



IA para la Gestión Hídrica Inteligente en Zonas Rurales de Colombia

1. Resumen Ejecutivo

La escasez hídrica, la variabilidad climática y la infraestructura limitada representan desafíos críticos para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible en las zonas rurales de Colombia. Las soluciones actuales son fragmentadas y carecen de una adaptación local e integración cohesiva. Nuestro proyecto propone una plataforma de inteligencia artificial integrada para la gestión hídrica inteligente, con la visión de optimizar el uso del agua, mejorar la eficiencia, la resiliencia y la seguridad alimentaria en estos territorios vulnerables.

Para lograrlo, diseñaremos y desarrollaremos una plataforma de IA que fusione datos de sensores IoT y satelitales para la predicción de disponibilidad de agua, la optimización del riego y el monitoreo de calidad. Esta solución será implementada y validada en comunidades rurales piloto, garantizando su adaptación local y una interfaz intuitiva. Complementariamente, estableceremos un marco ético para el uso de la IA y un programa de capacitación integral, todo guiado por la rigurosa metodología del Modelo en V de Ingeniería de Sistemas.

Los resultados clave incluyen una plataforma de IA operativa, informes de implementación exitosa en campo, un marco ético sólido y módulos de capacitación. Esto generará un avance técnico en la fusión de datos y modelos predictivos, un impacto económico por la reducción del consumo de agua y el aumento de la productividad agrícola, y un impacto social y ambiental sustancial al empoderar a las comunidades y promover una gestión hídrica sostenible y la conservación de ecosistemas vitales.

Este proyecto representa una inversión estratégica fundamental, transformando la gestión del agua en zonas rurales de Colombia y sentando las bases para un futuro más próspero, resiliente y equitativo.

2. Generalidades del Proyecto

- **Descripción:** Desarrollo de una plataforma de inteligencia artificial que utiliza sensores IoT y datos satelitales para predecir la disponibilidad de agua, optimizar el riego y monitorear la calidad del agua en comunidades rurales. El proyecto busca mejorar la eficiencia hídrica, reducir el impacto del cambio climático y garantizar el acceso sostenible al agua en territorios vulnerables, cerrando brechas tecnológicas y promoviendo el desarrollo local.
- **Palabras Clave:** Inteligencia Artificial, Gestión Hídrica, IoT, Agricultura Sostenible, Desarrollo Rural, Colombia

3. Planteamiento del Problema y Justificación

La gestión hídrica inteligente emerge como un campo crítico ante el aumento de la escasez de agua, la variabilidad climática y la creciente demanda, especialmente en contextos agrícolas rurales. En Colombia, estos desafíos se exacerban por infraestructuras limitadas y una alta vulnerabilidad, lo que conduce a un uso ineficiente del agua y amenazas a la seguridad alimentaria. Garantizar el acceso sostenible al agua en estos territorios vulnerables es, por lo tanto, una prioridad fundamental para el desarrollo nacional y regional.

Como lo indica el marco teórico y la revisión de la literatura, a pesar de los avances significativos en la gestión hídrica inteligente mediante IA, IoT y datos satelitales, persisten brechas sustanciales, particularmente en los contextos rurales de países en desarrollo como Colombia. Las soluciones actuales a menudo enfrentan limitaciones debido a la infraestructura tecnológica heterogénea y escasa en muchas comunidades rurales, lo que dificulta la implementación y el mantenimiento efectivo de sistemas complejos de IoT y la conectividad necesaria para el procesamiento de datos satelitales. Además, los modelos predictivos y sistemas de optimización existentes frecuentemente carecen de una adaptación adecuada a las particularidades hidrológicas, climáticas y socioeconómicas de micro-regiones específicas. Crucialmente, como destacan López Blanco (2025) y Cruz-Ángeles (2024), la mayoría de las soluciones no ofrecen una plataforma cohesiva e integrada que aborde simultáneamente los tres pilares fundamentales de la gestión hídrica –predicción de disponibilidad, optimización del riego y monitoreo de la calidad del agua– de manera accesible para usuarios no técnicos, ni incorporan adecuadamente marcos éticos y educativos esenciales.

Este proyecto, "IA para la Gestión Hídrica Inteligente en Zonas Rurales de Colombia", está diseñado precisamente como la solución innovadora y necesaria para cerrar estas brechas identificadas. Mediante el desarrollo de una plataforma de inteligencia artificial que integra datos en tiempo real de sensores IoT con información satelital exhaustiva, el proyecto superará directamente las limitaciones de los enfoques fragmentados actuales. Esta metodología integrada permitirá una predicción precisa de la disponibilidad de agua, una optimización inteligente de los sistemas de riego y un monitoreo continuo de la calidad del agua, todo dentro de una interfaz única y fácil de usar, específicamente adaptada al contexto socio-técnico de las comunidades rurales colombianas.

La relevancia estratégica de este proyecto es primordial, ya que aborda una necesidad oportuna y crítica para el desarrollo sostenible en las zonas rurales de Colombia. Al mejorar la eficiencia hídrica, mitigar los impactos del cambio climático y garantizar el acceso sostenible al agua, la plataforma no solo aumentará la

productividad agrícola, sino que también fomentará la resiliencia y la seguridad alimentaria en territorios vulnerables. Esta solución innovadora, al cerrar brechas tecnológicas y promover el desarrollo local, representa un paso crucial hacia el acceso equitativo a la tecnología avanzada y un futuro más sostenible para las comunidades rurales, alineándose directamente con los objetivos nacionales e internacionales para la gestión de los recursos hídricos.

4. Marco Teórico y Estado del Arte

4.1. Introducción al Dominio

La gestión hídrica inteligente emerge como un campo crítico ante el aumento de la escasez de agua, la variabilidad climática y la creciente demanda, especialmente en contextos agrícolas rurales. Este dominio integra tecnologías avanzadas como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la teledetección satelital para optimizar el uso y monitoreo del recurso hídrico. La IA, en particular, ofrece capacidades predictivas y de optimización sin precedentes, permitiendo a los sistemas aprender de grandes volúmenes de datos para tomar decisiones informadas sobre la disponibilidad, distribución y calidad del agua.

En el contexto de la agricultura sostenible, la aplicación de estas tecnologías es fundamental para mejorar la eficiencia del riego, reducir el desperdicio y garantizar la seguridad alimentaria. Las zonas rurales, a menudo caracterizadas por infraestructuras limitadas y vulnerabilidad climática, son las que más se benefician de estas innovaciones. El desarrollo de plataformas integradas que combinen datos de sensores IoT en campo con información satelital permite una visión holística y en tiempo real del ciclo del agua, facilitando una gestión proactiva y adaptativa frente a los desafíos hídricos.

4.2. Revisión de la Literatura (Literature Review)

La investigación reciente destaca el papel transformador de la Inteligencia Artificial en la gestión hídrica. López Blanco (2025) subraya que la IA es una herramienta estratégica para la gestión sostenible del agua, enfatizando la necesidad de un enfoque interdisciplinario que considere los retos educativos, éticos y profesionales. Este autor plantea que la implementación de la IA debe estar guiada por una educación ambiental crítica y una sólida base ética para evitar la ampliación de desigualdades, especialmente en regiones en desarrollo. Complementando esta perspectiva, Cruz-Ángeles (2024) explora cómo la regulación de la IA puede mejorar la eficiencia en la captación y uso del agua, así como prevenir el desperdicio y la distribución desigual, asegurando la seguridad hídrica a futuro.

En el ámbito de la optimización de infraestructuras hídricas rurales, Noriega-Murrieta (2025) presenta una revisión sistemática sobre el uso de Big Data e Inteligencia Artificial en América Latina. Sus hallazgos indican que los modelos predictivos y el análisis de datos masivos han mejorado la eficiencia operativa, anticipando fallas en redes de distribución con una precisión de hasta el 85% y reduciendo pérdidas. Además, tecnologías como sensores IoT, gemelos digitales y sistemas automatizados han demostrado impactos positivos en la sostenibilidad del servicio, lo que valida la digitalización de la gestión del agua potable como una estrategia

efectiva para mejorar la resiliencia en contextos rurales.

Para la aplicación directa en la agricultura, Oropeza Tosca et al. (2023) analizaron el estado del arte de la agricultura de precisión en México, identificando oportunidades cruciales en el contexto del cambio climático, la escasez de agua y la seguridad alimentaria. Destacan el uso de sensores, riego de precisión, modelos de predicción climática y datos satelitales como herramientas clave para fortalecer el sector agrícola. En un enfoque más técnico, Khan et al. (2020) exploraron métodos de minería de datos para predecir los requisitos de agua de riego, buscando mejorar la gestión del agua en áreas irrigadas y reducir el desperdicio. Asimismo, Karar et al. (2020) propusieron un sistema de control de bombeo de agua para riego inteligente basado en IoT y redes neuronales, que utiliza sensores para medir factores ambientales como temperatura, humedad y humedad del suelo para una gestión automatizada del riego.

4.3. Tecnologías y Enfoques Actuales (State of the Art)

El estado del arte en la gestión hídrica inteligente se caracteriza por la convergencia de diversas tecnologías y metodologías avanzadas. La base de estos sistemas reside en la recolección masiva de datos a través de redes de sensores IoT, que monitorean en tiempo real parámetros como la humedad del suelo, la temperatura ambiente, la calidad del agua y el nivel de los cuerpos hídricos. Estos datos se complementan con información geoespacial obtenida de satélites, proporcionando una cobertura amplia y regular de variables como la evapotranspiración, el índice de vegetación y la distribución de cuerpos de agua, elementos cruciales para la predicción de la disponibilidad hídrica y la optimización del riego a gran escala.

La Inteligencia Artificial es el motor que procesa y extrae valor de estos volúmenes de datos. Se utilizan algoritmos de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL) para desarrollar modelos predictivos que anticipan la disponibilidad de agua, identifican patrones de consumo y alertan sobre posibles deficiencias o excesos. Las redes neuronales, en particular, han demostrado ser eficaces en la modelización de sistemas complejos como la predicción de las necesidades de riego y el control automatizado de sistemas hídricos (Karar et al., 2020). Además, la IA se aplica en la optimización de la distribución del agua, la detección de fugas en infraestructuras y el monitoreo continuo de la calidad del agua mediante el análisis de datos de sensores específicos.

A nivel de implementación, se observa una tendencia hacia el desarrollo de plataformas integradas que consolidan la información de IoT y satélites, ofreciendo interfaces amigables para la toma de decisiones. En Colombia, ya existen iniciativas significativas en este campo, con el lanzamiento de herramientas de IA agrícola como IngeDati, que representan un avance para los agricultores locales, y la llegada de empresas especializadas que exploran cómo la IA está transformando la agricultura nacional (Agronegocios, s.f.; Hispatec, s.f.). Estos desarrollos evidencian un ecosistema en crecimiento que busca aplicar soluciones tecnológicas para aumentar la productividad y reducir costos en el sector agroindustrial.

4.4. Brechas de Conocimiento y Oportunidades (Knowledge Gaps & Opportunities)

A pesar de los avances significativos en la aplicación de la IA, IoT y datos satelitales en la gestión hídrica, persisten brechas de conocimiento y oportunidades, especialmente en contextos rurales de países en desarrollo como Colombia. Una de las principales limitaciones radica en la heterogeneidad y la escasa infraestructura tecnológica en muchas comunidades rurales, lo que dificulta la implementación y el

mantenimiento de sistemas complejos de IoT y la conectividad necesaria para el procesamiento de datos satelitales. Aunque existen modelos predictivos y sistemas de optimización, su adaptación a las particularidades hidrológicas, climáticas y socioeconómicas de micro-regiones específicas aún representa un desafío.

Asimismo, la mayoría de las soluciones existentes no abordan de manera integral los tres pilares de la gestión hídrica (predicción de disponibilidad, optimización de riego y monitoreo de calidad del agua) dentro de una única plataforma cohesiva y accesible para usuarios no técnicos. Existe una oportunidad clara para desarrollar soluciones que no solo sean tecnológicamente robustas, sino también culturalmente pertinentes y económicamente viables para las comunidades rurales. La necesidad de marcos éticos y educativos para la implementación de la IA en la gestión hídrica, como señalan López Blanco (2025) y Cruz-Ángeles (2024), es una brecha fundamental que debe abordarse para asegurar que estas tecnologías promuevan el desarrollo sostenible y no exacerbén las desigualdades. El proyecto propuesto busca precisamente cerrar estas brechas, ofreciendo una plataforma integrada y adaptada al contexto rural colombiano, promoviendo la equidad en el acceso a la tecnología y el desarrollo local sostenible.

5. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e implementar una plataforma de inteligencia artificial integrada para optimizar la gestión hídrica en zonas rurales de Colombia, mejorando la eficiencia, la resiliencia y la seguridad alimentaria frente a la escasez y el cambio climático.

Objetivos Específicos

1. **Objetivo:** Diseñar y desarrollar una plataforma de IA integrada que fusione datos de sensores IoT y satelitales para la predicción de disponibilidad de agua, optimización de riego y monitoreo de calidad del agua.

- **Específico (S):** Este objetivo se centra en la creación técnica de la plataforma de IA, incluyendo la arquitectura de software, los módulos de integración de datos (IoT y satelitales), los algoritmos de predicción hídrica, los modelos de optimización de riego y los sistemas de análisis de calidad del agua. El equipo de desarrollo de software y los ingenieros de datos serán los responsables.
- **Medible (M):** La plataforma deberá integrar exitosamente al menos 3 fuentes de datos IoT (e.g., humedad del suelo, nivel de río, pluviómetros) y 2 fuentes de datos satelitales relevantes (e.g., índices de vegetación, cobertura de nubes) con una tasa de éxito de integración del 95%. Se validará la funcionalidad de los módulos de predicción, optimización y monitoreo a través de pruebas unitarias y de integración, alcanzando un 90% de funcionalidad esperada.
- **Alcanzable (A):** Es alcanzable dado que el proyecto cuenta con un equipo multidisciplinario con experiencia en IA, IoT, teledetección y desarrollo de software, y se basará en marcos tecnológicos existentes y de código abierto.

- **Relevante (R):** Este objetivo es fundamental para el objetivo general, ya que establece la base tecnológica para una gestión hídrica inteligente, abordando directamente la brecha de soluciones fragmentadas y la necesidad de una plataforma cohesiva identificada en el problema.

- **Plazo (T):** Completar el diseño y desarrollo de la versión beta de la plataforma dentro de los primeros 12 meses del proyecto.

2. **Objetivo:** Implementar y validar la plataforma de IA en al menos 3 comunidades rurales piloto en Colombia, asegurando su adaptación a las particularidades locales y una interfaz de usuario intuitiva para agricultores y gestores hídricos no técnicos.

- **Específico (S):** Este objetivo implica la selección de comunidades piloto, la instalación de sensores IoT, la configuración de la plataforma con datos locales, la capacitación a usuarios finales y la recopilación de retroalimentación para mejoras. El equipo de campo, ingenieros de implementación y especialistas en usabilidad serán responsables.

- **Medible (M):** Lograr una tasa de adopción del 70% entre los usuarios capacitados en las comunidades piloto. Obtener una calificación promedio de usabilidad de 4.0/5.0 en encuestas a usuarios finales. Reducir el consumo de agua para riego en un 15% en las parcelas piloto, verificado mediante mediciones de caudal y comparativas históricas.

- **Alcanzable (A):** Es realista considerando la fase de desarrollo de la plataforma y la capacidad del equipo para interactuar con las comunidades y realizar ajustes iterativos. Se contará con el apoyo de líderes comunitarios para facilitar la implementación.

- **Relevante (R):** Este objetivo es crucial para validar la efectividad de la solución en el mundo real y asegurar que la tecnología sea relevante y utilizable por las comunidades que más la necesitan, abordando la brecha de adaptación y accesibilidad identificada en el problema.

- **Plazo (T):** Completar la implementación y la fase inicial de validación en las comunidades piloto dentro de los meses 13 a 24 del proyecto.

3. **Objetivo:** Desarrollar e implementar un marco ético para el uso de la IA en la gestión hídrica y diseñar un programa de capacitación integral que empodere a las comunidades rurales en el uso y mantenimiento de la plataforma.

- **Específico (S):** Este objetivo abarca la investigación y formulación de directrices éticas para la recopilación y uso de datos, la privacidad y la equidad. También incluye el diseño de módulos de capacitación (presenciales y/o virtuales) sobre el manejo de la plataforma, conceptos básicos de gestión hídrica inteligente y mantenimiento de equipos IoT. Un experto en ética de IA y pedagogos serán responsables.

- **Medible (M):** Publicar un documento de directrices éticas aprobado por el comité del proyecto. Capacitar a al menos 100 usuarios en las comunidades piloto, con una tasa de aprobación del 85% en las evaluaciones de conocimiento post-capacitación. Desarrollar al menos 3 módulos de capacitación interactivos y accesibles.

- **Alcanzable (A):** Es factible mediante la colaboración con expertos en ética y educación, y la capitalización de la experiencia del equipo en la interacción comunitaria.
- **Relevante (R):** Este objetivo responde directamente a la necesidad de incorporar aspectos éticos y educativos, asegurando no solo la adopción tecnológica sino también un uso responsable y sostenible, y promoviendo la autonomía de las comunidades, lo cual es una brecha clave.
- **Plazo (T):** Establecer el marco ético en los primeros 9 meses y desarrollar e iniciar el programa de capacitación dentro de los 15 meses del proyecto.

6. Metodología Propuesta

Framework Seleccionado: Modelo en V de Ingeniería de Sistemas

El Modelo en V de Ingeniería de Sistemas se selecciona como la metodología principal debido a la naturaleza multidisciplinaria del proyecto, que integra el desarrollo de software avanzado (IA), la gestión de datos complejos (IoT y satelitales) y la implementación de hardware físico en entornos rurales. Esta metodología es ideal porque enfatiza la verificación y validación rigurosa en cada etapa del ciclo de vida del proyecto, lo cual es crítico para asegurar la fiabilidad y el rendimiento de la plataforma de IA (Objetivo 1) y para garantizar una implementación exitosa y adaptada a las particularidades locales en las comunidades piloto (Objetivo 2). Su estructura paralela de fases de desarrollo y fases de prueba asegura que los requisitos (incluidos los éticos del Objetivo 3) se traduzcan correctamente en el diseño y sean validados exhaustivamente antes de la aceptación final por parte de los usuarios.

Fases Principales de la Metodología:

- **Fase 1: Análisis y Definición de Requisitos** - Se definen detalladamente los requisitos funcionales, no funcionales, técnicos, éticos y de usuario para la plataforma de IA, la integración de datos, la optimización de riego y los módulos de capacitación.
- **Fase 2: Diseño de Arquitectura del Sistema** - Se establece la estructura global de la plataforma, incluyendo la arquitectura de software, la infraestructura de integración IoT y satelital, los flujos de datos, la seguridad y la interfaz de usuario.
- **Fase 3: Diseño Detallado de Componentes** - Se elaboran los diseños específicos para cada módulo de software, algoritmos de IA, protocolos de comunicación IoT, modelos de optimización y componentes de la interfaz de usuario.
- **Fase 4: Implementación y Desarrollo** - Se lleva a cabo la codificación de los módulos de software, el entrenamiento de los modelos de IA, la configuración de los dispositivos IoT y la creación de la infraestructura de datos.
- **Fase 5: Verificación y Pruebas de Componentes** - Se realizan pruebas unitarias y de módulo para cada componente individual, asegurando su correcto funcionamiento según las especificaciones de diseño detallado.

- **Fase 6: Integración y Pruebas de Sub-sistemas** - Se verifica la correcta interacción y comunicación entre los diferentes módulos y subsistemas integrados, como la ingesta de datos IoT y su procesamiento por los algoritmos de IA.
- **Fase 7: Validación de Sistema Integral** - Se ejecuta una serie de pruebas exhaustivas sobre la plataforma completa en un entorno controlado para asegurar que todos los requisitos del sistema se cumplen antes de la implementación en campo.
- **Fase 8: Implementación en Campo y Pruebas de Aceptación** - Se despliega la plataforma en las comunidades piloto, se instalan y configuran los sensores IoT, se capacita a los usuarios finales y se recopila retroalimentación para la validación final del sistema.
- **Fase 9: Operación, Monitoreo y Mejora Continua** - Se proporciona soporte post-implementación, se monitorea el rendimiento de la plataforma, se gestionan las mejoras iterativas y se mantiene el marco ético y el programa de capacitación continua.

7. Plan de Ejecución y Gestión

Cronograma de Actividades

7.1. Cronograma de Actividades

Fase	Actividad / Hito Clave	Entregable Principal	Duración Estimada (Semanas)
Fase 1: Análisis y Definición de Requisitos	<i>Definición detallada de requisitos funcionales, no funcionales, técnicos, éticos y de usuario para la plataforma y la integración de datos.</i>	6	
1.1. Levantamiento y análisis de requisitos funcionales, no funcionales y técnicos.	Documento de Requisitos del Sistema (SRS)	3	
1.2. Recopilación de requisitos de integración de datos IoT y satelitales.	Especificaciones de Integración de Datos	2	
1.3. Definición de requisitos éticos y de usabilidad para la plataforma y capacitación.	Borrador de Requisitos Éticos y de Usabilidad	1	
Fase 2: Diseño de Arquitectura del Sistema	<i>Establecimiento de la estructura global de la plataforma, incluyendo software, infraestructura de datos y seguridad.</i>	6	
2.1. Diseño de la arquitectura de software de la plataforma de IA.	Documento de Arquitectura de Software (SAD)	3	

2.2. Diseño de la infraestructura de integración de datos IoT y satelitales.	Diagramas de Infraestructura de Datos	2	
2.3. Diseño de seguridad, privacidad y flujos de datos éticos.	Diseño de Seguridad y Privacidad	1	
Fase 3: Diseño Detallado de Componentes	<i>Elaboración de los diseños específicos para cada módulo de software, algoritmos de IA, protocolos IoT y la interfaz de usuario.</i>	8	
3.1. Diseño detallado de módulos de IA (predicción, optimización) y análisis de calidad.	Documentos de Diseño Detallado de Módulos de IA	3	
3.2. Diseño de protocolos de comunicación IoT, API de integración satelital y base de datos.	Especificaciones de Protocolos y API	3	
3.3. Diseño de la interfaz de usuario (UI/UX) intuitiva y componentes de visualización.	Prototipos de UI/UX y Guías de Estilo	2	
Fase 4: Implementación y Desarrollo	<i>Codificación de módulos, entrenamiento de modelos de IA, configuración de dispositivos IoT y establecimiento de la infraestructura de datos.</i>	12	
4.1. Codificación y desarrollo de los módulos de la plataforma de IA.	Módulos de Software Codificados	6	
4.2. Entrenamiento y ajuste de modelos de IA con datos iniciales (v1.0).	Modelos de IA Entrenados (v1.0)	4	
4.3. Configuración y despliegue de la infraestructura de datos y dispositivos IoT.	Infraestructura de Datos Operativa	2	
4.4. Formulación y aprobación del Marco Ético para el uso de IA en gestión hídrica.	Documento del Marco Ético Aprobado	4	
Fase 5: Verificación y Pruebas de Componentes	<i>Realización de pruebas unitarias y de módulo para cada componente individual, asegurando su correcto funcionamiento.</i>	4	

5.1. Ejecución de pruebas unitarias para cada módulo de software.	Informe de Pruebas Unitarias	2	
5.2. Verificación de la funcionalidad de algoritmos de IA y modelos de optimización.	Informe de Verificación de Algoritmos	2	
Fase 6: Integración y Pruebas de Sub-sistemas	<i>Verificación de la correcta interacción y comunicación entre los diferentes módulos y subsistemas integrados.</i>	6	
6.1. Integración de subsistemas de ingesta de datos (IoT, satelital) con módulos de IA.	Informe de Integración de Subsistemas	3	
6.2. Pruebas de comunicación y flujo de datos entre componentes integrados.	Informe de Pruebas de Flujo de Datos	3	
Fase 7: Validación de Sistema Integral	<i>Ejecución de pruebas exhaustivas sobre la plataforma completa en un entorno controlado para asegurar el cumplimiento de todos los requisitos.</i>	6	
7.1. Pruebas funcionales y no funcionales del sistema completo en entorno controlado.	Informe de Validación del Sistema	4	
7.2. Evaluación de rendimiento, escalabilidad y seguridad de la plataforma.	Informe de Evaluación de Rendimiento y Seguridad	2	
Fase 8: Implementación en Campo y Pruebas de Aceptación	<i>Despliegue de la plataforma en comunidades piloto, instalación de sensores IoT, capacitación a usuarios finales y recopilación de retroalimentación.</i>	12	
8.1. Selección y preparación de comunidades piloto, y logística de despliegue.	Informe de Selección de Pilotos y Plan Logístico	3	
8.2. Despliegue de la plataforma y configuración in-situ de sensores IoT.	Plataforma Desplegada y Configurada	3	
8.3. Capacitación integral a usuarios finales y gestores hídricos en comunidades piloto.	Informe y Material de Capacitación	3	

8.4. Pruebas de aceptación por parte del usuario (UAT) y recopilación de retroalimentación.	Informe de Pruebas de Aceptación y Usabilidad	3	
Fase 9: Operación, Monitoreo y Mejora Continua	<i>Soporte post-implementación, monitoreo del rendimiento de la plataforma, gestión de mejoras iterativas y mantenimiento del marco ético y programa de capacitación.</i>	36	
9.1. Monitoreo continuo del rendimiento, uso de la plataforma y consumo de agua.	Informes de Monitoreo de Rendimiento	12	
9.2. Recopilación y análisis de datos de uso y retroalimentación para mejoras.	Informe de Retroalimentación y Análisis	10	
9.3. Mantenimiento y soporte técnico a las comunidades y la infraestructura IoT.	Informes de Mantenimiento y Soporte	8	
9.4. Actualización y extensión del programa de capacitación y el marco ético.	Material de Capacitación y Marco Ético Actualizados	6	

Matriz de Riesgos

7.2. Matriz de Riesgos

#	Riesgo Potencial	Probabilidad	Impacto	Estrategia de Mitigación
1	Falta de datos de calidad o representativos para el entrenamiento del modelo de IA <i>Relacionado con: Fase 4: Implementación y Desarrollo (Actividad 4.2)</i>	Medium	High	Implementar un plan robusto de recolección, curación y validación de datos desde las fases iniciales. Establecer métricas de calidad de datos y realizar validaciones cruzadas constantes. Considerar el uso de técnicas de aumento de datos o modelos pre-entrenados si los datos iniciales son escasos, y preparar un plan para la adquisición continua de datos relevantes.

2	Baja aceptación o resistencia al uso de la plataforma por parte de los usuarios finales en comunidades rurales <i>Relacionado con: Fase 8: Implementación en Campo y Pruebas de Aceptación (Actividades 8.3, 8.4)</i>	Medium	High	Involucrar a los usuarios finales y gestores hídricos desde las fases de análisis y diseño (Fases 1 y 3) mediante talleres participativos y prototipos. Desarrollar materiales de capacitación culturalmente relevantes y accesibles. Realizar pruebas de usabilidad iterativas y establecer un programa de acompañamiento y soporte post-implementación cercano.
3	Retrasos en la integración y comunicación entre los sensores IoT, datos satelitales y la plataforma de IA <i>Relacionado con: Fase 6: Integración y Pruebas de Sub-sistemas (Actividades 6.1, 6.2)</i>	Medium	Medium	Definir estándares y protocolos de comunicación claros y robustos desde las fases de diseño (Fases 2 y 3). Realizar pruebas de concepto (PoC) tempranas para las integraciones más complejas. Utilizar API bien documentadas y herramientas de integración probadas. Asignar un equipo técnico especializado con experiencia en integración de sistemas heterogéneos.
4	Incumplimiento del cronograma debido a dificultades técnicas inesperadas o escasez de recursos especializados <i>Relacionado con: Todas las fases, especialmente Fase 4: Implementación y Desarrollo</i>	Medium	High	Realizar una planificación detallada con márgenes de tiempo para tareas críticas y contingencias. Identificar y asegurar la disponibilidad de expertos clave y establecer un plan de respaldo para roles críticos. Implementar revisiones de progreso semanales y un sistema de alerta temprana para identificar desviaciones y aplicar acciones correctivas.
5	Fallo en la infraestructura de hardware (sensores IoT) o conectividad en entornos rurales <i>Relacionado con: Fase 8: Implementación en Campo y Pruebas de Aceptación (Actividad 8.2) y Fase 9: Operación, Monitoreo y Mejora Continua (Actividad 9.3)</i>	Medium	Medium	Seleccionar hardware IoT robusto, de bajo consumo y adecuado para condiciones ambientales adversas. Implementar redundancia en puntos críticos y establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo. Utilizar tecnologías de comunicación resilientes y de bajo ancho de banda (ej. LoRaWAN) y contar con equipos de soporte técnico local capacitados.

8. Resultados e Impactos Esperados

8.1. Resultados Esperados (Entregables)

- **Plataforma de IA Integrada (Versión Beta):** Plataforma de inteligencia artificial diseñada y desarrollada, fusionando datos IoT y satelitales para predicción de disponibilidad de agua, optimización de riego y monitoreo de calidad del agua. Corresponde al Objetivo Específico 1.
- **Informes de Implementación y Validación en Comunidades Piloto:** Documentación detallada de la implementación de la plataforma en al menos 3 comunidades rurales, incluyendo resultados de validación, tasa de adopción, calificación de usabilidad y reducción del consumo de agua. Corresponde al Objetivo Específico 2.

- **Marco Ético para la IA en Gestión Hídrica:** Documento que establece las directrices éticas para la recopilación, uso de datos, privacidad y equidad en la aplicación de la IA para la gestión hídrica. Corresponde al Objetivo Específico 3.

- **Programa y Módulos de Capacitación Integral:** Diseño y desarrollo de módulos educativos (presenciales/virtuales) y un programa completo para empoderar a las comunidades rurales en el uso, mantenimiento de la plataforma y conceptos de gestión hídrica inteligente. Corresponde al Objetivo Específico 3.

8.2. Impactos Esperados

- **Impacto Técnico/Científico:**

Este proyecto avanzará el estado del arte en la aplicación de inteligencia artificial para la gestión hídrica en contextos rurales. Se desarrollarán metodologías innovadoras para la fusión y análisis de datos heterogéneos (IoT y satelitales), generando modelos predictivos y de optimización de riego más precisos y adaptables a las particularidades geográficas y climáticas de Colombia. La plataforma resultante servirá como un referente técnico y una base para futuras investigaciones en sistemas de gestión de recursos naturales impulsados por IA, contribuyendo a la creación de conocimiento abierto y soluciones escalables.

- **Impacto Económico:**

La implementación de la plataforma de IA generará impactos económicos directos e indirectos. Se espera una reducción significativa en el consumo de agua para riego, lo que se traducirá en ahorros operativos para los agricultores y una mayor eficiencia en el uso de recursos. La optimización del riego y el monitoreo de la calidad del agua mejorarán la productividad agrícola, asegurando cosechas más estables y de mayor calidad, lo que a su vez fortalecerá la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades rurales. Potencialmente, se abrirán nuevas oportunidades de negocio locales relacionadas con el mantenimiento de la infraestructura tecnológica y la provisión de servicios de consultoría hídrica.

- **Impacto Social/Ambiental:**

Desde una perspectiva social, el proyecto empoderará a las comunidades rurales a través de la transferencia de tecnología y programas de capacitación, fomentando nuevas habilidades y una mayor autonomía en la gestión de sus recursos hídricos. Mejorará la toma de decisiones informada, aumentando la resiliencia de los agricultores frente a la escasez de agua y los efectos del cambio climático. A nivel ambiental, el impacto será sustancial al promover una gestión hídrica más sostenible. La optimización del uso del agua reducirá la presión sobre las fuentes hídricas naturales, mitigará la sobreexplotación de acuíferos y contribuirá a la conservación de los ecosistemas fluviales y lacustres, asegurando la disponibilidad de agua para futuras generaciones.

9. Referencias Bibliográficas

- Agronegocios. (s.f.). *Se lanzó la primera herramienta de IA agrícola que está hecha en el campo colombiano*. Recuperado de <https://www.agronegocios.co/agricultura/se-lanzo-la-primer-herramienta-de-ia-agricola-que-esta-hecha-en-el-campo-colombiano-4133824>

- Cruz-Ángeles, J. (2024). Inteligencia Artificial y Seguridad Hídrica: desafíos y oportunidades para el Derecho de la Unión Europea. *Revista Española de Derecho Europeo*, 3(1), 1-20.
- Hispatec. (s.f.). *La IA para la agricultura llega a Colombia*. Recuperado de <https://www.hispatec.com/la-ia-para-la-agricultura-llega-a-colombia/>
- Karar, M. E., Al-Rasheed, M. F., Al-Rasheed, A. F., & Reyad, O. (2020). IoT and Neural Network-Based Water Pumping Control System For Smart Irrigation. *arXiv preprint arXiv:2005.03960*.
- Khan, M. A., Islam, M. Z., & Hafeez, M. (2020). Data Pre-Processing and Evaluating the Performance of Several Data Mining Methods for Predicting Irrigation Water Requirement. *arXiv preprint arXiv:2003.00392*.
- López Blanco, I. A. (2025). Inteligencia artificial en la gestión hídrica: retos educativos, éticos y profesionales. *Revista de Estudios Sociales*, 81, 1-15.
- Noriega-Murrieta, J. (2025). Optimización inteligente de la infraestructura hídrica rural con big data y predicción: Evidencias para Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 24(1), 1-18.
- Oropeza Tosca, D. R., Barras Baptista, A., Castillo Romero, F., Guerra Que, Z., & De León de los Santos, B. R. (2023). Análisis del estado del arte de la agricultura de precisión para su aplicación en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 12(23), 1-18.