

Desafíos y Oportunidades: Evaluando la Adopción de Tecnología en la Agricultura
Colombiana.

Elaborado por:

Miller Andres Ostos Castro

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Integración - Pregrado

Bogotá, 2025

Resumen

En la agricultura colombiana, las plagas y enfermedades causan pérdidas graves. Este problema afecta sobre todo a los pequeños agricultores, quienes a menudo no tienen acceso a un experto que los asesore a tiempo.

Este trabajo presenta una solución a ese problema. Se trata de un chatbot que funciona directamente en WhatsApp, una aplicación que la mayoría de los agricultores ya conoce y usa.

El sistema es simple el agricultor envía una foto o describe el problema de su cultivo. Por detrás, un sistema de inteligencia artificial analiza la información y le devuelve una respuesta con un posible diagnóstico y algunos consejos.

El prototipo se construyó y funciona. Con esto se demuestra que la idea no solo es técnicamente posible, sino que es una solución económica y fácil de adoptar. Lo más importante es que elimina la necesidad de que el agricultor descargue o aprenda a usar una aplicación nueva,

Palabras clave: AgriTech, chatbot, inteligencia artificial, sanidad vegetal, desarrollo rural, WhatsApp, agricultura colombiana.

Abstract

Agriculture in Colombia faces a constant challenge: crop loss due to pests and diseases, a problem aggravated by smallholder farmers' lack of access to fast and affordable technical advice. This project addresses this problem by developing a chatbot integrated into WhatsApp. The choice of this platform is not accidental; it leverages its massive penetration in rural areas to deliver, through an interface farmers already master, an AI-based agronomic pre-diagnosis.

The user simply sends a text or a photograph of their affected crop, and the system, using language and computer vision models, analyzes the information to provide a preliminary diagnosis and practical recommendations. The result is a functional prototype that demonstrates the model's technical and economic viability, thereby validating that it is possible to offer low-cost, high-accessibility assistance, breaking down traditional barriers to technology adoption in the field.

Keywords: AgriTech, chatbot, artificial intelligence, plant health, rural development, WhatsApp, Colombian agriculture.

Tabla de Contenidos

Introducción	7
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Integración con WhatsApp:.....	9
Uso de APIs de OpenAI:	9
Definición del Problema	9
Pérdidas en la producción:	10
Diagnóstico ineficiente:	10
Acceso limitado a asesoría técnica:.....	10
Propuesta del proyecto:.....	10
Justificación	11
Relevancia Social y Comunitaria:	11
Relevancia Académica e Investigación:	12
Beneficios de la Solución de Ingeniería:	12
Análisis de Requerimientos.....	13
Requerimientos Funcionales	13
Interfaz de Usuario y Comunicación:	13
Procesamiento de Información:	13
Retroalimentación y Notificaciones:.....	14
Requerimientos No Funcionales	14
Herramientas y Tecnologías Empleadas	14
Marco de Referencia	15
Contexto Tecnológico y Social.....	15
Digitalización en la Agricultura:	15
Impacto en Comunidades Rurales:.....	15
Revisiones de Literatura y Estudios de Caso.....	15
Investigaciones en IA Aplicada a la Agricultura:	15
Casos de Éxito en Soluciones Digitales.....	15
Diseño Metodológico y Arquitectura del Sistema	16
Alternativa de Solución que se seleccionó	16
Decisiones de Diseño y la Solución Elegida	17

¿Por qué WhatsApp?	18
La Decisión Final.....	18
Normativas y Estándares	19
Protección de Datos.....	19
Calidad del Sistema y Operabilidad	19
Comparativa con Soluciones que Existente.....	19
Solución Tradicional y Digital	19
Últimas novedades en innovación	19
Análisis de Costos.....	19
La Inversión para Arrancar	20
Tabla 1: Desglose de la Inversión Inicial	20
Gastos del Día a Día	20
Fundamento del Costo de la API de OpenAI	20
Tabla 2: Estimación de Costos Operativos Mensuales	21
Modelo de Ingresos y Proyección de Rentabilidad.....	21
Punto de Equilibrio:	22
Conclusiones del Proyecto	22
Referencias	23

Resumen Ejecutivo

Con el proyecto se quiere poner en marcha un sistema que ayude al diagnóstico de plagas y enfermedades en cultivos con muy fácil accesibilidad, usando WhatsApp como puente. Esta herramienta hará el uso de las API de OpenAI para poder manejar las preguntas o inquietudes de los usuarios a través de sus propias palabras, sin entrar en lenguajes técnicos. Esto les permitirá un aliado que les ayudará con recomendaciones casi en tiempo real para que tengan una facilidad o ayuda en decisiones que ayuden a reducir pérdidas en sus cultivos.

Introducción

La agricultura es fundamental para la sociedad y también para el desarrollo económico de un país como Colombia, pero es evidente que hay muchas cosas por mejorar y que, a su vez representa una gran amenaza para este sector. De hecho, **según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019)**, Se estima que existe un 40% de la producción de los cultivos que se daña cada año por plagas y enfermedades, lo que indudablemente lleva a una disminución en la producción y también en la calidad. Actualmente existen métodos tradicionales para cultivar y métodos más técnicos para tratar o identificar dichas plagas o enfermedades en los cultivos. El problema es que dependen de métodos muy costosos o lentos, o simplemente no se puede acceder a estos métodos, y más en zonas apartadas de los sitios urbanos

Ahora, con los avances en tecnología, específicamente con los sistemas que pueden procesar nuestro lenguaje de manera natural, se nos muestra o se abre una puerta para que, a través de plataformas como WhatsApp junto a las APIs de OpenAI, nos permitiría analizar la información compartida por los agricultores, dándoles respuestas que les pueden ayudar a combatir los problemas que estén teniendo con sus cultivos, con una ventaja: que con estas herramientas se puede guiar a los agricultores para que sigan procesos más sostenibles con el medio ambiente y también conocer técnicas o mecanismos usados en otras partes, pero que ellos no conocían o no sabían cómo aplicarlos.

Objetivo General

Implementar un chat a usando WhatsApp que utilizando las APIs de OpenAI, le permita a los agricultores sin acceso a ingenieros agrónomos o personal más técnico, puedan tener un diagnóstico y recomendaciones que se puedan asemejar a un profesional en el tema.

Objetivos Específicos

Integración con WhatsApp:

Desarrollar un chatbot usando la API de WhatsApp Business que reciba mensajes, imágenes y detalles brindados por los agricultores.

Uso de APIs de OpenAI:

Aplicar el uso de la API de OpenAI para el manejo del lenguaje natural y para entender las descripciones enviadas.

Utilizar los modelos que procesan imágenes disponibles en la API de OpenAI para identificar enfermedades o plagas.

Definición del Problema

El desarrollo rural y una seguridad alimentaria dependen de, en nuestro contexto, de la agricultura, pero que se está enfrentando a problemas con la productividad y la sostenibilidad. Lo que se detallará a continuación:

Pérdidas en la producción:

Los temas relacionados con las plagas junto con las enfermedades son un gran factor que siempre está presente y que afecta la producción de los cultivos. La producción que se ve afectada no solo en términos de el producto que se pierde, sino que el producto que se salva y se cosecha con una calidad no muy alta, ya que estos factores anteriores afectan la calidad, lo que termina derivando en los problemas económicos y su estabilidad económica.

Diagnóstico ineficiente:

La forma tradicional para el manejo profesional y más técnico del campo cuenta con métodos que cuentan con respaldo, pero tienen limitantes que afectan directamente a los que quieren usar aquellos métodos. Estos procesos son demasiado lentos, dependen de personas especializadas que son escasas o el costo para acceder a ellas es muy elevado. Esto trae consigo que las plagas, hongos o lo que pueda afectar los cultivos no sean tratadas adecuadamente porque no se cuenta con los conocimientos requeridos, y que si se pueden acceder a esos conocimientos o técnicas, se tarda demasiado y la respuesta no se da oportunamente

Acceso limitado a asesoría técnica:

En el sector de los agricultores que se encuentran en las zonas más apartadas del sector rural, tienen poco o nulo acceso a información o recomendación técnica a tiempo. Esto lo que causa es que las soluciones de los agricultores sean más al ojo, por decirlo de alguna forma, sin tener bases técnicas para tomar una decisión para mantener sus cultivos, lo que los hace vulnerables a sus cultivos frente a enfermedades o plagas.

Propuesta del proyecto:

Observando la situación se pone sobre la mesa el uso de OpenAI a través de sus APIs, dando como canal de acceso el servicio de mensajería instantánea conocido como WhatsApp. Lo que se tiene en mente es crear un sistema que dé a los agricultores la facilidad de enviar imágenes y descripciones de sus cultivos para que puedan recibir retroalimentación de qué acciones tomar basados en lo que compartan. De esta manera, ellos podrán acceder a una asesoría profesional, que en este caso será proporcionada por los distintos modelos de LLMs que ofrece la compañía OpenAI. Esto fortalecerá a este sector que, por distintos factores, no tiene acceso al conocimiento y el acceso a prácticas profesionales.

Justificación

Este proyecto se muestra como un facilitador basado en tecnología de inteligencia artificial, no simplemente tomará el problema de la brecha de acceso a conocimiento técnico, sino que tendrá un enfoque social, lo económico y, no menos importante, académico. Se muestra más detallado a continuación:

Relevancia Social y Comunitaria:

Poner en marcha una solución como esta puede tener un gran impacto en los lugares más alejados de lo urbano. La gran mayoría de agricultores no tienen acceso o tienen muchas limitaciones para acceder a la tecnología, por eso queremos tomar la herramienta que por excelencia ha tenido gran penetración en zonas como las rurales y es WhatsApp, que por su simplicidad literalmente hace parte del día de las personas para comunicarse. Entonces, al hacer más accesibles los diagnósticos a través de un mensaje de texto, audio o fotos, puede ayudar a que los agricultores reduzcan sus pérdidas y se hagan mucho más profesionales en sus técnicas de cultivo. Que de una u otra manera también impactará la seguridad alimenticia y, no menos importante, el sustento económico de las familias agricultoras. El tema de tener ellos un gran acceso a la información para tomar decisiones más técnicas y profesionales aumenta la unión colectiva para enfrentar crisis o enfermedades generales en los cultivos.

Relevancia Académica e Investigación:

Este proyecto puede ayudar a impulsar o dar más interés en el uso de IA aplicada en la agricultura; puede facilitar y aumentar la velocidad en que se están implementando nuevas estrategias o investigaciones, o incluso experimentos de los mismos agricultores en sus cultivos. Si sacamos provecho de las herramientas de IA, en este caso las APIs de OpenAI, utilizando el lenguaje humano (lenguaje natural), puede quitar la brecha que existe entre sectores académicos o centros de investigación, ya que a través de un lenguaje más fácil para un agricultor o un investigador, se facilitará la comunicación y, con ello, mejoras para el sector en general. Esto puede, de alguna manera, mejorar mucho la relación entre estos sectores —agricultores, académicos o hasta industriales—, romper la brecha del conocimiento y hacer que el agricultor tenga esas bases para interactuar sacando provecho de esos otros actores.

Este proyecto va a ser esa herramienta que romperá la brecha, más que de expertos, de conocimientos, para que los agricultores puedan mejorar sus cultivos y así traer experiencias más semejantes a lo usado en lugares más técnicos.

Beneficios de la Solución de Ingeniería:

El proyecto dará una herramienta a los agricultores mediante la herramienta de WhatsApp, ayudándolos a identificar posibles problemas en sus cultivos. La idea del funcionamiento será de la siguiente manera:

- El usuario, en este caso el agricultor, envía un mensaje, sea una foto, texto o audio, y nosotros, con las herramientas usadas por OpenAI, procesaremos la información y daremos una respuesta. Mediante la respuesta daremos un diagnóstico de lo que puede estar afectando al cultivo para que se puedan seleccionar o ver opciones para proteger la producción del cultivo:
- Se analizará las descripciones hechas en el lenguaje humano (más conocido en la industria IA, lenguaje natural) para extraer lo más relevante de la información compartida.

Análisis de Requerimientos

En la creación de los requerimientos que quiere plantear el sistema, que ayude a las necesidades actuales de los agricultores y les brinde diagnóstico y asesoría profesional técnica en sus cultivos. Como en los sistemas, se toman requerimientos funcionales y no funcionales.

Requerimientos Funcionales

Interfaz de Usuario y Comunicación:

- **Integración con WhatsApp:** El sistema usará la API WhatsApp Business para enviar e intercambiar imágenes y mensajes, máxime considerando el alto nivel de adopción del instrumento en los rubros rurales.
- **Interacción Conversacional:** Se implementará un registro del usuario para habilitar usuarios en el sistema, con el cual su gestión en la creación del perfil mejorará el seguimiento de la consultación y los de los diagnósticos.

Procesamiento de Información:

- **Imágenes:** Se va a usar LLMs que nos permiten procesar las fotos de los cultivos, lo que permitirá detectar a tiempo si hay alguna enfermedad o plaga en las plantas, como si fuera un experto que siempre está atento a los detalles.
- **Manejo sencillo:** Cuando los agricultores nos manden fotos, un mensaje rápido o hasta un audio, lo vamos a enviar la información a un LLM que tratarán de entender qué pasa en sus campos sin enredarlos en palabras raras, para que ellos no se confundan y entiendan bien lo que les generemos.
- **Diagnósticos y Consejos:** Con todo lo que nos compartan, se van a sacar propuestas y con esas propuestas les mostramos qué puede ser y cómo hacerle frente, todo usando LLMs y cómo lo analicen. Así, ellos pueden tomar decisiones tranquilas y mantener sus cultivos en buena forma.

Retroalimentación y Notificaciones:

- **Alertas Tempranas:** Envío de notificaciones automáticas en el momento de la detección de crisis importantes para informar y poner en alerta a los campesinos.
- **Historial de Consultas:** Habrá un registro histórico de los diagnósticos efectuados para el seguimiento del desarrollo de los cultivos y la valoración de la eficacia de la actuación.

Requerimientos No Funcionales

Uso y Acceso: La forma de comunicarse con el sistema debería poder entender varias formas que el usuario usa para mandar sus mensajes.

Rendimiento: El sistema debe poder atender a varios usuarios al mismo tiempo y manejar gran cantidad de información sin ver afectada la diligencia y el manejo adecuado en las respuestas.

Confianza y Cuidado: El diseño del sistema debe asegurar un funcionamiento continuo, permitiendo la unión con actualizaciones y mejoras sin ver afectada ninguna parte en el servicio.

Herramientas y Tecnologías Empleadas

Plataforma de Mensajería: Uso de la WhatsApp Business API para la comunicación directa y eficiente.

APIs de Inteligencia Artificial: Aprovechamiento de las capacidades de las APIs de OpenAI para el análisis de imágenes y procesamiento de lenguaje natural.

Infraestructura en la Nube: Utilización de servicios cloud para asegurar la escalabilidad, disponibilidad y rendimiento del sistema.

Sistemas de Almacenamiento: Implementación de bases de datos estructuradas para la gestión de historiales, perfiles de usuarios y resultados de diagnósticos.

Marco de Referencia

El marco de referencia establece el contexto teórico, tecnológico y social en el cual se inserta la propuesta, justificando la relevancia y viabilidad del proyecto.

Contexto Tecnológico y Social

Digitalización en la Agricultura:

La transformación digital en el sector agrícola se evidencia a través de la incorporación de tecnologías de inteligencia artificial y plataformas de comunicación instantánea. Esto permite optimizar la productividad y reducir pérdidas al facilitar diagnósticos rápidos y precisos (Food and Agriculture Organization [FAO], 2019).

Impacto en Comunidades Rurales:

La alta penetración de WhatsApp en áreas rurales minimiza las barreras tecnológicas, permitiendo que agricultores con recursos limitados tengan acceso a asesoría técnica especializada, lo que a su vez mejora la resiliencia de la producción agrícola y fortalece la seguridad alimentaria (World Bank, 2018).

Revisiones de Literatura y Estudios de Caso

Investigaciones en IA Aplicada a la Agricultura:

Diversos estudios han demostrado que la integración de modelos de inteligencia artificial en el diagnóstico de enfermedades de cultivos es eficaz para la detección temprana y la implementación de medidas preventivas, evidenciando la viabilidad técnica del uso de APIs de IA (OpenAI, n.d.).

Casos de Éxito en Soluciones Digitales

Se ha visto, mediante casos ejemplares con el uso de tecnología para monitorear y controlar cultivos, cómo el uso de sistemas de comunicación y análisis de datos puede

transformar el manejo agrícola, logrando bajar mucho las pérdidas de producción. De WhatsApp

Diseño Metodológico y Arquitectura del Sistema

Diseño Metodológico

La metodología será mixta. se usara un enfoque cuantitativo para medir el éxito del sistema (tiempo de respuesta, precisión del diagnóstico) y un enfoque cualitativo para entender la experiencia del usuario a través de encuestas y entrevistas durante las pruebas piloto. El desarrollo se platea con una metodología ágil, construyendo el prototipo en partes cortas para poder hacer ajustes sobre la marcha.

Alternativa de Solución que se seleccionó

Antes de la decisión por esta propuesta, se consideraron otras maneras, como crear una aplicación móvil desde cero o un sistema web. Sin embargo, se seleccionó el chatbot de WhatsApp integrado con OpenAI por las siguientes razones:

1. **Accesibilidad:** WhatsApp no requiere que el usuario descargue una nueva app, no consume muchos datos y su uso es universal en Colombia, incluso en zonas rurales. Esto elimina la lo mas difícil que es la barrera de adopción.
2. **Costo Eficiencia:** Desarrollar una app nativa es mucho más costoso y lento. Usar las APIs existentes de WhatsApp y OpenAI nos permite crear un prototipo funcional de manera más rápida y económica.
3. **Facilidad de Uso:** La interfaz de chat es la más intuitiva que existe. No hay curva de aprendizaje, lo que es crucial para usuarios con distintos niveles de familiaridad con la tecnología.

Arquitectura del Sistema

El sistema funcionará como un puente entre el agricultor y la inteligencia artificial:

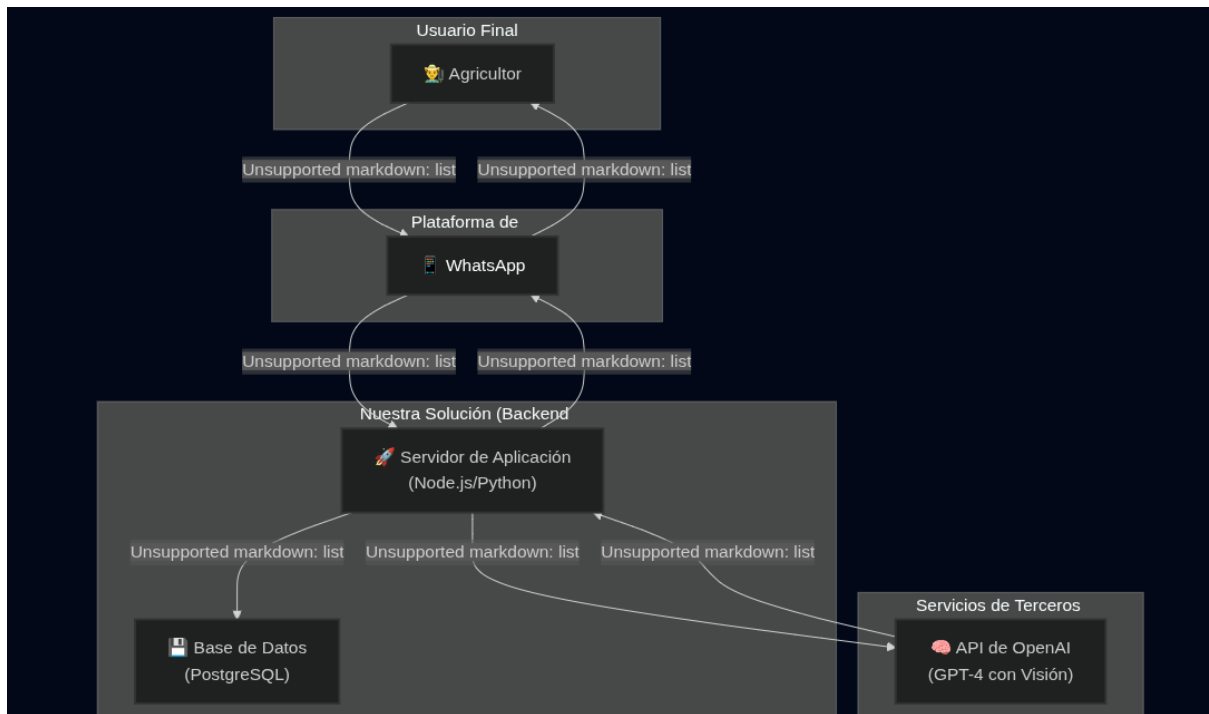


Imagen 1 – arquitectura del sistema

El agricultor envía su consulta por WhatsApp. Nuestro servidor la recibe, la prepara y la envía a OpenAI con instrucciones específicas. OpenAI la analiza y responde. Nuestro servidor formatea esa respuesta y se la envía de vuelta al agricultor, todo en segundos.

Decisiones de Diseño y la Solución Elegida

Cuando se tiene claro el problema, la siguiente pregunta es: ¿cuál es la mejor forma de construir la solución? No se trata solo de programar, sino de tomar decisiones de ingeniería que respondan a la realidad del proyecto. Antes de escribir una sola línea de código, puse sobre la mesa varias opciones, pero la elección final dependía de unas reglas de juego o restricciones que no podía ignorar:

1. El usuario no es un experto en tecnología: La solución tenía que ser tan fácil de usar como hacer una llamada. Cualquier cosa que implicara descargar, instalar o aprender algo nuevo era un riesgo enorme.
2. El tiempo y el dinero son limitados: Necesitaba un camino que me permitiera tener un prototipo funcional rápidamente y sin una gran inversión.
3. El internet en el campo es un lujo: La herramienta debía consumir la menor cantidad de datos posible y funcionar incluso con una señal débil.
4. La confianza es clave: La gente del campo confía en lo que conoce. Una herramienta desconocida genera sospechas.

Con estas reglas en mente, las opciones eran claras:

- Opción 1: Crear una aplicación móvil desde cero. La idea de tener un ícono propio en el teléfono sería chévere

- Opción 2: Hacer una página web interactiva. Una solución clásica, accesible desde cualquier navegador.
- Opción 3: Usar WhatsApp como puerta de entrada. Montar toda la inteligencia por detrás y simplemente entregar las respuestas a través de un chat.

¿Por qué WhatsApp?

Para ser honesto, al principio la idea de una app propia era tentadora. Pero cuando la puse frente a las otras opciones

Opción	¿Qué pasaba con las reglas?
Una App Móvil	Fallaba en casi todo. Obligaba al agricultor a buscarla, descargarla (gastando datos) y aprender a usarla. Además, construirla y mantenerla para Android y iPhone es lento y costoso. Era la opción más complicada para el usuario y para mí.
Una Página Web	Mejoraba un poco, pero no lo suficiente. No había que instalar nada, pero sí recordar una dirección web y navegarla. Sigue siendo una barrera. Además, las páginas web pueden consumir bastantes datos si no están muy bien optimizadas.
Un Chatbot en WhatsApp	Cumplía con todas las reglas. ✓ Facilidad de uso: Mucha gente usa WhatsApp ✓ Bajo costo y rapidez: Me concentro en la lógica de la IA y dejo que WhatsApp se encargue de la interfaz, que es la parte que más tiempo consume. ✓ Consumo de datos mínimo: WhatsApp está hecho para funcionar hasta con la señal más débil. ✓ Confianza total: La conversación ocurre en la aplicación que usan todos los días para hablar con su familia y amigos.

La Decisión Final

La elección fue clara. Optar por el chatbot en WhatsApp no fue el camino fácil, sino el camino inteligente. Fue una decisión de ingeniería centrada en la persona que va a usar la herramienta. De nada sirve tener la tecnología más avanzada si nadie puede o quiere usarla. Al llevar la solución directamente al bolsillo del agricultor, a través de una aplicación que ya es parte de su vida, se derriban las principales barreras. Por eso, este fue el único camino lógico a seguir.

Normativas y Estándares

Protección de Datos

El sistema creado debería seguir normas para poder desarrollarlo bajo normas que le den al usuario final la seguridad de que sus datos están siendo tratados bajo normas de confidencialidad y que no serán usados de manera que ellos sean afectados.

Calidad del Sistema y Operabilidad

Usar un buen desarrollo podría permitir implementar el seguimiento de esquemas que nos muestren o nos guíen a crear un sistema con la capacidad de manejar la interoperabilidad, lo que llevará a un mejor enlace con otras plataformas que se puedan usar para ayuda del sistema, como pueden ser las formas de conectarse al sistema que maneja los mensajes enviados por los campesinos.

Comparativa con Soluciones que Existente

Solución Tradicional y Digital

Dado que los métodos convencionales requieren intervención manual y colaboración directa de expertos involucrados en el proceso; la solución digital sugerida automatiza dicho procedimiento y acorta los tiempos de respuesta para tomar medidas inmediatas ante cualquier inconveniente que pueda surgir.

Últimas novedades en innovación

La puesta en marcha de las tecnologías en el entorno de la agricultura se ha convertido en algo muy fundamental y ha ido estableciendo una forma de ofrecer información clara y mucho más técnica. Esto nos muestra cómo se puede hacer un mayor uso de la inteligencia artificial y la mensajería para mejorar el agro y mantenerlo al día con nuevas prácticas y demás. (Banco Mundial, 2018)

Análisis de Costos

Una idea puede ser buena, pero si no es económicamente viable, se queda en eso en una idea. Por eso, una parte fundamental de este proyecto fue ponerle números a la solución para ver si realmente se sostiene por sí sola.

La Inversión para Arrancar

Para poner a andar el sistema, hay una inversión inicial que no se puede evitar. Se a desglosado en la siguiente tabla, donde el mayor peso, como era de esperarse, está en las horas de programación.

Tabla 1: Desglose de la Inversión Inicial

Concepto	Justificación	Costo
Desarrollo de Software	Estimación de 200 horas de trabajo para crear el sistema y conectar todo.	\$10.000.000
Permisos y Cuentas	Gastos iniciales para configurar las cuentas de desarrollador en Meta y el servicio en la nube.	\$200.000
Total para Empezar		\$10.200.000

Gastos del Día a Día

La inversión inicial es solo la mitad de la historia. El verdadero reto es mantener el proyecto andando mes a mes. Estos costos operativos son los que dictarán si el proyecto puede sobrevivir a largo plazo.

Fundamento del Costo de la API de OpenAI

El costo estimado de \$150.000 COP para la API de OpenAI no es un número arbitrario. Proviene de un análisis de los precios de la tecnología y de una proyección realista del uso durante la fase inicial.

Se puede ver de la siguiente manera el modelo GPT-4 con Visión cobra por dos conceptos principales: las imágenes procesadas y los tokens fragmentos de texto tanto de entrada como de salida. Para calcular el costo, se puede pensar en una consulta que normalmente se hace de **Costo por Imagen**: El agricultor envía una foto de su planta. Procesar una imagen de resolución estándar con el modelo tiene un costo fijo.

Costo por imagen: \$0.00255 USD

Costo del Texto de Entrada Input Tokens: Esto incluye la pregunta del agricultor por ejemplo ¿Qué son estas manchas en mis hojas de café? Y, muy importante, las instrucciones que el sistema le envía a la IA por detrás. En total se puede hablar de unas 500 tokens de entrada. Costo de Input: $500 \text{ tokens} * 0.00001 / \text{token} = .00001/\text{token} = 0.005 \text{ USD}$

Costo del Texto de Salida : Es la respuesta que genera la IA. Una buena respuesta con diagnóstico, causas y recomendaciones puede tener unas 400 tokens. Costo de la salida: $400 \text{ tokens} * 0.00003 / \text{token} = 0.00003/\text{token} = 0.012 \text{ USD}$

Costo por consulta individual: $\$0.00255 \text{ (imagen)} + \$0.005 \text{ (entrada)} + 0.012 \text{ (salida)} = 0.01955 \text{ USD por consulta}$

Ahora, se proyecta esto a una fase de prueba con un volumen moderado de 500 consultas al mes: $500 \text{ consultas/mes} * 0.01955 \text{ USD / consulta} = 0.01955 \text{ USD/consulta} = 9.775 \text{ USD al mes}$. Que multiplicado por el valor promedio del dolar

También se puede manejar un margen de 25% para pagar consultas más largas, seguimientos o variaciones inesperadas. $9.775 \text{ USD} * 1.25 \text{ (que es el margen)} = 12.2 \text{ USD}$

Convirtiendo esto al promedio del dolar de 4.098 pesos nos da 50.000 pesos

Tabla 2: Estimación de Costos Operativos Mensuales

Concepto	Justificación	Costo Mensual
API de OpenAI	Costo variable basado en una proyección de 500 consultas de imagen al mes. Fue justificado anteriormente	\$50.000
Servidor en la Nube	Costo fijo por el alquiler del espacio digital donde funcionará la aplicación.	\$100.000
Total para Operar (mes)		\$150.000

Modelo de Ingresos y Proyección de Rentabilidad

Un análisis de costos no está completo sin una proyección de ingresos. Se propone un modelo de suscripción:

- Plan Gratuito: 5 consultas al mes para que los agricultores prueben el valor de la herramienta sin riesgo.
- Plan Premium: \$12.000 COP al mes por consultas ilimitadas.

Con este modelo, podemos analizar el punto de equilibrio de la rentabilidad.

Punto de Equilibrio: ¿Cuántos suscriptores se necesitan para cubrir los costos operativos?

- Punto de Equilibrio = Costo Operativo Mensual / Precio de Suscripción
- Punto de Equilibrio = $\$500.000 / \$12.000 = 42$ suscriptores

Se necesita una base de apenas 42 agricultores pagando la suscripción para que el proyecto sea autosostenible mes a mes. Esta es una meta muy alcanzable.

Proyección de Rentabilidad (Escenario a 1 año): Supongamos que después de un año se logra una base de 150 suscriptores.

Ingreso Mensual: $150 \text{ suscriptores} * 12.000 = 1.800.000$

Utilidad Mensual: $\$1.800.000$ (Ingresos) - 500.000 (Costos) = 500.000 (Costos)=
 $1.300.000$

Utilidad Anual: $1.300.000 * 12 = 15.600.000$

Recuperación de la Inversión : $\text{Tiempo} = \text{Inversión Total} / \text{Utilidad Anual}$
 $= \$13.230.000 / \$15.600.000 = 0.85$ años (aproximadamente 10 meses)

Al ver estos números, queda claro que el proyecto tiene una ventaja clave: no necesita una inversión que no se puede conseguir para empezar y sus costos fijos son bajos para poder probarla. Esto es importantísimo, porque significa que el modelo es flexible. Si hay pocos usuarios, se gasta poco. Si el uso crece, los ingresos por suscripción deberían poder cubrir los costos variables sin problema. En resumen, el riesgo financiero es controlado.

Conclusiones del Proyecto

Al llegar al final de este camino, más que una lista de resultados técnicos, me llevo varias ideas claras que resumen la esencia y el valor de este trabajo.

1. El mayor acierto no fue técnico, fue humano. La decisión más importante de todo el proyecto fue no crear una aplicación nueva, sino usar WhatsApp. Me di cuenta de que el verdadero reto no era programar un sistema inteligente, sino lograr que la gente del campo lo usara. Al llevar la solución a una herramienta que ellos ya dominan, se eliminó la principal barrera que tienen la mayoría de los proyectos tecnológicos: el miedo o la pereza de aprender algo nuevo.

2. La tecnología sirve si resuelve problemas reales. Este sistema funciona porque no es un juguete tecnológico. Ataca un problema concreto y doloroso: la incertidumbre. Un agricultor que ve una mancha en su cultivo y no sabe si es algo grave o no, vive con una ansiedad constante. Darle una primera opinión rápida, un pre-diagnóstico casi al instante, le devuelve un poco de control. Aunque no reemplaza a un agrónomo, es una primera línea de defensa que hoy no existe.
3. Es posible hacer mucho con poco. Una de las grandes satisfacciones fue demostrar que no se necesita una inversión millonaria para crear una herramienta de impacto. Al combinar de forma inteligente tecnologías ya existentes (la API de WhatsApp y los modelos de OpenAI), se puede construir una solución robusta con un presupuesto controlado. El análisis económico lo confirmó: el proyecto no solo es viable para arrancar, sino que puede sostenerse por sí mismo a largo plazo.
4. Este es solo el primer paso. Soy consciente de las limitaciones. La calidad de la respuesta depende de la foto que envíe el usuario y se necesita conexión a internet. Pero precisamente por eso, el potencial a futuro es enorme. El siguiente paso lógico sería crear una base de datos con los casos reales de Colombia, para que la inteligencia artificial se "especialice" en nuestras plagas y nuestros cultivos. Eso transformaría una herramienta útil en una herramienta indispensable y verdaderamente colombiana.

Este proyecto me enseñó que la mejor ingeniería no es siempre la más compleja, sino la más empática: la que entiende las necesidades y las limitaciones de la persona a la que busca servir.

Referencias

Food and Agriculture Organization. (2019). Digital technologies in agriculture and rural development. Recuperado de <https://www.fao.org/digital-agriculture>

OpenAI. (n.d.). OpenAI API documentation. Recuperado de <https://platform.openai.com/docs/>

WhatsApp Business. (n.d.). WhatsApp Business API. Recuperado de <https://www.whatsapp.com/business/api>

World Bank. (2018). Digital agriculture. Recuperado de <https://www.fao.org/plant-protection/about/es#:~:text=Cada%20a%C3%B1o%2C%20hasta%20el%2040,70%20000%20millones%20de%20USD.>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2023). MinAgricultura destaca el crecimiento del sector agropecuario, que llegó a \$122,8 billones en 2022.

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/MinAgricultura-destaca-el-crecimiento-del-sector-agropecuario,-que-lleg%C3%B3-a--122,8-billones-en-2022.aspx>

Agrosavia. (s.f.). Doctor Agro: El asistente técnico digital para el campo colombiano.

<https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/1%C3%ADnea-agr%C3%ADcola/ra%C3%ADces-y-tub%C3%A9rculos/sistemas-de-informaci%C3%B3n/556-dr-agro-un-aliado-para-el-campo-colombiano>

Gutiérrez, J. D., & Rincón, A. F. (2020). Detección de la Sigatoka Negra en hojas de banano usando redes neuronales convolucionales. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 131–142.

<https://gredos.usal.es/handle/10366/145441>

BBVA. (2022, 10 de octubre). 'Agtech', la tecnología como aliada del campo en Colombia.

<https://www.bbva.com/es/ar/que-es-agtech-la-tecnologia-digital-aplicada-a-la-agricultura/>

Artículos de investigación científica y tecnológica (2020). WhatsApp as a teaching-learning instrument in rural education. <https://www.redalyc.org/journal/3439/343969897007/html/>

Centro Nacional de Consultoría (CNC). (2021, 23 de noviembre). Así se conectan los colombianos. <https://www.centronacionaldeconsultoria.com/apropiacion-digital>