



# **Inteligencia Artificial para el Monitoreo de Calidad del Agua en Agricultura**

La Inteligencia Artificial para monitorear y mejorar la calidad del agua en sistemas agrícolas, abordando problemas de contaminación y optimizando el uso de recursos hídricos



# Planteamiento del Problema

La agricultura es responsable del 70% del consumo mundial de agua dulce y es una fuente significativa de contaminación por nitratos y fósforo, que causan eutrofización y daños a ecosistemas acuáticos.

## Contaminación por Nutrientes

El exceso de fertilizantes se filtra a los acuíferos y llega a ríos y lagos.

## Eutrofización

Es un proceso que se produce cuando un ecosistema acuático recibe un aporte excesivo de nutrientes, procedentes normalmente de actividades humanas como la agricultura, la ganadería, el mal manejo de aguas residuales y la descarga de detergentes.

## Salinización

La acumulación de sales en el suelo reduce su fertilidad y productividad.

## Agotamiento de Acuíferos

El riego ineficiente agota las reservas de agua subterránea.



# Importancia

Garantizar la calidad del agua es esencial para la seguridad alimentaria, la salud humana y la protección del medio ambiente. La IA permite un enfoque preventivo y eficiente.

## ¿Por qué es crucial?

- **Seguridad alimentaria:** El agua de calidad es esencial para cultivos saludables
- **Salud pública:** Evita la contaminación del agua potable con nitratos y otros químicos
- **Conservación de ecosistemas:** Protege la biodiversidad en ríos, lagos y océanos
- **Sostenibilidad económica:** Reduce costos a largo plazo para agricultores y comunidades



# Soluciones Actuales de IA

Actualmente se utilizan sistemas de monitoreo predictivo, gemelos digitales para simulación y algoritmos de optimización para mejorar la gestión del agua en agricultura.



## Sistemas de Monitoreo Predictivo

Analizan datos en tiempo real para anticipar problemas de calidad del agua.



## Gemelos Digitales

Crean réplicas virtuales de sistemas de riego para simular escenarios.



## Algoritmos de Optimización

Mejoran la eficiencia del uso de agua y fertilizantes.



## Sistemas Autónomos

Drones y robots que aplican agua y nutrientes con precisión.



# Control de Contaminación: Sistema de Alerta Temprana para Prevenir Eutrofización

Los sistemas de alerta temprana basados en IA monitorean continuamente múltiples parámetros de calidad del agua y predicen posibles eventos de eutrofización con hasta 7-10 días de anticipación.

01	02	03
<b>Recolección de Datos</b>	<b>Procesamiento con IA</b>	<b>Predicción</b>
Sensores miden en tiempo real parámetros como pH, oxígeno disuelto, turbiedad, nitratos y fósforo.	Los algoritmos analizan patrones y correlaciones en los datos históricos y actuales.	Modelos predictivos identifican tendencias que podrían llevar a eutrofización.
04	05	
<b>Alertas</b>	<b>Recomendaciones</b>	
El sistema notifica a agricultores y autoridades cuando se detecta riesgo inminente.	Proporciona acciones específicas para prevenir el evento.	



## Ventajas sobre métodos tradicionales:

- Detecta problemas con días de antelación en lugar de reaccionar a eventos ya ocurridos
- Reduce hasta un 70% los costos asociados con la remediación de eutrofización
- Permite intervenciones precisas y localizadas en lugar de medidas generalizadas

# Algoritmos Utilizados



## ANN (Redes Neuronales Artificiales)

Las ANN son capaces de reconocer patrones complejos y no lineales en datos de calidad de agua, lo que las hace ideales para predecir contaminantes con alta precisión (>90%).

**Aplicación específica:** En la cuenca del Maumee (EE.UU.), las ANN han demostrado una precisión del 92% en la predicción de concentraciones de nitratos, utilizando datos de caudal, precipitación y uso de suelo.



## SVM (Máquinas de Vectores de Soporte)

Las SVM son efectivas para clasificar la calidad del agua en diferentes categorías según múltiples parámetros, incluso con conjuntos de datos limitados.

**Aplicación específica:** En estudios realizados en la cuenca de Cuyahoga, las SVM clasificaron correctamente el 89% de las muestras de agua según su riesgo de contaminación por fósforo.



## GPR (Regresión de Proceso Gaussiano)

El GPR proporciona no solo predicciones sino también intervalos de confianza, lo que es crucial para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

**Aplicación específica:** En la predicción de salinidad del suelo, el GPR ha mostrado un error cuadrático medio un 25% menor que otros métodos, proporcionando además estimaciones de incertidumbre.



# Detección de Fuentes de Contaminación mediante Análisis Caudal-Concentración

El análisis de la relación entre el caudal de agua y la concentración de contaminantes permite identificar fuentes puntuales y difusas de contaminación con gran precisión.

## Mecanismo de funcionamiento:

La IA analiza cómo varían las concentraciones de contaminantes en relación con el caudal:

### Fuentes Puntuales

En cuencas urbanas, la concentración de nitratos disminuye con el aumento del caudal (dilución).

### Fuentes Difusas

En áreas agrícolas, la concentración aumenta con el caudal (arrastre por escorrentía).

## Antes (Métodos Tradicionales)

- Muestreo manual irregular
- Análisis de laboratorio con días de demora
- Dificultad para identificar fuentes específicas
- Intervenciones generalizadas poco efectivas

## Ahora (Con IA)

- Monitoreo continuo en tiempo real
- Identificación precisa de fuentes de contaminación
- Alertas inmediatas cuando se detectan problemas
- Intervenciones dirigidas y efectivas

# Simulación de Escenarios Virtuales de Sistema de Riego



## Optimización de Riego

Los gemelos digitales simulan el movimiento del agua en el suelo para determinar el régimen de riego óptimo que minimice la lixiviación de nutrientes.

### Proceso detallado:

- El modelo digital incorpora datos del suelo (textura, estructura, contenido orgánico)
- Simula el movimiento del agua y nutrientes bajo diferentes patrones de riego
- Identifica el régimen que maximiza la disponibilidad de agua para las plantas
- Genera programas de riego personalizados para cada sector del campo

## Pruebas Virtuales de Estrategias de Mitigación

### Sistemas de Filtración

Simulación de la efectividad de diferentes sistemas de filtración y humedales artificiales para reducir contaminantes antes de que lleguen a cuerpos de agua.

**Ejemplo concreto:** En un proyecto en los Países Bajos, el gemelo digital de un humedal artificial mostró que una configuración específica de vegetación y flujo podría reducir la carga de nitratos en un 78%, lo que luego se confirmó en la implementación real con un 75% de efectividad.



## Modelado de Cuencas

Creación de modelos digitales completos de cuencas hidrográficas para predecir el movimiento de contaminantes desde las fuentes hasta los cuerpos de agua receptores.

### Proceso detallado:

- Integración de datos topográficos, de uso de suelo y prácticas agrícolas
- Simulación de procesos de escurrimiento, infiltración y transporte de contaminantes
- Identificación de "puntos calientes" de contaminación dentro de la cuenca
- Evaluación de la efectividad de diferentes prácticas de gestión

### Prácticas Agrícolas

Evaluación virtual de diferentes prácticas de cultivo (rotaciones, cultivos de cobertura, labranza) y su impacto en la calidad del agua.

**Ejemplo concreto:** Para una finca en California, las simulaciones mostraron que implementar cultivos de cobertura en invierno reduciría la lixiviación (se conoce también como extracción sólido-líquido= de nitratos en un 45%, mientras que cambiar a riego por goteo la reduciría en un 62%. La combinación de ambas prácticas mostró una reducción del 82%.



# Propuestas para Mejorar la IA Actual

Aunque los sistemas actuales de IA han demostrado ser valiosos, existen oportunidades significativas para mejorar su efectividad, accesibilidad y impacto. A continuación, presentamos propuestas concretas para abordar las limitaciones actuales.



## IA Híbrida Explicable

Desarrollar sistemas que combinen el poder predictivo de redes neuronales con la transparencia de modelos interpretables como árboles de decisión.



**Ventaja principal:** Los agricultores pueden entender las recomendaciones, aumentando la confianza y adopción de estas tecnologías.



## Aprendizaje Federado para Agricultura

Implementar arquitecturas de aprendizaje federado (Es incorporar una entidad a ella, ya sea mediante alianzas, ligas, fusiones o pactos entre diversas partes involucradas.) que permitan a múltiples agricultores mejorar modelos colectivamente sin compartir datos sensibles.



### **Ventaja principal:**

Protección de privacidad mientras se aprovechan datos diversos para mejorar los modelos.



## Interfaces de Lenguaje Natural

Desarrollar asistentes de IA que permitan a los agricultores interactuar con los sistemas en su lenguaje cotidiano, sin necesidad de alto nivel de conocimiento técnico.

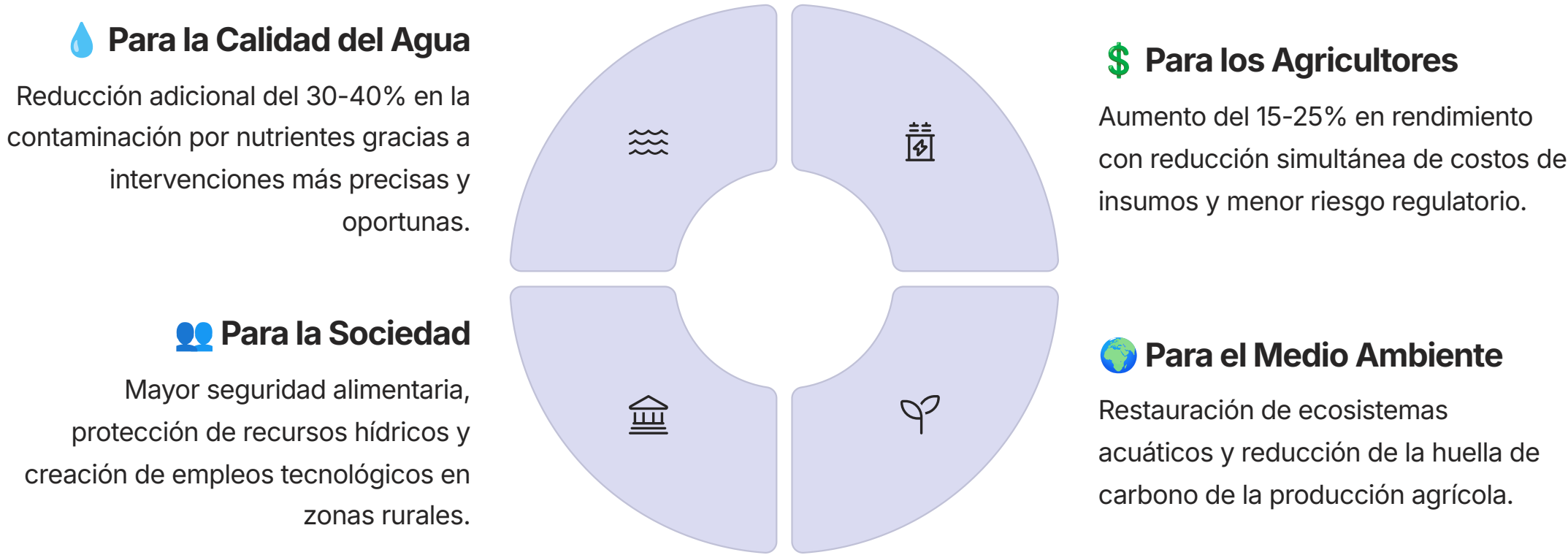


### **Ventaja principal:**

Reducción de barreras de entrada y aumento de la adopción por agricultores de todas las edades y niveles educativos.

# Beneficios Esperados de estas Mejoras

La implementación de estas propuestas generaría beneficios significativos para múltiples actores del ecosistema agrícola:



La integración de estas mejoras en IA representa un paso crucial hacia una agricultura más sostenible, eficiente y responsable con el medio ambiente, beneficiando a toda la sociedad.