

# AquaCentinela - Sistema de Diagnóstico Inteligente para la Infraestructura Hídrica de Culiacán

12.09.2025

---

Camacho Medina Johan Abel  
López Cabrera Carlos Daniel  
Tópicos de inteligencia artificial

## Contenido

Introducción .....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Reducción del Agua No Contabilizada (ANC) .....	3
Implementación de Mantenimiento Predictivo .....	4
Aseguramiento de la Calidad del Agua.....	4
Justificación.....	4
Justificación Operativa.....	4
Tabla 1: Diagnóstico Cuantitativo de la Infraestructura Hídrica de Culiacán .....	5
Justificación Económica .....	5
Justificación Social.....	6
Justificación Ambiental y de Sostenibilidad.....	6
Alcance .....	7
Alcance Geográfico .....	7
Alcance Técnico.....	8
Alcance Funcional .....	8
Funcionalidades Incluidas:.....	8
Funcionalidades descartadas: .....	9
Desarrollo .....	9
Arquitectura Tecnológica del Sistema .....	9
Módulos Funcionales de AquaCentinela .....	10
Módulo 1: Detección y Localización de Fugas (Módulo "Oído"): .....	10
Módulo 2: Mantenimiento Predictivo (Módulo "Oráculo"): .....	11
Módulo 3: Monitoreo de Calidad del Agua (Módulo "Vigía"):.....	11
Agenda .....	11
Fase 1: Piloto y Calibración (Meses 1-9):.....	11
Fase 2: Expansión Crítica (Meses 10-24):.....	11
Fase 3: Integración Total y Optimización (Meses 25-36):.....	12
Conclusiones .....	12

## Introducción

La mala gestión de los recursos hídricos urbanos presenta un problema grave para nuestra sociedad, El crecimiento demográfico acelerado, la expansión urbana descontrolada y los efectos cada vez más pronunciados del cambio climático han impuesto una presión sin precedentes sobre las infraestructuras hídricas. Este problema exige una transición de un modelo reactivo, basado en la reparación de fallas una vez que ocurren, hacia un modelo proactivo, predictivo y optimizado mediante el uso de las llamadas Smart Wáter Grid.

Tecnologías como el Internet de las Cosas (IOT) y la Inteligencia Artificial (IA) son clave para hacer esta transición mediante La implementación de redes de sensores avanzados, capaces de monitorear en tiempo real parámetros críticos como presión, flujo, calidad del agua y vibraciones acústicas, genera un volumen masivo de datos que antes era inaccesible. Sin embargo, la mera recolección de datos es insuficiente. El verdadero valor reside en la capacidad de la Inteligencia Artificial para analizar estos flujos de información, identificar patrones sutiles, detectar anomalías imperceptibles para el análisis humano y predecir fallas inminentes en la infraestructura.

Las fallas recurrentes evidencian una debilidad fundamental en el modelo de gestión actual. El sistema opera en un estado de crisis permanente, donde los equipos de reparación se ven abrumados por un volumen de trabajo que supera su capacidad de respuesta. La detección post-falla crea un retraso inevitable entre la aparición de una fuga y su reparación, durante el cual se pierden volúmenes masivos de agua tratada y se prolonga la interrupción del servicio.

Para solucionar este problema, se propone el desarrollo y posterior implementación del proyecto **AquaCentinela** un Sistema de Diagnóstico Inteligente de Infraestructura Hídrica. AquaCentinela no es simplemente usar nuevas tecnologías; sino un cambio de paradigma. El objetivo es transformar la gestión de la red de agua de Culiacán, pasando de un modelo reactivo de "romper y reparar" a una filosofía de gestión predictiva, optimizada y basada en datos permitiendo:

- Detectar y localizar fugas en tiempo real, reduciendo drásticamente el tiempo de respuesta y el volumen de agua perdida.
- Predecir fallas en tuberías y equipos de bombeo con antelación, permitiendo la programación de mantenimiento proactivo y evitando interrupciones no planificadas.
- Monitorear continuamente la calidad del agua en toda la red de distribución, garantizando el cumplimiento de las normas sanitarias y fortaleciendo la confianza pública.

El proyecto no pretende reemplazar la necesaria renovación a largo plazo de la infraestructura física, sino proporcionar una herramienta estratégica indispensable para gestionar la transición y garantizar la continuidad y sostenibilidad del servicio de agua potable para los ciudadanos de Culiacán.

## Objetivo general

Diseñar un sistema integral de diagnóstico y gestión predictiva basado en Inteligencia Artificial para optimizar la operatividad, reducir las pérdidas de agua no contabilizada, y mejorar la infraestructura hídrica de la ciudad de Culiacán, garantizando la calidad del servicio.

## Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general, el proyecto se centrará en tres metas específicas, medibles y con plazos definidos, que abordan los desafíos más críticos identificados en la red de JAPAC:

### Reducción del Agua No Contabilizada (ANC)

Implementar un sistema de detección y localización de fugas en tiempo real utilizando un enfoque híbrido de Inteligencia Artificial, combinando análisis acústico y monitoreo de presión/flujo. El objetivo es reducir el tiempo promedio de detección de fugas, desde el inicio del evento hasta su localización precisa por parte de los equipos de campo, de días a horas.

## Implementación de Mantenimiento Predictivo

Desarrollar y desplegar modelos de Machine Learning (ML) capaces de anticipar fallas estructurales en componentes críticos de la red, incluyendo segmentos de tuberías de alto riesgo y equipos electromecánicos. El sistema deberá ser capaz de generar alertas de falla potencial con horas de antelación. Esto permitirá a JAPAC pasar de un esquema de reparaciones de emergencia a uno de mantenimiento proactivo y planificado, con el objetivo de reducir las interrupciones no programadas del servicio.

## Aseguramiento de la Calidad del Agua

Establecer un sistema de monitoreo continuo y en tiempo real de parámetros clave de la calidad del agua, como el cloro residual, la turbidez y el pH, en puntos estratégicos de la red de distribución. El sistema alertara sobre cualquier desviación de los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Este objetivo busca fortalecer la capacidad de respuesta ante posibles eventos de contaminación y mejorar la confianza pública en la calidad del agua suministrada.

## Justificación

La implementación del proyecto AquaCentinela no es una mera modernización tecnológica, sino una intervención estratégica y necesaria, justificada por incentivos económicos, sociales y ambientales. La continuación del modelo de gestión actual es insostenible y conlleva costos crecientes que afectan la viabilidad de JAPAC y el bienestar de la población de Culiacán.

## Justificación Operativa

Actualmente el ciclo vicioso de fallas y reparaciones de emergencia que es logísticamente insostenible. De acuerdo con una nota publicada en *El Sol de Sinaloa* (Núñez, 2025) JAPAC registra un promedio de 180 fugas reportadas mensualmente, lo que equivale a seis incidentes diarios. Esta situación genera un desgaste constante de recursos humanos y materiales. Sectores con infraestructura particularmente antigua, como Capistrano y Barrancos, sufren de una incidencia de fallas aún mayor, lo que demuestra que el problema se agravará a medida que más partes de la red alcancen el final de su vida útil.

Tabla 1: Diagnóstico Cuantitativo de la Infraestructura Hídrica de Culiacán

Métrica	Dato Cuantitativo
Antigüedad Promedio de Tuberías en Sectores Críticos	50-70 años
Material Predominante en la Red Antigua	Asbesto-cemento
Promedio de Fugas Reportadas Mensualmente	180
Promedio de Fugas Diarias	6
Percepción Pública de la Calidad del Agua (Población insatisfecha)	73%
Consumo Diario per Cápita	279 litros


**Nota.** Elaboración propia con datos de *El Sol de Sinaloa* (Núñez, 2025) y JAPAC (s.f.).

Esta tabla consolida los indicadores clave que demuestran la severidad y la naturaleza multifacética de la crisis. La combinación de una infraestructura extremadamente antigua y frágil con una altísima frecuencia de fallas crea una situación operativa insostenible. Al mismo tiempo, el alto consumo per cápita agrava el impacto de cada fuga, y la percepción pública negativa sobre la calidad del agua indica una profunda crisis.

## Justificación Económica

Las constantes fallas representan una carga financiera significativa y creciente para JAPAC y, en última instancia, para los ciudadanos de Culiacán. El costo de la inacción se puede cuantificar en varias áreas clave:

- **Pérdida de Agua No Contabilizada (ANC):** Aunque no se dispone de cifras específicas para Culiacán, **Agforest (s.f.)** señala que estudios globales indican que las pérdidas en redes de abastecimiento obsoletas pueden alcanzar hasta el 30% del agua potable producida.
- **Costos Energéticos:** El bombeo de agua es uno de los mayores gastos operativos para cualquier organismo de agua. Bombear agua que luego se pierde en fugas es un desperdicio directo de energía.
- **Costos de Reparación de Emergencia:** Las reparaciones no planificadas, especialmente las de "mega fugas" que requieren movilización de emergencia de



personal y maquinaria pesada, son significativamente más costosas que las intervenciones de mantenimiento planificadas.

Experiencias en otras ciudades latinoamericanas validan el potencial del proyecto. Por ejemplo, **Rodríguez, Minatta y Basani (2024)** explican que la implementación de un sistema de inteligencia artificial por parte de SEDAPAL en Lima, Perú, resultó en un ahorro de 2.4 millones de metros cúbicos de agua en su primer año y proyectó un aumento en los ingresos de aproximadamente 4.5 millones de dólares anuales. De manera similar, **El Economista (2022)** informó que Agua y Drenaje de Monterrey ha utilizado la IA para recuperar 2,323 litros por segundo de fugas, lo que demuestra el impacto tangible de esta tecnología en México.

## Justificación Social

Las fallas constantes en la red de agua tienen un profundo impacto social. Las interrupciones frecuentes y prolongadas del servicio, que a veces superan las 24 horas, afectan la calidad de vida, la higiene y la actividad económica de los ciudadanos. Estos cortes de servicio no afectan a todos por igual; a menudo, las zonas con infraestructura más antigua y las comunidades más vulnerables son las que sufren las interrupciones más frecuentes y duraderas, creando una inequidad en el acceso a un servicio básico.

AquaCentinela aborda directamente estos problemas sociales. Al reducir las fallas no planificadas, el sistema proporcionará un servicio más confiable y equitativo para todos los ciudadanos.

## Justificación Ambiental y de Sostenibilidad

**Mapasin (2025)** señala que Culiacán y Sinaloa están inmersos en una crisis hídrica histórica, caracterizada por una sequía prolongada y niveles críticamente bajos en las presas. En este contexto de escasez severa, la pérdida masiva de agua potable tratada a través de fugas en la red de distribución es ambientalmente insostenible y éticamente indefendible. Cada metro cúbico de agua que se pierde en el subsuelo es un recurso valioso que no llega a los hogares, las escuelas, los hospitales o la industria.

Al minimizar las pérdidas físicas de agua, el sistema contribuye directamente a la conservación de un recurso cada vez más escaso. El proyecto se alinea perfectamente con

los objetivos nacionales de garantizar el derecho humano al agua, como los promovidos en el Plan Hídrico Nacional y con los principios de manejo integral y sostenible de cuencas.

## Alcance

AquaCentinela se define con un alcance claro en términos geográficos, técnicos y funcionales. Este enfoque por fases permite validar la tecnología, optimizar los procesos y gestionar la inversión de manera eficiente.

### Alcance Geográfico

La implementación del sistema se llevará a cabo en tres fases progresivas, comenzando con áreas de alto impacto para demostrar la viabilidad y el valor del proyecto antes de una expansión a toda la ciudad:

- **Fase 1 (Piloto):** La fase inicial se centrará en el despliegue y la calibración del sistema en 2 Áreas de alta prioridad. La selección se basará en un análisis de datos históricos de JAPAC para identificar las zonas con la mayor frecuencia de roturas, la mayor antigüedad de la infraestructura y el mayor potencial de recuperación de agua. Con base en la información disponible, los sectores de Capistrano, Barrancos, Chapultepec y el Centro son candidatos principales para esta fase, ya que han sido identificados como áreas con tuberías de más de 50 años y una alta incidencia de fallas. Esta fase servirá como un laboratorio para ajustar los algoritmos de IA a las condiciones específicas de la red de Culiacán.
- **Fase 2 (Expansión):** Una vez validado el éxito de la fase piloto, el proyecto se expandirá a 10 áreas de alta prioridad. Con el objetivo de maximizar el impacto operativo y económico del sistema en el menor tiempo posible.
- **Fase 3 (Integración Total):** La fase final consistirá en el despliegue del sistema en toda la red de distribución de agua potable de Culiacán. En esta etapa, AquaCentinela se integrará plenamente con todos los sistemas operativos principales de JAPAC, convirtiéndose en la plataforma central para la toma de decisiones en la gestión de la red.



## Alcance Técnico

El sistema AquaCentinela se compondrá de una arquitectura tecnológica de cuatro capas interconectadas, que abarcan desde la captura de datos en el campo hasta la visualización de la información para los operadores:

- **Capa de Sensores (IOT):** Despliegue de una red de dispositivos de campo inteligentes, incluyendo sensores acústicos para la detección de ruido de fugas, transductores de presión de alta frecuencia para el análisis de transitorios hidráulicos, medidores de flujo electromagnéticos para el balance hídrico en las DMAs, y sondas multiparamétricas para el monitoreo de la calidad del agua (cloro, turbidez, pH).
- **Capa de Comunicación:** Implementación de una red de comunicación robusta y de bajo consumo para la transmisión segura y en tiempo real de los datos desde los sensores hasta la plataforma central. Se evaluarán tecnologías como LoRaWAN o IoT celular (NB-IoT/LTE-M) para garantizar la conectividad incluso en ubicaciones remotas o subterráneas.
- **Capa de Plataforma de Datos:** Desarrollo de una plataforma de Big Data, ya sea en la nube o en las instalaciones de JAPAC, diseñada para la ingesta, el almacenamiento, el procesamiento y la gestión de grandes volúmenes de datos de series temporales generados por la red de sensores.
- **Capa de Analítica e IA:** El corazón del sistema, donde residirán los módulos de software que ejecutan los algoritmos de Machine Learning para la detección de anomalías, el mantenimiento predictivo, el análisis de la calidad del agua y la optimización de la red.

## Alcance Funcional

El alcance funcional del proyecto define claramente las capacidades que se entregarán en las fases iniciales y aquellas que se considerarán para futuras expansiones.

Funcionalidades Incluidas:

- Detección y localización precisa de fugas y roturas en la red de distribución.
- Predicción de fallas en segmentos de tuberías y en equipos de bombeo críticos.
- Monitoreo en tiempo real de los parámetros de calidad del agua (cloro residual, turbidez, pH).

- Un panel de control (dashboard) centralizado basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la visualización de datos, la gestión de alertas y el apoyo a la toma de decisiones para el centro de control de JAPAC.

#### Funcionalidades descartadas:

- Integración con la gestión comercial: El sistema no se conectará con los sistemas de facturación de usuarios para detectar fraudes o anomalías en el consumo (aunque esta es una capacidad potencial de la IA).
- Gestión de la red de alcantarillado: El alcance se limita a la red de distribución de agua potable. La monitorización y gestión de la red de drenaje y alcantarillado se considera una posible expansión futura.
- Gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales: La optimización de los procesos en las plantas de tratamiento, aunque es una aplicación viable de la IA, está fuera del alcance de este proyecto inicial.

Este alcance definido garantiza que el proyecto se centre en resolver los problemas más urgentes de la red de agua potable de Culiacán.

## Desarrollo

El desarrollo de AquaCentinela se concibe como un sistema integrado y modular, diseñado para abordar los desafíos específicos de la infraestructura hídrica de Culiacán. A continuación, se detalla la arquitectura tecnológica, los módulos funcionales y la hoja de ruta para su implementación.

### Arquitectura Tecnológica del Sistema

La arquitectura se estructura en cuatro capas lógicas:

- **Red de Sensores Inteligentes (IoT):** Instalación estratégica de sensores acústicos (hidrófonos), transductores de presión de alta frecuencia, medidores de flujo electromagnéticos y sondas multiparamétricas de calidad del agua.
- **Plataforma de Ingesta y Procesamiento de Datos:** Utilizará tecnologías de comunicación como LoRaWAN y NB-IoT para transmitir datos.
- **Núcleo de Inteligencia Artificial:** Albergará modelos de Machine Learning (ML) como redes neuronales convolucionales, Isolation Forest y Support Vector Machines para analizar los datos y generar predicciones.

- **Interfaz de Usuario y Sistema de Alertas:** Un panel de control basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) visualizará datos en tiempo real y generará alertas automáticas ante cualquier anomalía detectada.

## Módulos Funcionales de AquaCentinela

El sistema se estructura en tres módulos principales:

### Módulo 1: Detección y Localización de Fugas:

Utilizará un enfoque híbrido. Por un lado, el Análisis Acústico con Redes Neuronales Convolucionales (CNN) "escuchará" la firma acústica de las fugas, una técnica de alta precisión. Por otro lado, el Análisis de Presión y Flujo con Modelos de Detección de Anomalías como Isolation Forest aprenderá el comportamiento "normal" de la red para detectar desviaciones que indiquen una fuga. Esta combinación permite detectar la ocurrencia de una fuga a nivel de sector y luego localizarla con precisión.

Tabla 2: Comparativa de Tecnologías de Detección de Fugas Basadas en IA

Tecnología	Pros	Contras
Análisis Acústico (CNN)	Alta precisión en la localización, efectivo en tuberías de plástico y metal.	Mayor costo por sensor puede ser afectado por ruido ambiental extremo.
Análisis Presión/Flujo (Isolation Forest, etc.)	Menor costo de sensores, excelente para detectar la ocurrencia de una fuga en un sector amplio (DMA).	Menor precisión en la localización exacta del punto de fuga.
GeoAI (Análisis Satelital)	Cobertura muy amplia, no invasivo, útil para grandes extensiones.	Retraso en la detección (días/semanas), menos efectivo para fugas pequeñas o subterráneas profundas.

### Propuesta AquaCentinela: Híbrido (Acústico + Presión/Flujo)

Proponemos una combinación de la detección a nivel de sector (Presión/Flujo) con la localización precisa (Acústico), creando un sistema de alerta y confirmación. Maximiza la precisión y la eficiencia operativa sin embargo esto conlleva Mayor complejidad en la integración de datos y modelos.

## Módulo 2: Mantenimiento Predictivo:

Se desarrollarán dos tipos de modelos. Uno para la predicción de rotura de tuberías, que calculará una "Puntuación de Probabilidad de Falla" para cada segmento de tubería utilizando algoritmos como Support Vector Machines (SVM) o Random Forest.

El segundo modelo se enfocará en la predicción de fallas en equipos de bombeo, utilizando sensores de vibración y temperatura analizados por Redes Neuronales Recurrentes (LSTM) para detectar precursores de fallas mecánicas.

## Módulo 3: Monitoreo de Calidad del Agua:

Desplegará sondas multiparamétricas para monitorear la calidad del agua 24/7. Un modelo de IA detectará anomalías, como una caída repentina del cloro residual, que podría indicar una intrusión de agua no tratada.

## Agenda

La implementación de AquaCentinela se llevará a cabo a través de un plan estructurado en tres fases para minimizar el riesgo y escalar el sistema de manera eficiente.

### Fase 1: prueba y Calibración (Meses 1-9):

- **Actividades Clave:** Selección y despliegue de sensores en dos áreas piloto de alto riesgo. Puesta en marcha de la plataforma de datos y entrenamiento inicial de los modelos de IA con datos específicos de Culiacán.
- **Entregable Principal:** Informe de Validación, detallando el rendimiento de los modelos, la precisión en la detección de fugas y un análisis costo-beneficio.

### Fase 2: Expansión Crítica (Meses 10-24):

- **Actividades Clave:** Despliegue de sensores en las 10 áreas más problemáticas. Refinamiento de los modelos de IA e integración del sistema de alertas con el sistema de gestión de órdenes de trabajo de JAPAC.

- **Entregable Principal:** Sistema operando en zonas críticas e Informe de Desempeño cuantificando la reducción de fugas y roturas no planificadas.

### Fase 3: Integración Total y Optimización (Meses 25-36):

- **Actividades Clave:** Expansión de la red de sensores a toda la ciudad. Implementación del módulo de optimización de presión y energía. Lanzamiento del dashboard público de calidad del agua.
- **Entregable Principal:** Sistema plenamente operativo en toda la red de JAPAC e Informe Final de Impacto detallando los ahorros económicos y energéticos.

Fase	Duración	Actividades Clave	KPIs de Éxito
<b>Fase 1: Piloto</b>	9 meses	Despliegue de sensores en 2 DMAs, calibración de modelos de IA.	Precisión de detección de fugas > 90%; Reducción del tiempo de localización de fugas en un 80%; Emisión de al menos 5 alertas predictivas de falla validadas por inspección.
<b>Fase 2: Expansión</b>	15 meses	Despliegue en 10 DMAs críticas, integración con sistema de órdenes de trabajo.	Reducción del Agua No Contabilizada (ANC) en las zonas cubiertas en un 15%; Disminución de roturas no planificadas en un 25% en las zonas cubiertas.
<b>Fase 3: Integración Total</b>	12 meses	Cobertura total de la ciudad, implementación de optimización de presión.	Reducción del ANC a nivel de toda la ciudad en un 25%; Ahorro energético global en bombeo del 15%; Dashboard público de calidad del agua plenamente operativo y con alta disponibilidad.

## Conclusiones

Una implementación de un sistema como el que se detalla en esta investigación representaría un gran cambio para la ciudad de Culiacán sufre por su infraestructura antiquada alta frecuencia de fallas y un modelo operativo para solucionar problemas deficientes y eventualmente insostenibles.

Mediante la detección temprana de fugas, la predicción de fallas críticas y el monitoreo continuo de la calidad del agua, no solo se optimizará la eficiencia de la red hídrica, sino que también mejorará el servicio para los ciudadanos, abordando la equidad en el suministro y ayudando a reconstruir la confianza pública en su gobierno.

El plan de implementación por fases, con objetivos claros y medibles, asegura el impacto del proyecto. En un contexto de creciente escasez de agua y cambio climático, AquaCentinela no es solo una modernización tecnológica, sino una inversión indispensable para garantizar la seguridad hídrica, la resiliencia y la sostenibilidad a largo plazo de Culiacán.

## Referencias

Adasa Systems. (s.f.). *La IA llega a la detección de fugas de agua indetectables en El Prat*.

Adasa. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de

<https://www.adasasystems.com/es/noticias-reader/la-ia-llega-a-la-deteccion-de-fugas-de-agua-indetectables-en-el-prat.html>

Agforest. (s.f.). *Detección de fugas de agua y fraude en el consumo*. Agforest.ai. Recuperado el

11 de septiembre de 2025, de <https://agforest.ai/fuga-de-agua/>

Agua.org.mx. (s.f.). *Sinaloa: Falla en planta potabilizadora de JAPAC afecta abasto de agua en el suroriente de Culiacán*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de

<https://agua.org.mx/sinaloa-falla-en-planta-potabilizadora-de-japac-afecta-abasto-de-agua-en-el-suroriente-de-culiacan-revista-espejo/>

Al-Khafaji, Z. S., et al. (2021). *A Method for Pipeline Leak Detection Based on Acoustic Imaging and Deep Learning*. ResearchGate. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/358667833\\_A\\_Method\\_for\\_Pipeline\\_Leak\\_Detection\\_Based\\_on\\_Acoustic\\_Imaging\\_and\\_Deep\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/358667833_A_Method_for_Pipeline_Leak_Detection_Based_on_Acoustic_Imaging_and_Deep_Learning)

Al-Sarem, M., et al. (2024). *A Systematic Review on the Application of AI, DL, and IoT in Water Resource Management*. Preprints.org.

<https://www.mdpi.com/2673-4591/97/1/52>

Allen, S., & Srirangarajan, S. (s.f.). *Case study: A smart water grid in Singapore*. ResearchGate.

Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de

[https://www.researchgate.net/publication/243971905\\_Case\\_study\\_A\\_smart\\_water\\_grid\\_in\\_Singapore](https://www.researchgate.net/publication/243971905_Case_study_A_smart_water_grid_in_Singapore)

Apaza, J. C. C. (s.f.). *Mantenimiento predictivo usando algoritmos de Machine Learning aplicado a bombas de agua*. Repositorio Institucional - UNAP. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23859>

Borges, L. M., & V. L. (2008). *Acoustic Water Leak Detection System*. ResearchGate. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Liselene-Borges/publication/335134233\\_Acoustic\\_Water\\_Leak\\_Detection\\_System/links/5dd6bc48299bf10c5a26b0ff/Acoustic-Water-Leak-Detection-System.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Liselene-Borges/publication/335134233_Acoustic_Water_Leak_Detection_System/links/5dd6bc48299bf10c5a26b0ff/Acoustic-Water-Leak-Detection-System.pdf)

Boss Tech. (s.f.). *Aplicaciones de la IA en el tratamiento de aguas*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://bosstech.pe/blog/aplicaciones-ia-monitoreo-calidad-agua/>

Brito, D. (2025, 18 de agosto). Sin tecnología ni infraestructura: así es el plan hídrico de Sinaloa. *El Sol de Sinaloa*. <https://oem.com.mx/elsoldesinaloa/local/sin-tecnologia-ni-infraestructura-asi-es-el-plan-hidrico-de-sinaloa-25233514>

Conselva. (s.f.). *Producir agua para Sinaloa es posible con un Plan Hídrico Estatal*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://conselva.org/producir-agua-para-sinaloa-es-posible-con-un-plan-hidrico-estatal/>

Crónica. (2024, 3 de diciembre). 'Internet of Water', innovación del Tec de Monterrey para cuidar el agua. <https://www.cronica.com.mx/academia/2024/12/03/internet-of-water-innovacion-del-tec-de-monterrey-para-cuidar-el-agua/>

Crojetovich, A. (Entrevistado). (s.f.). *Monitoreo de ríos y arroyos con inteligencia artificial* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6m9QxM5bbOQ>

Data Alliance. (s.f.). *IoT en el monitoreo del agua: Aplicaciones y tecnologías inalámbricas utilizadas*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://www.data-alliance.net/es/iot-en-el-monitoreo-del-agua-aplicaciones-y-tecnolog%C3%ADas-inal%C3%A1mblicas-utilizadas>

El Debate. (Productor). (s.f.). *Concluye la reparación de la Mega fuga de agua potable en Culiacán* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=AwaFdMdUKaE>

El Economista. (2022, 20 de julio). *En Agua y Drenaje de Monterrey utilizarán inteligencia artificial para modular la presión de la red*. <https://www.eleconomista.com.mx/estados/En-Agua-y-Drenaje-de-Monterrey-utilizaran-inteligencia-artificial-para-modular-la-presion-de-la-red-20220720-0072.html>

El Sol de Sinaloa. (s.f.). *Sinaloenses opinan que el agua potable es de mala calidad: INEGI*. OEM. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de

<https://oem.com.mx/elsoldesinaloa/local/sinaloenses-opinan-que-el-agua-potable-es-de-mala-calidad-inegi-13286063>

Gong, W., et al. (2022). Proactive Management of Pipe Breaks Using a Permanently Installed Smart Water Network and a Support Vector Machine Model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001570](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001570)

Griesi, D. (2020). *Anomaly Detection in Smart Water Grids*. Recuperado de <http://ichatz.me/thesis/msc-datascience/2020-griesi.pdf>

Grijalva-Verdugo, C., et al. (2024). Calidad bacteriológica del agua embotellada en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, durante el periodo 1996 – 2008. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(4).

<https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/2573>

Gupta, A. (2021, julio). *Anomaly Detection using Isolation Forest- A Complete Guide*. Analytics Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/07/anomaly-detection-using-isolation-forest-a-complete-guide/>

Heraldo de México. (2025, 3 de septiembre). ¿Qué pasó con el servicio de agua en Sinaloa? Esto dijo la JAPAC Culiacán. <https://heraldodemexico.com.mx/nacional/2025/9/3/que-paso-con-el-servicio-de-agua-en-sinaloa-esto-dijo-la-japac-culiacan-727307.html>

Huet, A., Navarro, J. M., & Rossi, D. (2022). *Local Evaluation of Time Series Anomaly Detection Algorithms*. KDD '22: Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Recuperado de <https://nonsns.github.io/paper/rossi22kdd.pdf>

Idrica. (2025, 21 de marzo). *Cinco aplicaciones claves de la IA para transformar la gestión del agua en 2025*. <https://www.idrica.com/es/blog/ia-para-transformar-la-gestion-del-agua/>

JAPAC. (s.f.). *Guardianes del Agua*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://japac.gob.mx/cultura-del-agua/guardianes-del-agua/>

JAPAC. (s.f.). *Política de Calidad*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://japac.gob.mx/politica-de-calidad/>

Li, Z., et al. (2023). MCN-LSTM: A Novel Approach for Real-Time Anomaly Detection in Water Quality Monitoring. *Sensors*, 23(20), 8613. <https://doi.org/10.3390/s23208613>

Li, Z., et al. (s.f.). *Explainable CNN-Based Water Leak Identification Model with Grad-CAM*. ASCE Library. <https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-6119>



Mapasin. (2025, 15 de marzo). *Sequía en Sinaloa: ¿Por qué Culiacán vive su peor crisis de agua en 50 años?* <https://mapasin.org/blog/sequia-en-Sinaloa-por-que-Culiacan-vive-su-peor-crisis-de-agua-en-50-anos>

Martyusheva, O. (s.f.). *A Smart Water Grid (SWG)*. Colorado State University. Recuperado de [https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce\\_old/Projects/Rising%20Stars%20Website/Martyusheva,Olga\\_PlanB\\_TechnicalReport.pdf](https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/Rising%20Stars%20Website/Martyusheva,Olga_PlanB_TechnicalReport.pdf)

Metaversos Agency. (s.f.). *Sensores y análisis de IA: Transformando el monitoreo de la calidad del agua*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://metaversos.agency/blog/sensores-y-analisis-de-ia-transformando-el-monitoreo-de-la-calidad-del-agua/>

Microsoft News. (2024, 19 de septiembre). *Herramienta de IA utiliza el sonido para localizar tuberías con fugas, ahorrando la preciosa agua potable*. <https://news.microsoft.com/source/latam/features/sostenibilidad/herramienta-de-ia-utiliza-el-sonido-para-localizar-tuberias-con-fugas-ahorrando-la-preciosa-agua-potable/>

Milenio Digital. (s.f.). Culiacán se une al Plan Hídrico con plantas potabilizadoras. *Milenio*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://www.milenio.com/politica/gobierno/culiacan-une-plan-hidrico-plantas-potabilizadoras>

Nam, Y. W., Arai, Y., Kunizane, T., & Koizumi, A. (2021). Water leak detection based on convolutional neural network (CNN) using actual leak sounds and the hold-out method. *Water Supply*, 21(4), 1-1. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.109>

Núñez, M. (2025, 24 de febrero). Tuberías de más de medio siglo padecen de fugas y drenaje en Culiacán. *El Sol de Sinaloa*. <https://oem.com.mx/elsoldesinaloa/local/tuberias-de-ma-s-de-medio-siglo-padecen-de-fugas-y-drenaje-en-culiacan-n-21780841>

Otáñez, P. (2025, 11 de julio). Brotan aguas negras en diversas zonas de Culiacán; ahora en el malecón nuevo. *Noroeste*. <https://www.noroeste.com.mx/culiacan/brotan-aguas-negras-en-diversas-zonas-de-culiacan-ahora-en-el-malecon-nuevo-MD14425867>

Panov, M., et al. (2021). *Isolation Forest Based Anomaly Detection: A Systematic Literature Review*. ResearchGate. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/356770404\\_Isolation\\_Forest\\_Based\\_Anomaly\\_Detection\\_A\\_Systematic\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/356770404_Isolation_Forest_Based_Anomaly_Detection_A_Systematic_Literature_Review)

Ramos Dorado, J. J., Corrales Bonilla, J. I., & Pazuña Naranjo, W. P. (2024). Mantenimiento Predictivo en Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) utilizando Machine Learning. *Dominio De Las Ciencias*, 10(3), 656–670. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i3.3946>

Rodriguez, I., Minatta, A., & Basani, M. (2024, 8 de mayo). *Inteligencia Artificial para detectar pérdidas en tuberías de agua*. Inter-American Development Bank Blogs. <https://blogs.iadb.org/agua/es/inteligencia-artificial-para-detectar-perdidas-en-tuberias-de-agua/>

Wang, Z., et al. (2020). *Hydrological Time Series Anomaly Pattern Detection based on Isolation Forest*. ResearchGate. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/344745180\\_Hydrological\\_Time\\_Series\\_Anomaly\\_Pattern\\_Detection\\_based\\_on\\_Isolation\\_Forest](https://www.researchgate.net/publication/344745180_Hydrological_Time_Series_Anomaly_Pattern_Detection_based_on_Isolation_Forest)

White & Case. (s.f.). *AI in water management: Balancing innovation and consumption*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://www.whitecase.com/insight-our-thinking/ai-water-management-balancing-innovation-and-consumption>

World Economic Forum. (2022, mayo). *Cómo el Machine Learning puede ayudar a resolver la crisis del agua*. <https://es.weforum.org/stories/2022/05/machine-learning-agua/>

Zhang, C., et al. (2024). Research on Leakage Detection Technology of Water Supply Pipelines Based on an Improved Convolutional Neural Network. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(10), 1720. <https://doi.org/10.3390/jmse12101720>