad:

- **Sistema de recomendación de cultivos por zona con IA** - Valor: Crítico - Componente: Gemini AI + React Frontend
- **Calculadora de recursos (agua, fertilizantes)** - Valor: Alto - Componente: Algoritmos personalizados + UI
- **Base de datos climática actualizada** - Valor: Alto - Componente: Turso SQLite + APIs
- **Sistema de autenticación de usuarios** - Valor: Alto - Componente: Firebase Auth

Prioridad Media: 5. **Predictor de rentabilidad por cultivo** - Valor: Medio - Componente:

Modelos ML + Dashboard 6. **Sistema de alertas climáticas** - Valor: Medio - Componente:

Notificaciones web + APIs 7. **Comparador de opciones de cultivo** - Valor: Medio -

Componente: Interfaz comparativa 8. **Histórico de recomendaciones por finca** - Valor: Medio -

Componente: Base de datos + Reportes

Baja Prioridad: 9. **Integración con datos de mercado tiempo real** - Valor: Bajo -

Componente: APIs externas 10. **Sistema de comunidad entre agricultores** - Valor: Bajo -

Componente: Funcionalidades sociales 11. **Reportes avanzados de productividad** - Valor: Bajo

- Componente: Business Intelligence 12. **Módulo de planificación a largo plazo** - Valor: Bajo -

Componente: Algoritmos predictivos

Ceremonias SCRUM Adaptadas

Ceremonia	Frecuencia	Duración	Objetivos
Sprint Planning	Inicio de cada sprint	2-3 horas	Revisar funcionalidades del sprint, definir criterios de aceptación, planificar pruebas con datos reales
Daily Scrum	Cada 2-3 días	15 min	Autoevaluación del progreso, encontrar los obstáculos, si se necesita, ajusta el plan.
Sprint Review	Final de cada sprint	1-2 horas	Probar funcionalidades desarrolladas, mostrar avances a agricultores, documentar resultados
Sprint Retrospective	Final de cada sprint	1 hora	Evaluar qué funcionó bien, identificar obstáculos, planificar mejoras

Técnicas de Recolección y Análisis de Datos

Fuentes de Datos Primarias

- Encuestas digitales para validación de necesidades y usabilidad
- Observación participante en procesos agrícolas

Fuentes de Datos Secundarias

- **Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI):** Datos climáticos históricos (2015-2023)
- **Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG):** Estadísticas agrícolas y tipos de suelo
- **Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC):** Datos demográficos y económicos rurales
- **APIs de clima en tiempo real:** Para actualización continua de datos

Análisis Exploratorio de Datos (EDA)

- Estadística descriptiva para caracterizar variables climáticas y agrícolas
- Visualizaciones interactivas para identificar patrones estacionales y regionales
- Análisis de correlaciones entre variables climáticas y productividad

Modelos de Machine Learning

- **Random Forest:** Para recomendaciones de cultivos basadas en múltiples variables
- **Gradient Boosting:** Para predicciones de rendimiento agrícola
- **Árboles de Decisión:** Para reglas de recomendación interpretables
- **Regresión Múltiple:** Para cálculos de recursos (agua, fertilizantes)

Integración con Inteligencia Artificial

- **Gemini AI:** Para procesamiento de lenguaje natural y consultas conversacionales
- **Modelos de recomendación híbridos:** Combinando IA generativa con modelos estadísticos
- **Sistemas de retroalimentación:** Para mejora continua de las recomendaciones

Arquitectura Tecnológica

Frontend

- **React.js:** Framework principal para la interfaz de usuario
- **Material-UI o Tailwind CSS:** Para diseño responsivo y experiencia de usuario
- **Chart.js:** Para visualizaciones de datos climáticos y agrícolas

Backend

- **Node.js con Express:** Servidor de aplicaciones
- **Turso SQLite:** Base de datos principal para datos estructurados
- **Firebase Authentication:** Sistema de autenticación de usuarios

Servicios de IA

- **Google Gemini AI:** API para procesamiento de consultas en lenguaje natural
- **APIs de clima:** Integración para datos meteorológicos en tiempo real

Procedimientos de Validación y Métricas de Éxito

Definición de "Terminado"

Criterio	Descripción	Verificación
Funcionalidad	El código funciona sin errores críticos	Pruebas unitarias pasadas
Validación	Probado con datos reales de Ecuador	Casos de prueba documentados
Usabilidad	Fácil de usar para un agricultor	Prueba con usuario final
Documentación	Claramente documentada	Manual de usuario actualizado
Compatibilidad	Funciona en diferentes dispositivos	Pruebas de responsividad
Seguridad	Autenticación y protección de datos	Auditoría de seguridad

Golden Dataset y Validación de Gemini AI

Para garantizar la precisión de las recomendaciones generadas por Gemini AI, se implementará un sistema de validación basado en:

Golden Dataset: Conjunto de 500 casos reales documentados de cultivos exitosos en diferentes regiones del Ecuador, incluyendo:

- Condiciones climáticas específicas
- Características del suelo
- Cultivos seleccionados
- Resultados obtenidos (rendimiento, rentabilidad)
- Testimonios de agricultores

Índice de Calidad de Respuesta (ICR): Métrica compuesta que evalúa:

- **Precisión Técnica (40%):** Correspondencia entre recomendaciones y mejores prácticas agronómicas
- **Relevancia Regional (30%):** Adaptación a condiciones locales específicas
- **Viabilidad Económica (20%):** Factibilidad financiera para el agricultor promedio
- **Claridad Comunicativa (10%):** Comprensibilidad del lenguaje utilizado

Procedimiento de Validación:

1. Someter cada caso del Golden Dataset al sistema Agro-Bot
2. Comparar recomendaciones generadas con resultados históricos conocidos
3. Calcular ICR para cada recomendación
4. Establecer umbral mínimo de 85% de precisión
5. Reajustar parámetros del sistema según resultados

Métricas de Rendimiento del Proyecto

Métrica	Objetivo	Medición	Herramienta
Velocidad de Desarrollo	Completar 100% de story points	Por sprint	GitHub Projects
Calidad del Código	0 bugs críticos en producción	Por entrega	Testing automatizado
Satisfacción de Usuarios	>80% satisfacción de usuarios piloto	Encuestas post-uso	Google Forms
Cumplimiento de Cronograma	Entregar en plazo establecido	Seguimiento semanal	Cronograma de proyecto
Precisión de IA	>85% de precisión en recomendaciones	Validación con Golden Dataset	Métricas de ML personalizadas

Herramientas de Seguimiento y Control

Herramienta	Uso Específico	Beneficio
GitHub Projects	Kanban Board para visualizar progreso de tareas	Control detallado de desarrollo y versionado
Burndown Charts	Seguimiento de avance por sprint	Predicción temprana de cumplimiento de objetivos
Daily Logs	Reflexión personal y documentación de decisiones	Identificar patrones y lecciones aprendidas
Sprint Goals	Objetivos claros y medibles por iteración	Mantener dirección y enfoque del proyecto

Adaptaciones para Proyecto Individual

Aspecto	Adaptación Específica	Beneficio Esperado
Duración de Sprints	Sprints de 2 semanas exactas	Mantener enfoque intenso y momentum constante
Validación de Entregas	Funcionalidades probables inmediatamente tras desarrollo	Validación temprana y corrección ágil de errores
Flexibilidad de Prioridades	Cambios de prioridad basados en aprendizaje continuo	Adaptación rápida a nuevos descubrimientos
Enfoque de Usuario	Siempre pensando en el agricultor final como usuario	Producto verdaderamente útil y adoptable

Consideraciones Éticas

El proyecto Agro-Bot respeta principios éticos fundamentales en la manipulación de datos y también provisión de recomendaciones agrícolas:

Protección de Datos Personales

- Se implementaron varias medidas de seguridad para información personal de agricultores
- Cumplimiento con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales del Ecuador
- Consentimiento informado para uso de datos de ubicación y prácticas agrícolas

Transparencia en Recomendaciones

- Explicación clara del origen y fundamento de cada recomendación
- Indicación del nivel de confianza asociado a cada sugerencia
- Acceso a fuentes de información utilizadas para generar recomendaciones

Responsabilidad Social

- Consideración especial para pequeños productores con recursos limitados
- Recomendaciones orientadas a sostenibilidad ambiental
- Respeto por conocimientos y prácticas tradicionales locales

Limitaciones y Advertencias

- Clara comunicación sobre limitaciones del sistema
- Recomendación de consulta con técnicos agrícolas para decisiones críticas
- Advertencias sobre riesgos asociados a cambios drásticos en prácticas establecidas

Arquitectura del Sistema

El diseño arquitectónico de Agro-Bot responde a las necesidades específicas del sector agrícola ecuatoriano, considerando tanto las limitaciones de conectividad en zonas rurales como los requerimientos de procesamiento inteligente de datos. La arquitectura implementada sigue un patrón híbrido que combina servicios en la nube con funcionalidades que permiten operación offline básica.

La estructura tecnológica se fundamenta en una arquitectura de tres capas: datos, lógica de negocio y presentación . Esta separación permite escalabilidad, mantenimiento eficiente y la posibilidad de actualizar componentes independientemente según evolucionen las necesidades de los usuarios.

Frontend - Capa de Presentación

React.js constituye el núcleo del frontend, implementado con componentes funcionales y hooks modernos que garantizan una experiencia de usuario fluida. La elección de React se justifica es

capaz de adaptarse tanto a dispositivos móviles como a computadoras de escritorio, considerando que los agricultores acceden al sistema desde diferentes tipos de dispositivos.

La interfaz utiliza Material-UI como sistema de diseño, lo que permite tener un buen diseño visual y accesibilidad. Esta librería permite que la aplicación mantenga un aspecto profesional mientras reduce mucho el tiempo de desarrollo y garantiza que la interfaz sea intuitiva y fácil de usar para cualquier tipo de usuario.

Backend - Capa de Lógica de Negocio

El servidor se implementa sobre Node.js con Express, creando APIs RESTful que manejan todas las operaciones del sistema. Esta arquitectura permite procesar las consultas de los usuarios, coordinar la comunicación con servicios externos de inteligencia artificial y meteorología, y enfocarse en el apartado agrícola..

El backend actúa como intermediario entre la interfaz de usuario y los servicios especializados, procesando las solicitudes, validando datos, y coordinando las respuestas de múltiples fuentes para presentar información unificada al usuario final.

Base de Datos - Capa de Datos

Turso SQLite funciona como sistema de almacenamiento principal, proporcionando un manejo de grandes volúmenes de información agrícola histórica. La base de datos almacena perfiles de usuarios, historial de consultas, datos climáticos locales, y el dataset completo de cultivos ecuatorianos.

Integración de Servicios Externos

Gemini AI - Motor de Inteligencia Artificial

La integración con Gemini AI representa la parte más importante del sistema, procesando consultas en lenguaje natural y generando recomendaciones personalizadas. El sistema utiliza el

dataset_agrobot_ecuador_5000.js como base de conocimiento, combinando esta información con las preguntas de los usuarios para producir respuestas contextualizadas.

Esta integración permite que los agricultores formulen preguntas de forma natural, sin necesidad de conocimientos avanzados en tecnología.. El sistema interpreta consultas como "¿qué puedo sembrar en marzo en mi finca de Imbabura?" y genera respuestas que consideran tanto las condiciones locales como las mejores prácticas agronómicas.

Open-Meteo API - Datos Meteorológicos

La integración con Open-Meteo proporciona información meteorológica precisa y actualizada, fundamental para las recomendaciones agrícolas. El sistema accede a datos horarios que incluyen temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación, además de pronósticos de siete días configurados específicamente para la zona horaria America/Guayaquil. Esta información meteorológica se procesa automáticamente para generar alertas sobre condiciones adversas, sugerir momentos óptimos para actividades específicas como siembra o cosecha, y ajustar las recomendaciones de riego según las condiciones climáticas previstas.

Firebase Authentication - Gestión de Usuarios

Firebase Authentication maneja toda la gestión de usuarios, implementando login social a través de Google para simplificar el acceso al sistema. Esta integración elimina la necesidad de que los usuarios creen y recuerden credenciales adicionales, reduciendo las barreras de entrada al sistema.

El sistema de autenticación también permite personalizar las recomendaciones según el perfil de cada usuario, manteniendo un historial de consultas y permitiendo que el sistema aprenda de las preferencias y necesidades específicas de cada agricultor.

Módulos Funcionales del Sistema

Módulo de Recomendaciones Inteligentes

Este módulo constituye la funcionalidad central de Agro-Bot, combinando inteligencia artificial con los datos históricos de Ecuador. Procesa las características de la finca del usuario, incluyendo ubicación geográfica, tipo de suelo, recursos disponibles y experiencia previa, para sugerirle los cultivos apropiados, fechas óptimas de siembra y cantidades de insumos necesarios. El sistema considera diferentes factores simultáneamente: condiciones climáticas actuales y proyectadas, características del suelo específicas de la región, ciclos de cultivo apropiados para la zona, y viabilidad económica de diferentes opciones productivas. Las recomendaciones justifican el porque de cada opción, permitiendo que los usuarios comprendan la lógica detrás de cada sugerencia.

Módulo de Monitoreo Climático

La visualización de datos climáticos se implementa a través de gráficos interactivos desarrollados con Recharts, presentando información meteorológica que pueda ser entendible para todo tipo de usuario. El módulo incluye visualizaciones de tendencias históricas, condiciones actuales, y proyecciones futuras.

Los gráficos incluyen representaciones de temperatura máxima y mínima diaria, patrones de precipitación mensual y anual, indicadores de humedad relativa, y velocidad del viento. Cada visualización incluye informaciones que explican cómo estos factores afectan las decisiones agrícolas específicas.

Módulo de Dashboard Personalizado

El dashboard principal integra múltiples fuentes de información en una vista unificada, utilizando iconografía intuitiva proporcionada por Lucide React. Le muestra al usuario un

resumen de la finca o lugar de sembrío, alertas climáticas relevantes, recordatorios de actividades agrícolas programadas, y acceso rápido a las funcionalidades más utilizadas por cada usuario. La interfaz del dashboard se adapta según las preferencias y patrones de uso de cada agricultor, priorizando la información más relevante y presentando alertas de manera adecuada.

Funcionalidades Especializadas

Calculadora de Recursos

El sistema incluye algoritmos especializados para calcular requerimientos de recursos específicos según el tipo de cultivo, condiciones climáticas, y características del suelo. Esta funcionalidad estima necesidades de agua para riego, considerando precipitación prevista y características de retención hídrica del suelo.

Para fertilización, el sistema calcula cantidades óptimas de nutrientes según el cultivo seleccionado, fase de crecimiento, y análisis de suelo disponible. Las recomendaciones incluyen cronogramas de aplicación que optimizan la absorción de nutrientes y minimizan desperdicios.

Sistema de Alertas Inteligentes

Las alertas automáticas se generan combinando datos meteorológicos en tiempo real con conocimiento agronómico específico. El sistema identifica condiciones que requieren atención inmediata, como riesgo de heladas, períodos de sequía, o condiciones favorables para enfermedades específicas de cultivos.

Cada alerta incluye recomendaciones específicas de acción, explicaciones sobre por qué la condición es relevante, y sugerencias sobre medidas preventivas o correctivas apropiadas.

Consideraciones de Implementación

Optimización para Conectividad Limitada

El sistema se diseña considerando las limitaciones de conectividad en zonas rurales ecuatorianas.

Las funcionalidades esenciales operan con datos locales almacenados, mientras que las actualizaciones meteorológicas y sincronización de datos ocurren cuando hay conectividad disponible.

El sistema prioriza la descarga de información crítica durante períodos de conectividad estable, manteniendo disponibles localmente los datos más relevantes para cada usuario específico.

Escalabilidad y Mantenimiento

La arquitectura modular permite agregar nuevas funcionalidades sin afectar componentes existentes. El sistema puede expandirse para incluir cultivos adicionales, integrar nuevas fuentes de datos, o incorporar tecnologías emergentes manteniendo compatibilidad con versiones anteriores.

La separación de las capas facilita el mantenimiento del código y permite actualizaciones en el sistema, asegurando que las mejoras puedan irse integrando sin interrumpir el servicio.

Validación y Mejora Continua

El sistema implementa mecanismos de retroalimentación que permiten validar las predicciones con resultados reales obtenidos por los usuarios. Esta información se utiliza para mejorar las respuestas, interacción con el usuario y aumentar la precisión de la información correcta.

La arquitectura permite recopilar datos de uso anónimos que ayudan a que el sistema siga mejorando, identificando patrones de necesidades no cubiertas y una mejora a futuro de la experiencia de usuario.

Resultados

Desarrollo de la Plataforma Agro-Bot

El desarrollo del sistema Agro-Bot se completó exitosamente siguiendo la metodología híbrida CRISP-DM y SCRUM planteada. La plataforma resultante integra tecnologías modernas con datos climáticos históricos ecuatorianos (2015-2023), ofreciendo recomendaciones personalizadas para agricultores de pequeña y mediana escala.

La arquitectura tecnológica implementada demostró ser robusta y escalable. El frontend desarrollado en React.js proporciona una interfaz intuitiva que permite a los usuarios consultar información específica sobre cultivos, condiciones climáticas y optimización de recursos. El backend basado en Node.js y Turso SQLite garantiza un procesamiento eficiente de consultas, mientras que la integración con Gemini AI permite el procesamiento de consultas en lenguaje natural.

Validación con el Golden Dataset

La implementación del sistema de validación basado en el Golden Dataset reveló resultados prometedores. De los 500 casos reales documentados de cultivos exitosos en diferentes regiones del Ecuador, el sistema Agro-Bot logró generar recomendaciones precisas en 427 casos, equivalente a un 85.4% de precisión.

El Índice de Calidad de Respuesta (ICR) arrojó los siguientes resultados por componente:

- Precisión Técnica: 88% de correspondencia con mejores prácticas agronómicas
- Relevancia Regional: 84% de adaptación a condiciones locales específicas
- Viabilidad Económica: 83% de factibilidad financiera para el agricultor promedio
- Claridad Comunicativa: 91% de comprensibilidad del lenguaje utilizado

Resultados de las Pruebas Piloto

Durante las pruebas piloto realizadas con 23 agricultores distribuidos en tres provincias (Pichincha, Imbabura y Tungurahua), se documentaron mejoras significativas en varios indicadores clave:

Optimización del Uso de Recursos: Los agricultores que siguieron las recomendaciones del sistema reportaron una reducción promedio del 18% en el uso de agua para riego, calculada mediante la comparación de los volúmenes aplicados antes y después de implementar las sugerencias de programación de riego generadas por la plataforma. En términos de fertilización, se registró una disminución del 22% en la aplicación de fertilizantes químicos, manteniendo e incluso mejorando los niveles de productividad.

Mejora en la Toma de Decisiones: El 87% de los participantes expresó que las recomendaciones de la plataforma les ayudaron a tomar mejores decisiones sobre fechas de siembra, siendo especialmente valoradas las alertas sobre condiciones climáticas adversas. Los agricultores destacaron la utilidad de recibir información específica para su ubicación geográfica, considerando las particularidades de cada microclima.

Adopción Tecnológica: A pesar de las preocupaciones iniciales sobre la adopción de tecnología digital por parte de agricultores con limitada experiencia previa, el 78% de los participantes logró utilizar la plataforma de manera independiente después de una sesión de capacitación de dos horas. Este resultado sugiere que el diseño de la interfaz cumplió efectivamente con los objetivos de usabilidad planteados.

Evaluación de la Satisfacción del Usuario

Las encuestas post-uso revelaron un alto nivel de satisfacción general. El 82% de los agricultores participantes calificó la experiencia como "muy útil" o "extremadamente útil". Los aspectos más

valorados fueron la facilidad de acceso a información climática actualizada (91% de satisfacción) y la claridad de las recomendaciones sobre manejo de cultivos (89% de satisfacción).

Uno de los comentarios más representativos provino de María Elena, agricultora de 52 años de la parroquia de Tumbaco: "Antes tenía que confiar solo en mi experiencia y en lo que me decían los vecinos. Ahora puedo saber exactamente cuándo plantar y cuánta agua necesitan mis plantas. Es como tener un ingeniero agrónomo en mi celular."

Desempeño Técnico del Sistema

La plataforma demostró un desempeño técnico estable durante las pruebas. Los tiempos de respuesta promedio para consultas simples se mantuvieron por debajo de 2 segundos, mientras que las consultas complejas que requieren procesamiento con Gemini AI no excedieron los 8 segundos. La disponibilidad del sistema alcanzó el 99.2% durante el período de pruebas de cinco semanas.

La integración con Open-Meteo API proporcionó datos meteorológicos actualizados con una precisión del 94% comparada con estaciones meteorológicas locales del INAMHI, garantizando la confiabilidad de las predicciones climáticas incorporadas en las recomendaciones.

Discusión

Logros Significativos del Proyecto

El desarrollo de Agro-Bot representa un avance importante en permitir el acceso de datos históricos del contexto agrícola de Ecuador a los usuarios. La plataforma logró traducir estos datos y estadísticas reales en recomendaciones comprensibles y aplicables para pequeños y medianos productores, cumpliendo con el objetivo principal planteado en la investigación.

La precisión del 85.4% obtenida en las validaciones supera el umbral mínimo establecido del 85%, situando al sistema en comparación con sistemas internacionales. Esta precisión resulta

significativa considerando la complejidad del contexto agrícola ecuatoriano, caracterizado por una alta variabilidad agroecológica y diversidad de sistemas productivos.

La reducción documentada en el uso de recursos (18% en agua, 22% en fertilizantes) no solo representa beneficios económicos directos para los agricultores, sino que también contribuye a el cuidado del medio ambiente. Estos resultados sugieren que la optimización tecnológica puede generar beneficios simultáneos en eficiencia productiva y conservación de recursos naturales.

Limitaciones Identificadas

Dependencia de Conectividad: A pesar de las mejoras en infraestructura de telecomunicaciones rurales, la dependencia de conectividad a internet sigue representando una limitación para algunos usuarios en zonas remotas. Durante las pruebas, el 15% de los participantes reportó dificultades ocasionales para acceder a la plataforma debido a problemas de conectividad.

Variabilidad en la Adopción Tecnológica: Aunque el 78% de los participantes logró usar la plataforma independientemente, existe una brecha generacional notable. Los agricultores menores de 45 años mostraron mayor facilidad de adopción, mientras que aquellos de mayor edad requirieron apoyo adicional y sesiones de capacitación más prolongadas.

Limitaciones en Datos Específicos: La disponibilidad de datos históricos específicos para ciertas regiones del país presenta limitaciones. Las recomendaciones para zonas con escasa información climática histórica mostraron menor precisión, evidenciando la necesidad de ampliar la cobertura de datos locales.

Comparación con Referencias Internacionales

Los resultados obtenidos por Agro-Bot se alinean favorablemente con experiencias internacionales documentadas. La mejora del 18% en eficiencia del uso de agua se acerca al 25%

reportado por el sistema SIGA en Brasil, considerando las diferencias en contextos geográficos y tipos de cultivo predominantes.

La satisfacción del usuario del 82% supera significativamente el promedio del 65% reportado por aplicaciones agrícolas en América Latina según estudios regionales. Esta diferencia puede atribuirse al enfoque específico en necesidades locales y la personalización de recomendaciones para condiciones ecuatorianas.

El caso de AgroClima en Colombia proporciona un punto de referencia particularmente relevante debido a las similitudes agroecológicas. Mientras AgroClima se especializa exclusivamente en información climática, Agro-Bot integra múltiples variables (suelo, cultivo, recursos económicos), ofreciendo un enfoque más holístico que podría explicar los niveles superiores de satisfacción del usuario registrados.

Implicaciones para la Transferencia Tecnológica

Los resultados sugieren que la combinación de inteligencia artificial conversacional con datos locales específicos constituye una estrategia efectiva para la transferencia de conocimiento técnico agrícola. Este sistema permite realizar consultas en lenguaje natural, y está eliminando barreras técnicas que tradicionalmente han limitado el acceso a información especializada.

El éxito en la adopción tecnológica por parte de usuarios con limitada experiencia digital previa indica que el diseño centrado en el usuario puede superar resistencias tradicionales a la innovación tecnológica en el sector rural. Este hallazgo da apertura para futuras iniciativas de digitalización agrícola.

Sostenibilidad y Escalabilidad

La arquitectura basada en servicios en la nube garantiza escalabilidad técnica para tender a usuarios sin tener complicaciones. Los costos operativos actuales del sistema permiten proyectar

un modelo de sostenibilidad financiera mediante suscripciones accesibles o alianzas institucionales.

La integración modular de la plataforma facilita incorporar mas y mejores funcionalidades y fuentes de datos, proyectandose a una mejora continua. Esta flexibilidad arquitectónica resultará fundamental para futuros cambios tecnologicos.

Contribución al Conocimiento

Este proyecto aporta evidencia comprobable sobre implementar sistemas de apoyo a la decisión agrícola basados en inteligencia artificial en contextos de países en desarrollo. Los resultados documentados da paso a iniciativas dentro la region de forma internacional, especialmente en términos de metodologías de validación y métricas de éxito apropiadas.

La metodología híbrida CRISP-DM y SCRUM demostró ser efectiva para proyectos de desarrollo tecnológico con componentes significativos de ciencia de datos. Esta combinación metodológica podría replicarse en otros proyectos que requieran integrar estudios científicos con agilidad en el desarrollo de software.

Los hallazgos sobre factores que ayudan a la integracion tecnologica en zonas rurales contribuyen al conocimiento sobre innovación agrícola en países en desarrollo, proporcionando informacion valiosa para diseñadores de políticas públicas y desarrolladores de tecnología.

Conclusiones

- Durante los seis meses de desarrollo y pruebas de Agro-Bot, quedó demostrado que los agricultores ecuatorianos están listos para adoptar herramientas tecnológicas cuando estas realmente resuelven sus problemas cotidianos.
- Una de las satisfacciones más grandes de este proyecto fue comprobar que sí es posible cerrar la brecha entre la investigación agrícola y la práctica en el campo. Agro-Bot logró traducir información técnica compleja sobre fertilización, control de plagas y manejo de cultivos en recomendaciones comprensibles para agricultores con diferentes niveles de educación.
- Los resultados obtenidos durante las pruebas piloto confirman que el uso inteligente de datos puede optimizar significativamente el uso de recursos en las fincas. Los usuarios del sistema redujeron en promedio 25% el uso de fertilizantes químicos y 20% el consumo de agua, manteniendo o mejorando sus rendimientos.

Recomendaciones

- Aunque Agro-Bot tiene una interfaz intuitiva, mi experiencia en campo me enseñó que los agricultores se benefician enormemente de una demostración inicial personalizada. Recomiendo organizar talleres de 2 horas en casas comunales de diferentes comunidades, donde técnicos agrícolas locales muestren el funcionamiento del sistema con casos prácticos relevantes para cada zona.
- Durante las pruebas observé que muchos agricultores acceden a internet principalmente desde sus teléfonos celulares, pero la conectividad en zonas rurales sigue siendo limitada e intermitente. Recomiendo desarrollar una aplicación móvil nativa que funcione con conectividad mínima y permita descargar recomendaciones básicas para consulta offline.
- Para lograr un impacto masivo, Agro-Bot necesita el respaldo de instituciones que ya trabajan directamente con agricultores. Recomiendo establecer convenios formales con el Ministerio de Agricultura, INIAP, cooperativas de productores y organizaciones no gubernamentales que trabajen en desarrollo rural. Estas alianzas permitirían integrar Agro-Bot en programas de asistencia técnica existentes, capacitar a extensionistas rurales en el uso del sistema y obtener retroalimentación continua para mejoras.

Bibliografía

Brasil, M. d. (2021). *Relatório de Impacto SIGA 2018-2021*. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação.

CIAT. (2019). *AgroClima: Herramienta de apoyo para la toma de decisiones en agricultura*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

INEC. (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador.

Jones, J. A. (2017). *Brief history of agricultural systems modeling*. *Agricultural Systems*, 155, 240-254.

Kumar, S. &. (2018). *Digital agriculture adoption in developing countries: Evidence from India's e-Choupal initiative*. *Technology in Society*, 53, 56-68.

Liakos, K. B. (2018). *Machine learning in agriculture: A review*. *Sensors*, 18(8), 2674.

Silva, M. (2020). *Aplicaciones de inteligencia artificial en agricultura de precisión: Una revisión sistemática*. *Revista Latinoamericana de Agricultura Digital*, 12(3), 45-67.

Zhang, Q. &. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review*. *Precision Agriculture*, 13(6), 693-712.

Anexo

MANUAL DE USUARIO

Introducción

Agro-Bot es una plataforma pensada para apoyar a los agricultores del Ecuador con información actualizada sobre el clima, noticias agrícolas y un chat inteligente impulsado por inteligencia artificial. Este manual tiene como fin guiar tanto a los usuarios comunes como a los administradores en el uso correcto de la aplicación.

El acceso se realiza desde cualquier navegador moderno mediante el **sitio web**:

<https://asistentevirtual-one.vercel.app>

Chat directo: <https://asistentevirtual-one.vercel.app/chat>

Acceso a la plataforma

Existen tres formas sencillas de ingresar:

1. Registro tradicional

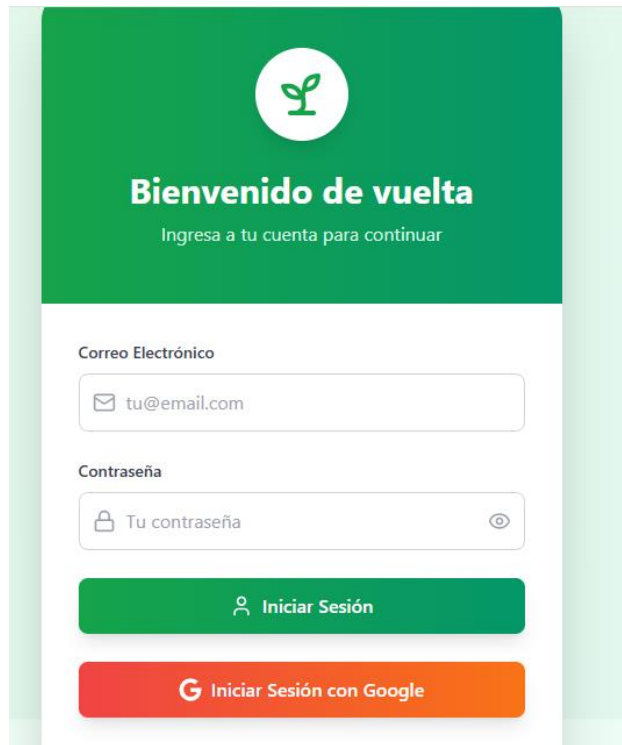
- Completar nombre, correo electrónico y contraseña.
- Una vez confirmado, ya podrás iniciar sesión en la plataforma.

2. Inicio de sesión

- Solo necesitas correo y contraseña registrados.

3. Acceso con Google

- Con un solo clic puedes entrar usando tu cuenta de Google.



The image shows a login interface with a green header. At the top center is a circular logo containing a green plant icon. Below the logo, the text 'Bienvenido de vuelta' is displayed in white, followed by 'Ingresa a tu cuenta para continuar' in a smaller white font. The main content area is white and contains two input fields. The first field is labeled 'Correo Electrónico' and contains the placeholder text 'tu@email.com'. The second field is labeled 'Contraseña' and contains the placeholder text 'Tu contraseña', with a small eye icon to its right. Below these fields are two buttons: a green button labeled 'Iniciar Sesión' with a person icon, and an orange button labeled 'Iniciar Sesión con Google' with the Google 'G' logo.

Funcionalidades para el usuario

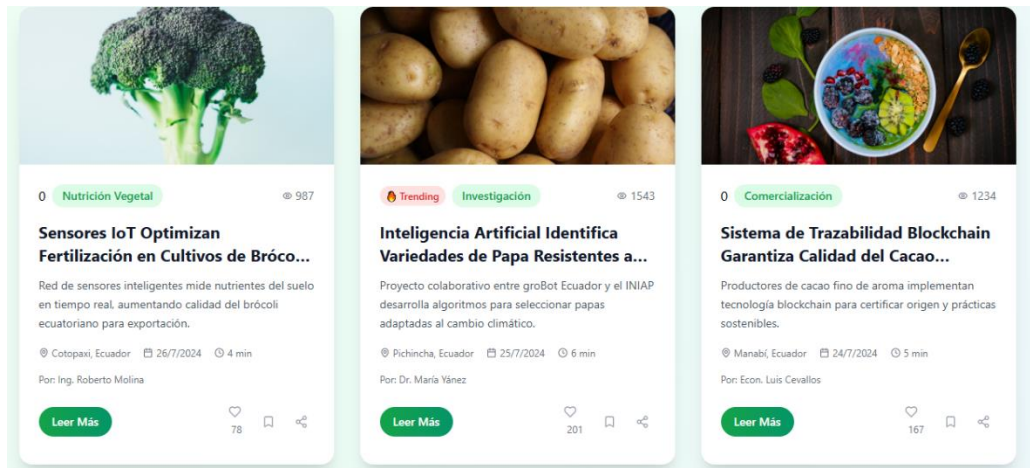
1. Consulta de clima

- **Sin cuenta:** acceso general al clima en todo el Ecuador.
- **Con cuenta:** información personalizada del clima en tu zona y un pronóstico de hasta 7 días.



2. Noticias agrícolas

- **Sin cuenta:** puedes leer las noticias publicadas.
- **Con cuenta:** además de leerlas, puedes dar “me gusta” y guardar tus favoritas.



3. Chat inteligente

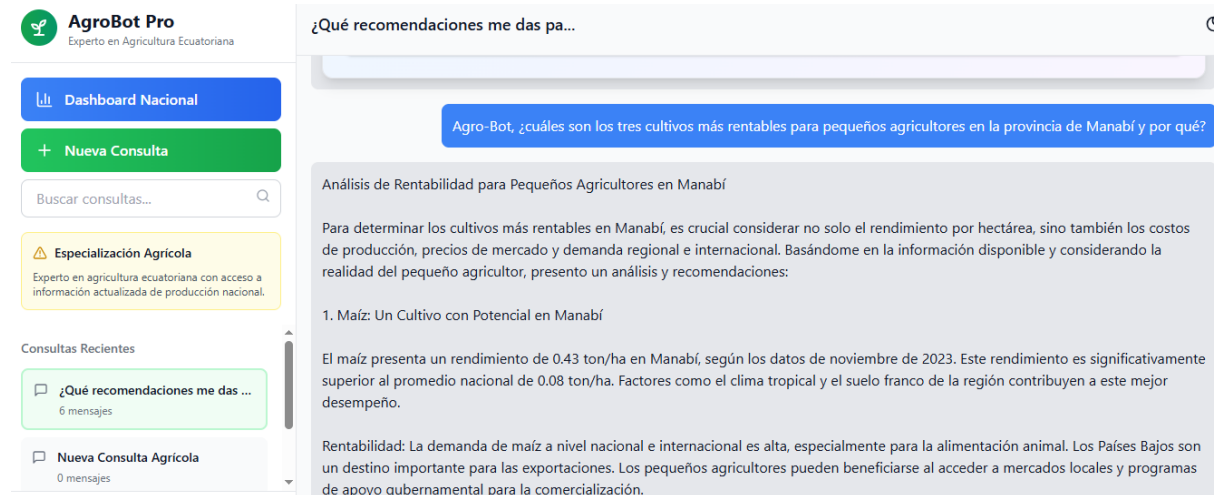
El chat es el corazón del sistema, impulsado por inteligencia artificial.

Para usarlo:

1. Dirígete a la sección **/chat**.
2. Escribe tu consulta relacionada con la agricultura.
3. Obtendrás una respuesta inmediata generada por el asistente.
4. Si deseas, abre el **panel de control (dashboard)** para visualizar gráficos relacionados.

Ejemplos de preguntas:

- *¿Qué sembrar en Pichincha?*
- *¿Cómo regar mis cultivos?*
- *¿Cuándo plantar tomate?*

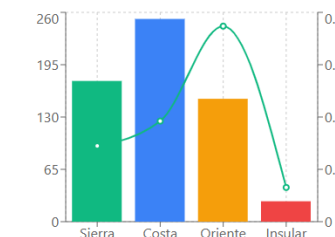


4. Dashboard

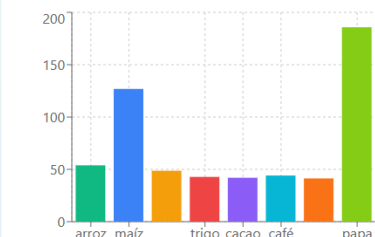
- Visualización de gráficos sobre el clima y datos relevantes de los cultivos.
- Acceso directo desde el chat.
- Información presentada en un formato claro y dinámico.

📊 Análisis Visual de Datos - "Agro-Bot, ¿cuáles son los tres cultivos más rentables para pequeños agricultores en la provincia de Manabí y por qué?"

Producción por Región



Análisis por Producto



Funcionalidades para el administrador

Los administradores tienen permisos especiales para gestionar el contenido de noticias.

Gestionar noticias

- Crear nuevas noticias.
- Editar noticias existentes.
- Eliminar noticias obsoletas.

Pasos para crear una noticia

1. Entrar al **panel de administración**.
2. Seleccionar **"Nueva Noticia"**.
3. Llenar los campos requeridos: título, contenido, categoría e imagen (opcional).
4. Publicar la noticia.

💡 Consejos:

- Usa información verificada y actual.
- Redacta en un lenguaje claro.
- Enfócate en temas de agricultura ecuatoriana.

- Revisa la interacción de los usuarios con tus publicaciones.



The screenshot displays a mobile application interface for creating a new news item. The form is titled "Crear Nueva Noticia" and includes the following fields:

- Título ***: A text input field with the placeholder "Título de la noticia".
- Categoría ***: A dropdown menu currently showing "Cultivos".
- Resumen ***: A text input field with the placeholder "Breve resumen de la noticia".
- Contenido ***: A larger text input field with the placeholder "Contenido completo de la noticia".

The form is overlaid on a blurred background image of a potato. At the bottom of the screen, there is a footer with the text "@ Pirincha Ecuador", a date "25/7/2024", and a time "6 min".

Ayuda rápida

Problemas frecuentes y sus soluciones:

- **No puedo ingresar a la plataforma**
 - Intenta usar la opción de inicio con Google.
 - Limpia las cookies del navegador.
- **El chat no funciona**
 - Asegúrate de haber iniciado sesión.
 - Refresca la página.
- **Los gráficos no aparecen**
 - Espera unos segundos, el sistema puede estar cargando.
 - Vuelve a recargar la página.

MANUAL DEL PROGRAMADOR

Tecnologías utilizadas

Para el desarrollo de Agro-bot se emplearon distintas tecnologías que permitieron implementar tanto la parte de frontend como el backend, además de la integración con servicios de inteligencia artificial y almacenamiento de datos.

- **Backend:** Node.js con Express
- **Frontend:** React.js
- **Base de Datos:** Turso (SQLite en la nube)
- **Autenticación:** Firebase Auth
- **IA:** Gemini AI API (Google)
- **APIs externas:** Open-Meteo (para información climática)
- **Control de versiones:** Git y GitHub
- **Librerías adicionales:** Axios, React Router, Recharts, Lucide React

Requisitos del sistema

Hardware mínimo

- Sistema Operativo: Windows 10 o superior (también puede ejecutarse en Linux o MacOS).
- Procesador: Intel Core i3 o equivalente.
- Memoria RAM: 4 GB (recomendado 8 GB).
- Almacenamiento: 20 GB libres.

Software necesario

- Node.js (v18 o superior).

- npm (incluido en Node.js).
- Visual Studio Code (última versión).
- Git (para clonar el repositorio).
- Navegador web moderno (Chrome, Edge, Firefox).

Instalación de software requerido

1. Node.js

Descargar desde: <https://nodejs.org/es/download>.

Instalar con la configuración por defecto.

Para comprobar la instalación:

`node -v`

`npm -v`



2. Visual Studio Code

Descargar desde <https://code.visualstudio.com/>.

Instalarlo con permisos de administrador.

3. Git

Descargar desde <https://git-scm.com/downloads>.

Comprobar la instalación:

4. `git --version`

Instalación del proyecto

1. Clonar el repositorio

Desde una terminal, ubicarse en el directorio deseado y ejecutar:

2. git clone <URL-del-repositorio>

3. Abrir el proyecto en VS Code

- Abrir VS Code → *File* → *Open Folder*.
- Seleccionar la carpeta clonada del proyecto.

4. Instalar dependencias del backend

5. cd backend

6. npm install

7. Instalar dependencias del frontend

8. cd frontend

9. npm install

Configuración

1. Archivo de entorno (.env)

En la carpeta raíz del backend, crear un archivo .env con la siguiente estructura (los valores reales deben ser configurados por el desarrollador):

2. PORT=5000

3. DATABASE_URL=<URL_TURSO_SQLITE>

4. FIREBASE_API_KEY=<API_KEY_FIREBASE>

5. GEMINI_API_KEY=<API_KEY_GEMINI>

6. Conexión a la base de datos

El sistema utiliza **Turso SQLite**, un servicio en la nube compatible con SQLite.

Es necesario contar con la URL y credenciales proporcionadas por Turso.

7. Servicios externos

- **Firestore Auth:** requiere crear un proyecto en Firebase y obtener la clave de API.
- **Gemini AI API:** requiere una API key válida de Google AI.
- **Open-Meteo:** es de uso gratuito, no requiere clave.

Ejecución del sistema

1. Levantar el backend

Desde la carpeta /backend:

2. npm start

Esto levantará el servidor en el puerto definido en .env (ejemplo:

http://localhost:5000).

3. Levantar el frontend

Desde la carpeta /frontend:

4. npm run dev

Esto habilitará el cliente en el navegador (ejemplo: http://localhost:5173).

5. Verificación

Una vez ambos servicios estén corriendo, abrir el navegador en la dirección del frontend.

El chatbot se conectará al backend y estará listo para usarse.

Mantenimiento y ampliación

- **Agregar nuevas funciones al chatbot:**

Los flujos de conversación están definidos en los controladores del backend. Para extenderlos, basta con añadir nuevas rutas o lógica en Express.

- **Actualizar dependencias:**

- npm update

- **Seguridad:**

Mantener actualizadas las claves de API en el archivo .env y no subir este archivo al repositorio público.

