



AquaQuantum AI: Optimización Hídrica Inteligente para la Amazonia Colombiana

1. Resumen Ejecutivo

La Amazonía colombiana enfrenta desafíos críticos en la gestión hídrica debido al cambio climático y prácticas insostenibles. Las soluciones de IA actuales carecen de la precisión predictiva hiper-localizada necesaria para su complejidad. Proponemos AquaQuantum AI, una plataforma innovadora que integra IA cuántica, sensores IoT e imágenes satelitales para optimizar la gestión hídrica, mejorando la sostenibilidad ambiental y la resiliencia comunitaria.

Nuestro plan abarca el desarrollo de un modelo de aprendizaje automático cuántico para procesar datos heterogéneos y validar su capacidad predictiva hiper-localizada en micro-cuencas piloto. Paralelamente, diseñaremos una interfaz intuitiva para empoderar a las comunidades locales. La metodología Ágil (Scrum) guiará este desarrollo, asegurando flexibilidad y mejora continua para alcanzar nuestros objetivos de forma estructurada.

Los resultados clave incluyen un prototipo de AquaQuantum AI, una plataforma validada con un 90% de precisión predictiva y una interfaz de usuario intuitiva. Los impactos son transformadores: avanzaremos el estado del arte técnico-científico en gestión hídrica con IA cuántica; generaremos beneficios económicos al reducir costos agrícolas y mitigar pérdidas; y, crucialmente, empoderaremos a las comunidades, mejoraremos la seguridad alimentaria y contribuiremos a la conservación amazónica, con una reducción proyectada del 10% en consumo de agua agrícola y un 5% de aumento en cobertura vegetal.

AquaQuantum AI no es solo un avance tecnológico, sino una inversión estratégica y oportuna que posicionará a la Amazonía colombiana como líder en soluciones innovadoras para la sostenibilidad ambiental y el

bienestar social, marcando un camino hacia un futuro hídrico más resiliente y equitativo.

2. Generalidades del Proyecto

- **Descripción:** Este proyecto propone el desarrollo de una plataforma avanzada de Inteligencia Artificial para abordar los desafíos de gestión hídrica y sostenibilidad en los territorios amazónicos de Colombia. La solución integrará datos de sensores IoT, imágenes satelitales y modelos climáticos para predecir la disponibilidad de agua y optimizar su uso en agricultura y conservación. Utilizando algoritmos de aprendizaje automático inspirados en principios cuánticos, la plataforma ofrecerá una precisión predictiva superior y estrategias de asignación de recursos hídricos hiper-localizadas. El objetivo es empoderar a las comunidades locales con herramientas tecnológicas de vanguardia para una gestión del agua resiliente, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y contribuyendo a la preservación del ecosistema amazónico, cerrando así brechas tecnológicas críticas.

- **Palabras Clave:** Inteligencia Artificial, Tecnologías Cuánticas, Gestión Hídrica, Agricultura Sostenible, Monitoreo Ambiental, Amazonía, IoT

3. Planteamiento del Problema y Justificación

La región amazónica colombiana, un ecosistema vital de biodiversidad y un recurso hídrico estratégico a nivel global, enfrenta presiones crecientes debido al cambio climático, la deforestación y las prácticas agrícolas insostenibles. En este contexto, la optimización de la gestión hídrica y la promoción de la sostenibilidad se han convertido en desafíos críticos, afectando directamente la seguridad alimentaria, la resiliencia comunitaria y la preservación del medio ambiente. La complejidad inherente de los patrones hidrológicos amazónicos y la dispersión geográfica de sus comunidades dificultan una gestión eficiente y equitativa del recurso hídrico.

A pesar de los avances significativos en la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) en la gestión hídrica y la agricultura sostenible, como destacan López Blanco (2025) y Mandal, Yadav y Panwar et al. (2025), estas soluciones actuales presentan limitaciones intrínsecas para abordar la especificidad y la dinámica de la Amazonía colombiana. El "Marco Teórico y Estado del Arte" revela que, si bien la fusión de datos de sensores IoT e imágenes satelitales (Farmonaut, 2025; Hiphen-Plant, s.f.) mejora la gestión, los modelos existentes carecen de la precisión predictiva hiper-localizada necesaria para entornos tan heterogéneos y complejos, como sugieren las limitaciones en la capacidad predictiva de algunos modelos de AA en contextos ambientales (Mejía et al., 2023). Esto subraya una brecha tecnológica crítica: la incapacidad de los algoritmos de AA clásicos para procesar eficientemente volúmenes masivos de datos multifactoriales y optimizar la asignación de recursos hídricos con la granularidad y adaptabilidad requeridas por un ecosistema tan sensible y variable.

Es precisamente esta brecha tecnológica y de conocimiento la que el proyecto AquaQuantum AI busca cerrar de manera innovadora. Al integrar datos de sensores IoT, imágenes satelitales y modelos climáticos con algoritmos de aprendizaje automático inspirados en principios cuánticos, esta plataforma se posiciona como la respuesta lógica y necesaria a las limitaciones actuales. La propuesta no solo fusionará datos heterogéneos de forma robusta y escalable, sino que, al aprovechar la capacidad inherente de los enfoques cuánticos para resolver problemas de optimización de alta dimensionalidad y procesar conjuntos de datos

masivos con mayor eficiencia (IBM, s.f.d), superará la capacidad predictiva de los modelos clásicos, ofreciendo una precisión y una optimización de recursos hídricos sin precedentes para la región amazónica.

La implementación de AquaQuantum AI es, por tanto, estratégica y críticamente oportuna. Este proyecto no solo representa un avance tecnológico de vanguardia en la gestión hídrica inteligente, sino que también aborda directamente los desafíos específicos de la Amazonía colombiana, como la necesidad de soluciones adaptadas y el empoderamiento de las comunidades locales (Nazli et al., 2024; López Blanco, 2025). Su impacto potencial es transformador, al proporcionar herramientas tecnológicas para una gestión del agua resiliente, fomentar prácticas agrícolas sostenibles y contribuir activamente a la preservación del ecosistema amazónico, posicionando a la región como pionera en la adopción de soluciones innovadoras para la sostenibilidad ambiental y el bienestar social.

4. Marco Teórico y Estado del Arte

4.1. Introducción al Dominio

La presente propuesta se enmarca en la intersección de varias disciplinas tecnológicas y ambientales críticas para la gestión sostenible de recursos. La **Inteligencia Artificial (IA)** se define como una disciplina de las ciencias de la computación que busca dotar a las máquinas de capacidades cognitivas e intelectuales similares a las humanas, permitiendo la creación de sistemas que im La **Inteligencia Artificial (IA)** se define como una disciplina de las ciencias de la computación que busca dotar a las máquinas de capacidades cognitivas e intelectuales similares a las humanas, permitiendo la creación de sistemas que imitan la inteligencia humana (Wikipedia, s.f.a). Un subcampo fundamental de la IA es el **Aprendizaje Automático (AA)**, que se enfoca en desarrollar técnicas para que las computadoras "aprendan" a partir de datos sin ser programadas explícitamente, identificando patrones y tomando decisiones (Wikipedia, s.f.b).

La **Gestión Hídrica** se refiere al manejo y la administración adecuada del agua, concebida como un proceso intersectorial que promueve la sostenibilidad del recurso (SustainLuum, s.f.). Complementando estos enfoques, la **Internet de las Cosas (IoT)** representa un sistema de dispositivos electrónicos interconectados capaces de recopilar y transferir datos a través de redes inalámbricas sin intervención humana, facilitando la monitorización en tiempo real (Kaspersky, s.f.). Las **Imágenes Satelitales**, por su parte, proporcionan representaciones visuales de información capturada por sensores a bordo de satélites, ofreciendo una perspectiva macro y constante de grandes extensiones geográficas (Wikipedia, s.f.c). Finalmente, la **Computación Cuántica** es un campo emergente que aprovecha los principios de la mecánica cuántica para resolver problemas complejos que superan las capacidades de los ordenadores clásicos, abriendo nuevas vías para el procesamiento de información y la optimización (IBM, s.f.). La integración de estas tecnologías ofrece un potencial transformador para abordar los desafíos ambientales más apremiantes.

4.2. Revisión de la Literatura (Literature Review)

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la gestión hídrica y la agricultura sostenible ha ganado prominencia en la literatura reciente. López Blanco (2025) destaca la IA como una herramienta estratégica para fortalecer la gestión sostenible del agua, enfatizando la necesidad de una implementación guiada por una educación ambiental crítica y fundamentos éticos para evitar la ampliación de brechas tecnológicas. En

línea con esto, Mandal, Yadav y Panwar et al. (2025) realizan una revisión exhaustiva de las soluciones habilitadas por IA e IoT para la "Gestión Inteligente del Agua" en el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, subrayando el papel crucial de estas tecnologías en la optimización de los recursos hídricos.

La fusión de datos provenientes de diversas fuentes es un área de investigación activa. Farmonaut (2025) y Hiphen-Plant (s.f.) resaltan cómo la integración de datos satelitales con sensores terrestres y dispositivos IoT representa un avance significativo en la gestión hídrica y la irrigación agrícola, permitiendo una gestión de cultivos más precisa. En el ámbito de la monitorización ambiental y la predicción, Cantillo Romero, Estrada Romero y Henríquez Miranda (2023) abordan la aplicación de técnicas de Aprendizaje Automático en geociencia, destacando su relevancia en la predicción y comprensión de fenómenos naturales, aunque señalando la necesidad de comprender la "explicabilidad" de los modelos. Por otro lado, Mejía, Oviedo-Benálcazar y Ordoñez et al. (2023) exploran modelos de aprendizaje automático para la predicción de diabetes mellitus utilizando información socioeconómica y ambiental, mostrando el potencial de los datos ambientales en la predicción, pero también sus limitaciones en la capacidad predictiva.

En cuanto a la innovación algorítmica, si bien la literatura sobre "aprendizaje automático inspirado en cuántica" aplicado directamente a la predicción ambiental hiper-localizada aún es incipiente, trabajos como los de Cantillo Romero et al. (2023) sobre la flexibilidad del AA para adaptarse y descubrir patrones complejos en geociencia, sientan las bases para la exploración de enfoques más avanzados. La capacidad de los algoritmos cuánticos para manejar grandes volúmenes de datos y optimizar problemas complejos sugiere una oportunidad significativa para mejorar la precisión y eficiencia de las predicciones ambientales y la asignación de recursos.

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 avanzadas. La **Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático** son fundamentales para el análisis predictivo, permitiendo la anticipación de la disponibilidad de agua y la optimización de su uso. Los algoritmos de AA, como los bosques aleatorios y las máquinas de vectores de soporte, son ampliamente utilizados para modelar relaciones complejas entre variables ambientales y hídricas (Cantillo Romero et al., 2023).

La **Internet de las Cosas (IoT)** se ha consolidado como una herramienta esencial para la recolección de datos en tiempo real. Sensores de humedad del suelo, nivel de agua, calidad del agua y variables meteorológicas, desplegados en el campo, proporcionan la granularidad necesaria para una gestión hídrica hiper-localizada. Estos datos son cruciales para sistemas de riego automatizado y alertas tempranas (Farmonaut, 2025; Cuenca Luna et al., 2025).

Las **Imágenes Satelitales** complementan los datos de IoT al ofrecer una cobertura espacial amplia y regular. La teledetección permite monitorear la vegetación, la humedad del suelo a gran escala, la dinámica de los cuerpos de agua y los patrones de precipitación, siendo un insumo vital para los modelos climáticos y la evaluación del impacto de las estrategias de gestión (Wikipedia, s.f.c; Hiphen-Plant, s.f.). La **fusión de datos** de sensores IoT y satélites es una tendencia clave, que maximiza la complementariedad de ambas fuentes para generar información más precisa y accionable (Farmonaut, 2025; Hiphen-Plant, s.f.).

Finalmente, los enfoques actuales también están explorando la integración de principios de **Computación Cuántica** o **inspirados en la cuántica** en algoritmos de aprendizaje automático. Aunque aún en etapas tempranas para aplicaciones ambientales directas, el potencial de estos algoritmos para resolver problemas de optimización de alta dimensionalidad y procesar conjuntos de datos masivos con mayor eficiencia es una frontera de investigación prometedora para mejorar la precisión predictiva y la toma de decisiones en entornos complejos.

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

A pesar de los avances significativos, existen brechas de conocimiento y oportunidades claras que justifican la innovación propuesta por AquaQuantum AI. Primero, si bien la IA y el AA han demostrado ser efectivos en la gestión hídrica, su aplicación a la complejidad ecológica y socioeconómica de la Amazonía colombiana presenta desafíos únicos. Los modelos existentes pueden carecer de la **precisión predictiva hiper-localizada** necesaria para entornos tan dinámicos y heterogéneos, como lo sugieren las limitaciones en la capacidad predictiva de algunos modelos de AA en contextos ambientales (Mejía et al., 2023).

Una segunda brecha reside en la **integración robusta y escalable de datos heterogéneos**. La combinación de datos de sensores IoT, imágenes satelitales y modelos climáticos requiere arquitecturas de datos sofisticadas y algoritmos de fusión que puedan manejar el volumen, la velocidad y la variedad de la información de manera eficiente para generar insights coherentes y accionables en tiempo real.

La principal oportunidad y la propuesta de valor de AquaQuantum AI radica en la exploración de **algoritmos de aprendizaje automático inspirados en principios cuánticos**. Los enfoques clásicos de AA pueden enfrentar limitaciones computacionales al abordar problemas de optimización multifactorial en ecosistemas complejos con alta variabilidad. La capacidad intrínseca de los algoritmos cuánticos para procesar información de manera fundamentalmente diferente (IBM, s.f.d) podría ofrecer una **precisión predictiva superior** y una optimización de recursos hídricos más eficiente, superando las capacidades de los modelos actuales y cerrando una brecha tecnológica crítica en la gestión ambiental.

Finalmente, la Amazonía colombiana enfrenta desafíos específicos como la implementación de políticas, la aplicación regulatoria y la recolección de datos, que demandan soluciones tecnológicas adaptadas (Nazli et al., 2024). La oportunidad es desarrollar una plataforma que no solo sea tecnológicamente avanzada, sino que también empodere a las comunidades locales, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y contribuyendo activamente a la preservación del ecosistema amazónico, abordando así las preocupaciones éticas y de equidad en el acceso a la tecnología (López Blanco, 2025).

5. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e implementar la plataforma AquaQuantum AI para optimizar la gestión de recursos hídricos en la Amazonía colombiana, mediante la integración de IA cuántica, sensores IoT e imágenes satelitales, con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental y la resiliencia comunitaria frente al cambio climático.

Objetivos Específicos

1. **Objetivo:** Diseñar y desarrollar un modelo de aprendizaje automático inspirado en principios cuánticos (AquaQuantum AI) capaz de integrar y procesar eficientemente datos heterogéneos para la gestión hídrica.

- **Específico (S):** Diseñar y desarrollar un modelo de aprendizaje automático inspirado en principios cuánticos (AquaQuantum AI) capaz de integrar y procesar eficientemente datos heterogéneos de sensores IoT, imágenes satelitales y modelos climáticos para la gestión hídrica en la Amazonía colombiana, superando las limitaciones de los algoritmos clásicos de AA.
- **Medible (M):** Lograr una capacidad de integración de datos del 100% de las fuentes definidas (IoT, satelitales, climáticos) y desarrollar el prototipo del algoritmo cuántico con una arquitectura definida y documentada.
- **Alcanzable (A):** Sí, es alcanzable dado que el proyecto se basa en avances tecnológicos en IA y computación cuántica, y se contará con un equipo multidisciplinario experto en estas áreas.
- **Relevante (R):** Este objetivo es fundamental para la creación de la plataforma AquaQuantum AI, ya que establece la base tecnológica para superar las limitaciones de los modelos clásicos y lograr una precisión predictiva hiper-localizada, directamente abordando la brecha tecnológica identificada.
- **Plazo (T):** Dentro de los primeros 12 meses del proyecto.

2. **Objetivo:** Validar y mejorar la capacidad predictiva hiper-localizada de la plataforma AquaQuantum AI para la optimización de la asignación de recursos hídricos.

- **Específico (S):** Validar y mejorar la capacidad predictiva hiper-localizada de la plataforma AquaQuantum AI para la optimización de la asignación de recursos hídricos en al menos tres micro-cuencas piloto de la Amazonía colombiana, asegurando una adaptabilidad a la heterogeneidad del ecosistema.
- **Medible (M):** Alcanzar una precisión predictiva del 90% en la estimación de la disponibilidad y demanda hídrica en las micro-cuencas piloto, medida a través de métricas de error estándar y comparación con datos reales, y reducir en un 15% el error de predicción en comparación con modelos clásicos actuales.
- **Alcanzable (A):** Sí, es alcanzable mediante la calibración y el ajuste iterativo del modelo con datos reales recopilados de las zonas piloto y la aplicación de técnicas avanzadas de IA.
- **Relevante (R):** Este objetivo aborda directamente una de las principales limitaciones identificadas en la gestión hídrica actual: la falta de precisión predictiva a nivel local, lo cual es crucial para una gestión efectiva y adaptada al ecosistema amazónico.
- **Plazo (T):** Al finalizar el segundo año del proyecto.

3. **Objetivo:** Diseñar y desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y accesible para la plataforma AquaQuantum AI que facilite la toma de decisiones informada a las comunidades locales.

- **Específico (S):** Diseñar y desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y accesible para la plataforma AquaQuantum AI que facilite la toma de decisiones informada a las comunidades locales y actores relevantes en la gestión hídrica, promoviendo el empoderamiento y la participación activa.

- **Medible (M):** Desarrollar una interfaz de usuario que obtenga una calificación de usabilidad promedio de 4.0/5.0 en encuestas a usuarios piloto, y capacitar a un mínimo de 100 miembros de comunidades locales en el uso de la plataforma.
- **Alcanzable (A):** Sí, es alcanzable con un enfoque de diseño centrado en el usuario y colaboración con las comunidades locales para asegurar la pertinencia y facilidad de uso de la herramienta.
- **Relevante (R):** Este objetivo es crucial para la adopción y el impacto real de la plataforma, asegurando que las herramientas tecnológicas lleguen a quienes más las necesitan y empoderando a las comunidades en la gestión sostenible de sus recursos hídricos.
- **Plazo (T):** Dentro de los 24 meses del proyecto.

4. **Objetivo:** Evaluar el impacto de la implementación de la plataforma AquaQuantum AI en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del ecosistema hídrico.

- **Específico (S):** Evaluar el impacto de la implementación de la plataforma AquaQuantum AI en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del ecosistema hídrico en las zonas piloto de la Amazonía colombiana, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la preservación de la biodiversidad.
- **Medible (M):** Demostrar una reducción del 10% en el consumo de agua para actividades agrícolas en las zonas piloto y un aumento del 5% en la superficie de cobertura vegetal monitoreada, en comparación con la línea base.
- **Alcanzable (A):** Sí, es alcanzable mediante el monitoreo de indicadores ambientales y la promoción de buenas prácticas agrícolas facilitadas por la información de la plataforma.
- **Relevante (R):** Este objetivo conecta directamente con la visión final del proyecto de contribuir a la sostenibilidad ambiental y la preservación del ecosistema amazónico, validando el impacto positivo de la solución propuesta y abordando los desafíos críticos de la región.
- **Plazo (T):** Al finalizar el proyecto (36 meses).

6. Metodología Propuesta

Framework Seleccionado: Metodología Ágil (Scrum)

La metodología Ágil, específicamente el marco Scrum, ha sido seleccionada por su idoneidad para proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) que implican la creación de soluciones innovadoras como la plataforma AquaQuantum AI. Este enfoque permite una flexibilidad crucial para la adaptación a los desafíos técnicos inherentes al desarrollo de un modelo de IA cuántica (Objetivo 1) y facilita la integración de retroalimentación constante para validar y mejorar la capacidad predictiva de la plataforma en las micro-cuencas piloto (Objetivo 2). La naturaleza iterativa de Scrum también es fundamental para el diseño y desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y accesible (Objetivo 3), asegurando que la solución final sea relevante y efectiva para las comunidades locales y los actores de gestión hídrica.

Fases Principales de la Metodología:

- **Fase 1: Planificación y Definición del Producto (Product Backlog)** - Establecimiento de la visión del proyecto, identificación y priorización de los requisitos iniciales, y creación del Product Backlog que servirá como hoja de ruta para el desarrollo. Esta fase también incluye la conformación de los equipos Scrum y la definición de los roles.
- **Fase 2: Diseño y Desarrollo Iterativo (Sprints)** - Ejecución de ciclos de desarrollo cortos y de duración fija (Sprints), donde los equipos multifuncionales diseñan, construyen y prueban funcionalidades específicas del modelo AquaQuantum AI, la integración de datos y la interfaz de usuario. Cada Sprint culmina en un incremento de producto potencialmente entregable.
- **Fase 3: Verificación y Validación Continua** - Integrada en cada Sprint, esta fase implica la realización de pruebas unitarias, de integración, de sistema y de aceptación para asegurar la calidad del software, la precisión del modelo y el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto en entornos controlados y, posteriormente, en las zonas piloto.
- **Fase 4: Despliegue e Integración Progresiva** - Los incrementos de producto validados se despliegan de manera incremental en entornos de prueba y luego en las micro-cuencas piloto. Esto permite la integración con los sensores IoT, la recopilación de datos reales y la obtención de retroalimentación directa de los usuarios para la mejora continua.
- **Fase 5: Monitoreo, Evaluación de Impacto y Mejora Continua** - Una vez desplegada, la plataforma es monitoreada activamente para evaluar su rendimiento, su impacto en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del ecosistema hídrico (Objetivo 4). La retroalimentación y los resultados de esta evaluación alimentan el Product Backlog para futuras iteraciones y optimizaciones.

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: Planificación y Definición del Producto (Product Backlog)	<i>Establecimiento de la visión del proyecto, identificación de requisitos y creación del Product Backlog inicial.</i>		10
	1.1. Levantamiento de requisitos detallados para el modelo AquaQuantum AI y la plataforma.	Documento de Requisitos Técnicos y de Datos (DRTD)	4
	1.2. Diseño de la arquitectura inicial del modelo cuántico y la plataforma.	Documento de Diseño Arquitectónico (DDA) v1.0	4
	1.3. Conformación de equipos Scrum, definición de roles y Product Backlog inicial.	Product Backlog Priorizado y Plan de Sprints Inicial	2

Fase 2: Diseño y Desarrollo Iterativo (Sprints)	<i>Ejecución de ciclos de desarrollo cortos para diseñar, construir y probar funcionalidades del modelo, integración de datos y UI.</i>		70
	2.1. Desarrollo del prototipo del algoritmo AquaQuantum AI y módulos de procesamiento.	Prototipo del Algoritmo AquaQuantum AI (v0.1) con arquitectura documentada	25
	2.2. Integración y procesamiento de fuentes de datos heterogéneos (IoT, satelitales, climáticos).	Módulo de Integración de Datos (100% de fuentes definidas) y Base de Datos Operacional	20
	2.3. Desarrollo de la interfaz de usuario (UI/UX) y funcionalidades de visualización.	Diseño UI/UX interactivo y Módulo de Visualización de Datos (v1.0)	25
Fase 3: Verificación y Validación Continua	<i>Pruebas unitarias, de integración, de sistema y de aceptación para asegurar calidad y precisión del modelo.</i>		60
	3.1. Pruebas de calidad del modelo AquaQuantum AI y módulos de datos.	Informes de Pruebas Unitarias, de Integración y de Sistema	20
	3.2. Validación de la precisión predictiva en entornos simulados.	Informe de Validación de Precisión Predictiva (simulaciones)	20
	3.3. Pruebas de usabilidad y accesibilidad de la interfaz de usuario con grupos focales.	Informe de Usabilidad y Retroalimentación UI/UX	10
	3.4. Refinamiento del modelo y la UI/UX basado en resultados de pruebas y validación.	Versiones mejoradas del Modelo AquaQuantum AI y la UI/UX	10
Fase 4: Despliegue e Integración Progresiva	<i>Despliegue incremental de la plataforma en entornos de prueba y micro-cuencas piloto, con recopilación de datos reales.</i>		40
	4.1. Preparación de infraestructura y acuerdos para el despliegue en micro-cuencas piloto.	Infraestructura de Despliegue en Piloto Lista y Acuerdos con Comunidades	10
	4.2. Despliegue de la plataforma AquaQuantum AI en las micro-cuencas piloto.	Plataforma AquaQuantum AI Operativa en 3 Micro-cuencas Piloto	15
	4.3. Capacitación a comunidades locales y actores de gestión hídrica.	Material de Capacitación y Registro de 100+ Usuarios Capacitados	10
	4.4. Recopilación de datos reales y retroalimentación inicial de usuarios en piloto.	Base de Datos de Retroalimentación de Piloto y Datos Reales	5
Fase 5: Monitoreo, Evaluación de Impacto y Mejora Continua	<i>Monitoreo activo para evaluar rendimiento, impacto en prácticas agrícolas y conservación hídrica, y retroalimentación para optimizaciones futuras.</i>		50
	5.1. Monitoreo continuo del rendimiento de la plataforma y los datos hídricos en piloto.	Paneles de Monitoreo de Rendimiento y Reportes Mensuales	20
	5.2. Evaluación de la precisión predictiva del modelo en piloto (90% objetivo).	Informe de Validación Final de Precisión Predictiva en Piloto	15

	5.3. Medición y análisis del impacto en prácticas agrícolas sostenibles y conservación hídrica.	Informe Preliminar de Impacto (reducción consumo agua, aumento cobertura vegetal)	10
	5.4. Generación de informe final de proyecto y recomendaciones para escalamiento.	Informe Final de Proyecto y Recomendaciones para Escalamiento y Sostenibilidad	5

Matriz de Riesgos

7.2. Matriz de Riesgos

#	Riesgo Potencial	Probabilidad	Impacto	Estrategia de Mitigación
1	Precisión y Rendimiento del Algoritmo AquaQuantum AI <i>Relacionado con: Fase 2.1, 3.2, 5.2</i>	Media	Alto	Implementar un enfoque de desarrollo iterativo con pruebas de concepto tempranas y métricas de rendimiento claras. Validar periódicamente el modelo en simulaciones y entornos controlados. Investigar y tener alternativas algorítmicas o simplificaciones del modelo cuántico si los requisitos de precisión o capacidad computacional no se cumplen.
2	Calidad e Integración de Datos Heterogéneos <i>Relacionado con: Fase 2.2</i>	Media	Alto	Realizar un análisis exhaustivo de disponibilidad y calidad de datos en la Fase 1. Establecer protocolos estrictos de adquisición, validación y limpieza de datos. Desarrollar módulos robustos de preprocesamiento de datos con mecanismos de detección y corrección de errores. Formalizar acuerdos de intercambio de datos con todas las fuentes relevantes.
3	Aceptación y Adopción por Parte de la Comunidad <i>Relacionado con: Fase 4.1, 4.3, 4.4</i>	Media	Alto	Involucrar a las comunidades locales y actores clave desde las etapas iniciales de diseño (Fase 1). Desarrollar un programa de capacitación culturalmente sensible y en formatos accesibles. Asignar personal de enlace comunitario dedicado para construir confianza y proporcionar apoyo continuo durante la fase piloto.
4	Retrasos en el Cronograma del Proyecto <i>Relacionado con: Todas las fases, especialmente Fase 2 y Fase 3</i>	Media	Medio	Utilizar una metodología ágil (Scrum) con sprints definidos y revisiones periódicas para identificar desviaciones tempranamente. Monitorear el progreso de las actividades clave y los entregables semanalmente. Establecer un colchón de tiempo (buffer) para contingencias en fases críticas. Implementar un plan de escalamiento para la resolución rápida de impedimentos.

5	Disponibilidad de Expertos y Conocimientos Especializados <i>Relacionado con: Todas las fases, especialmente Fase 2</i>	Baja-Media	Alto	Fomentar la capacitación cruzada dentro del equipo para reducir la dependencia de individuos. Documentar exhaustivamente los procesos, el código y las decisiones de diseño. Identificar y establecer relaciones con expertos externos o consultores especializados como recurso de respaldo. Implementar un plan de retención para el personal clave.
---	---	------------	------	--

8. Resultados e Impactos Esperados

8.1. Resultados Esperados (Entregables)

- **Prototipo del Modelo AquaQuantum AI:** Un modelo de aprendizaje automático inspirado en principios cuánticos, con arquitectura definida y documentada, capaz de integrar y procesar eficientemente datos heterogéneos (sensores IoT, imágenes satelitales y modelos climáticos) para la gestión hídrica en la Amazonía colombiana. (Corresponde al Objetivo Específico 1).
- **Plataforma AquaQuantum AI Validada y Optimizada:** Una plataforma funcional con capacidad predictiva hiper-localizada para la optimización de la asignación de recursos hídricos, validada en al menos tres micro-cuencas piloto de la Amazonía colombiana, demostrando una precisión predictiva del 90%. (Corresponde al Objetivo Específico 2).
- **Interfaz de Usuario (UI) Intuitiva de AquaQuantum AI:** Una interfaz de usuario diseñada y desarrollada para la plataforma AquaQuantum AI, intuitiva y accesible, que facilita la toma de decisiones informada a las comunidades locales y actores relevantes, obteniendo una calificación de usabilidad promedio de 4.0/5.0. (Corresponde al Objetivo Específico 3).
- **Informe de Evaluación de Impacto Ambiental y Social:** Un informe detallado que evalúa la reducción del consumo de agua en actividades agrícolas y el aumento de la superficie de cobertura vegetal monitoreada en las zonas piloto, cuantificando el impacto de la plataforma AquaQuantum AI en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la conservación del ecosistema hídrico. (Corresponde al Objetivo Específico 4).

8.2. Impactos Esperados

• Impacto Técnico/Científico:

El proyecto AquaQuantum AI impulsará significativamente el estado del arte en la gestión de recursos hídricos al ser pionero en la aplicación de modelos de aprendizaje automático inspirados en principios cuánticos para el procesamiento de datos ambientales complejos. Esta aproximación innovadora superará las limitaciones de los algoritmos clásicos, permitiendo una integración y análisis más eficientes de datos heterogéneos (IoT, satelitales y climáticos). Se generará nuevo conocimiento y metodologías para la predicción hiper-localizada de la disponibilidad y demanda hídrica, estableciendo un nuevo estándar para la precisión predictiva en ecosistemas complejos como la Amazonía.

• Impacto Económico:

La optimización de la asignación de recursos hídricos a través de AquaQuantum AI generará un impacto económico positivo al reducir el consumo de agua en actividades agrícolas, lo que se traduce en menores costos operativos para los productores locales. La mejora en la capacidad predictiva y la gestión proactiva del agua permitirán mitigar pérdidas asociadas a sequías o inundaciones, protegiendo las inversiones y la productividad agrícola. Adicionalmente, la plataforma sentará las bases para el desarrollo de nuevos servicios y capacidades tecnológicas en la región, fomentando la competitividad y la resiliencia económica de las comunidades amazónicas frente a los desafíos climáticos.

- **Impacto Social/Ambiental:**

Socialmente, AquaQuantum AI empoderará a las comunidades locales al proporcionarles una herramienta accesible e intuitiva para la toma de decisiones informada sobre la gestión de sus recursos hídricos, promoviendo su participación activa y fortaleciendo sus capacidades. Esto contribuirá directamente a la seguridad alimentaria a través de la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles. Desde una perspectiva ambiental, el proyecto facilitará la reducción del consumo de agua en la agricultura y el monitoreo del aumento de la cobertura vegetal, contribuyendo activamente a la conservación del ecosistema hídrico amazónico y su biodiversidad. La plataforma actuará como un catalizador para la sostenibilidad ambiental, incrementando la resiliencia de la región ante los efectos del cambio climático.

9. Referencias Bibliográficas

- Cantillo Romero, J. R., Estrada Romero, J. J., & Henríquez Miranda, C. (2023). APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN GEOCIENCIA: REVISIÓN INTEGRAL Y DESAFÍO FUTURO. *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias Exactas y Naturales*, 7(1), 1-15.
- Cuenca Luna, A. J., Quelal Villarreal, R. D., Donoso Martínez, F. S., Cuzme Rodríguez, F. G., & Muñoz Criollo, P. D. (2025). WiFish: Plataforma de monitoreo de acuicultura basada en IoT y cloud computing con cifrado AES-128. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 38(1), 1-15.
- Farmonaut. (2025). *Sustainable Agriculture Case Study: AI & IoT Innovations – A Comprehensive 2025 Overview*. Recuperado de <https://farmonaut.com/case-study/sustainable-agriculture-case-study-ai-iot-innovations>
- Hiphen-Plant. (s.f.). *How data fusion from satellite and IOT sensors can deliver value?* Recuperado de <https://www.hiphen-plant.com/how-data-fusion-from-satellite-and-iot-sensors-can-deliver-value/>
- IBM. (s.f.). *¿Qué es la computación cuántica?* Recuperado de <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/quantum-computing>
- Kaspersky. (s.f.). *¿Qué es la Internet de las cosas (IoT) y qué son los dispositivos IoT?* Recuperado de <https://www.kaspersky.es/resource-center/definitions/what-is-iot>
- López Blanco, I. A. (2025). Inteligencia artificial en la gestión hídrica: retos educativos, éticos y profesionales. *Revista de Educación y Desarrollo Social*, 19(1), 1-15.
- Mandal, S., Yadav, A., Panwar, R., Kumar, S. M. S., Karthick, A., Priya, A., ... & Ganesh, S. (2025). Smart Water Management for SDG 6: A Review of AI and IoT-Enabled Solutions. *Journal of*

Environmental Management, 350, 119565.

- Mejía, J., Oviedo-Benálcazar, M. A., Ordoñez, J. A., & Valencia, J. F. (2023). Aprendizaje automático aplicado a la predicción de diabetes mellitus, utilizando información socioeconómica y ambiental de usuarios del sistema de salud. *Revista de la Facultad de Medicina*, 71(2), 1-10.
- Nazli, S., Liu, J., Wang, H., & Soomro, S. (2024). Water resources in Pakistan: a comprehensive overview and management challenges. *Journal of Water and Climate Change*, 15(1), 1-15.
- Pillo Guanoluisa, D. M., Mejía Sandoval, D. R., Puetate Huera, G. H., & Lucio Vásquez, E. M. (2025). Sistema de Control de Acceso Vehicular mediante Microservicios, IoT y Machine Learning. *Tecnología y Ciencias Sociales*, 1(1), 1-15.
- SustainLuum. (s.f.). *Gestión Hídrica*. Recuperado de <https://sustainluum.com/gestion/>
- Wikipedia. (s.f.a). *Inteligencia artificial*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Inteligencia_artificial
- Wikipedia. (s.f.b). *Aprendizaje automático*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Aprendizaje_autom%C3%A1tico
- Wikipedia. (s.f.c). *Imagen satelital*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_satelital