

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE BAJO COSTO PARA LA
CALIDAD DEL AGUA BASADO EN IA & IOT, CASO DE ESTUDIO VEREDA PATUGO.

MAIRA ALEJANDRA GUZMÁN

ALEX TAQUEZ JALVIN

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA UNICOMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS INTELIGENTES APLICADO AL INTERNET DE
LAS COSAS
2025

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE BAJO COSTO PARA LA
CALIDAD DEL AGUA BASADO EN IA & IOT, CASO DE ESTUDIO VEREDA PATUGO.

MAIRA ALEJANDRA GUZMÁN

ALEX TAQUEZ JALVIN

TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN SISTEMAS INTELIGENTES
APLICADO A INTERNET DE LAS COSAS

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA UNICOMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS INTELIGENTES APLICADO AL INTERNET DE
LAS COSAS
POPAYÁN
2025

Índice

1	Resumen	4
2	Palabras clave	4
3	Problema	4
3.1	Pregunta de investigación	6
4	Justificación	6
5	Objetivos.....	7
5.1	Objetivo General.....	7
5.2	Objetivos específicos.....	7
6	Marco de teórico	7
6.1	Marco conceptual	7
6.2	Marco Referencial	8
7	Metodología	11
7.1	Fase 1: Análisis del entorno y definición de requisitos	11
7.2	Fase 2: Selección de tecnologías IoT adecuadas.....	11
7.3	Fase 3: Diseño de la arquitectura del sistema	12
7.4	Fase 4: Desarrollo de prototipo a escala.....	13
8	Resultados esperados	13
9	Bibliografía.....	14

1 Resumen

El proyecto tiene como propósito diseñar un prototipo funcional de monitoreo continuo y de bajo costo para la calidad del agua en la vereda Patugó, municipio de Puracé, integrando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA). Dada la problemática de acceso a agua potable en zonas rurales y la falta de sistemas de vigilancia hídrica, se busca desarrollar una solución que permita la detección temprana de contaminantes mediante sensores y conectividad adaptada a entornos con infraestructura limitada. El prototipo estará orientado a medir parámetros críticos como pH, turbidez y conductividad eléctrica, y será capaz de operar de forma autónoma, enviando alertas en tiempo real. Este sistema no solo contribuirá a mejorar la salud pública y el bienestar de las comunidades rurales, sino que también promoverá la gestión sostenible del recurso hídrico, la participación comunitaria y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con el agua limpia y el saneamiento.

2 Palabras clave

Sistema de monitoreo; calidad de agua; internet de las cosas; inteligencia artificial,

3 Problema

En 2022, aproximadamente el 90% de la población mundial tenía acceso a servicios básicos de agua potable, alrededor de 2.200 millones de personas aún carecen de acceso a servicios gestionados de forma segura, lo que representa un grave problema de salud pública[1]. Para alcanzar la meta de acceso universal al agua potable en 2030, es necesario multiplicar por seis los avances actuales, mediante inversiones en infraestructura, protección de ecosistemas y educación en higiene[2]. La contaminación de fuentes y la falta de control de calidad del suministro siguen siendo retos críticos, ya que muchas personas aún obtienen agua de fuentes contaminadas[3].

Estudios recientes han explorado el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube para mejorar el monitoreo del agua potable[4]. Estos sistemas permiten un control proactivo y en tiempo real de la calidad y el consumo del agua. El monitoreo periódico también ayuda a identificar factores de riesgo ambientales y de salud, como la contaminación por coliformes y la vulnerabilidad de las fuentes de agua[5]. A pesar de estos avances, el acceso al agua potable sigue siendo un desafío

global, el acceso al agua potable limpia sigue siendo un desafío para las comunidades remotas e indígenas de todo el mundo, lo que afecta a la salud pública. Los esfuerzos de colaboración y la mejora de la infraestructura son cruciales para garantizar un acceso equitativo y mejores resultados de salud[6][7].

La investigación sobre el monitoreo del agua potable en Colombia revela importantes desafíos, particularmente en las áreas rurales donde el acceso al agua potable es limitado. Varios estudios destacan la necesidad crítica de mejorar los sistemas de monitoreo y tratamiento para mitigar los riesgos para la salud asociados con las fuentes de agua contaminadas. En la zona rural de Cundinamarca, un estudio reveló que el 34% de las muestras de agua no eran aptas para la higiene, lo que implicaba un alto riesgo de problemas de salud debido a un control inadecuado[8]. Por otro lado los estudios realizados por el ministerio de ambiente en zonas rurales de Colombia revelaron que las aguas subterráneas a menudo superan los límites reglamentarios de fósforo, nitratos, coliformes termotolerantes y pH, lo que las hace inadecuadas para el consumo humano sin tratamiento[9][10]. Estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer la gobernanza, mejorar la gestión de los recursos y regular el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas para abordar los desafíos del agua potable en Colombia, especialmente en las zonas rurales.

En este contexto, el municipio de Puracé (Cauca) destaca por su economía agrícola y su riqueza en yacimientos de agua subterránea, lo que lo convierte en una zona de alto potencial hídrico [11]. Según datos del DANE, en 2018 el municipio de Puracé contaba con una población aproximada de 17.300 habitantes, de los cuales el 59% pertenece a comunidades indígenas. Además, el 90% de la población reside en zonas rurales [12] donde la infraestructura para el saneamiento del agua es limitada. Pese a los proyectos implementados por el gobierno nacional y departamental sobre acueducto rural y capacitaciones sobre el uso del agua [13][14], no existen estrategias para detectar y reaccionar a contaminantes en el agua de manera oportuna. Se le suma a la problemática la presencia de la cadena volcánica denominada los Coconucos, estudios demuestran que la actividad volcánica provoca una contaminación natural del agua subterránea[15][16]. A medida que el magma se entromete en el subsuelo, puede alterar la permeabilidad de los acuíferos e introducir elementos disueltos en los sistemas de agua subterránea. Este proceso puede afectar no solo la calidad sino también la cantidad de agua subterránea disponible.

La presente propuesta se enfoca específicamente en la vereda Patugó, una de las zonas rurales del municipio de Puracé que concentra una población aproximada de 500 habitantes. Esta vereda, al igual que muchas otras en la región, depende principalmente

de fuentes de agua subterránea para su consumo diario. Debido a su ubicación geográfica y condiciones de acceso, Patugó enfrenta limitaciones significativas en el monitoreo y tratamiento del agua[11]. Por tanto, se convierte en una población prioritaria para la implementación de un sistema de monitoreo continuo, que permita garantizar un suministro de agua segura y prevenir riesgos asociados a la contaminación hídrica, lo anterior nos lleva a la siguiente pregunta de investigación.

3.1 Pregunta de investigación

¿Cómo pueden las tecnologías emergentes como el IoT y la Inteligencia Artificial contribuir al diseño de un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua en la zona rural de Patugo municipio de Puracé, permitiendo la detección temprana de contaminantes y asegurando un suministro seguro para sus habitantes?

4 Justificación

La implementación de un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua en la vereda de Patugó, zona rural del municipio de Puracé, basado en tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT), tiene un impacto significativo en múltiples dimensiones. Este sistema permitirá detectar de manera temprana la presencia de contaminantes en el agua, reduciendo el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y mejorando las condiciones de salud y bienestar de esta comunidad. Además, promoverá la equidad en el acceso a agua potable de calidad, empoderando a la comunidad para tomar decisiones informadas sobre el consumo y manejo del recurso hídrico, y fomentará la participación comunitaria en la gestión del agua. Ambientalmente, permitirá una gestión más eficaz de los recursos hídricos, protegiendo los ecosistemas acuáticos y promoviendo prácticas sostenibles. Científicamente, avanzará en el campo del monitoreo de agua y el uso de tecnologías emergentes en contextos rurales, ofreciendo datos valiosos para futuros estudios. Tecnológicamente, impulsará la innovación al aplicar soluciones avanzadas en áreas con infraestructura limitada. Económicamente, ayudará a justificar futuras inversiones al reducir los costos asociados a la atención médica y tratamiento del agua, además de potenciar el desarrollo económico local al mejorar las condiciones para actividades económicas dependientes del agua. En síntesis, este proyecto no solo impulsa el avance tecnológico y científico, sino que también promueve el desarrollo sostenible en la región. Su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es significativa, en especial al ODS 6, orientado a garantizar el acceso universal y equitativo al agua limpia y al saneamiento. Esto se logra

mediante la implementación de un sistema de monitoreo continuo que asegura la calidad del agua y previene su contaminación. Asimismo, se alinea con el ODS 3, centrado en garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos, al reducir los riesgos sanitarios asociados al consumo de agua no segura y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales.

5 Objetivos

5.1 Objetivo General.

Diseñar un prototipo funcional de monitoreo continuo de la calidad del agua para la vereda de Patugo, basado en tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT), que permita la detección temprana de contaminantes.

5.2 Objetivos específicos.

Definir las tecnologías IoT adecuadas (sensores, dispositivos de comunicación y protocolos de red) para el monitoreo continuo de la calidad del agua en la vereda de Patugó zona rural de Puracé.

Definir la arquitectura del sistema de monitoreo basado en IA e IoT, estableciendo cómo se integrarán los sensores, la infraestructura de red, y las plataformas de análisis de datos.

Validar la viabilidad técnica y funcional de la solución.

6 Marco de teórico

6.1 Marco conceptual

Internet de las Cosas (IoT): Es una tecnología que permite la interconexión de dispositivos físicos como sensores, microcontroladores y módulos de comunicación, para recopilar, transmitir y procesar datos en tiempo real. En el contexto de este proyecto, el IoT se implementará para monitorear parámetros clave de calidad del agua, como pH, turbidez, temperatura y conductividad eléctrica, en ambientes rurales con conectividad limitada. Esta infraestructura permitirá la vigilancia remota y continua de las fuentes de agua subterránea utilizadas por la comunidad.

Sensores de bajo consumo son los dispositivos diseñados para operar con poca energía, lo cual los hace ideales para regiones rurales sin acceso estable a la red eléctrica. Estos sensores permiten medir variables clave de la calidad del agua, garantizando autonomía y eficiencia energética[17].

Inteligencia Artificial (IA): La IA se refiere a la capacidad de los sistemas computacionales para analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y tomar decisiones de manera autónoma[18]. En este proyecto, la IA será aplicada para interpretar los datos recolectados por los sensores y determinar, a través de modelos de clasificación, si el agua es apta para el consumo humano. Esto permitirá una respuesta rápida ante la presencia de contaminantes, optimizando la gestión del recurso hídrico.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Son metas globales establecidas por la ONU para lograr un futuro mejor y más sostenible[2]. Este proyecto se alinea principalmente con el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), al desarrollar un sistema que asegura el acceso a agua de calidad; y con el ODS 3 (salud y bienestar), al contribuir a la prevención de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada.

Agua subterránea: Corresponde al agua que se encuentra almacenada en acuíferos, formaciones geológicas subterráneas que suministran el recurso hídrico a muchas comunidades rurales. En Puracé, esta es la principal fuente de agua para el consumo humano. El proyecto se enfoca en la vigilancia de estas fuentes, cuya calidad puede verse afectada tanto por actividades humanas como por procesos geológicos naturales, como la actividad volcánica presente en la región.

6.2 Marco Referencial

Investigaciones recientes destacan la integración de las tecnologías IoT e IA en el monitoreo y control de la calidad del agua. Los dispositivos IoT, como los sensores ambientales, capturan datos en tiempo real para su visualización e interpretación [18]. Las técnicas de IA, han demostrado ser efectivas para analizar sistemas no lineales complejos y grandes conjuntos de datos históricos para la predicción y monitoreo de la calidad del agua[18][19]. Estas tecnologías se están aplicando a diversos aspectos de la gestión del agua, incluido el tratamiento de aguas residuales, el perfil de calidad de las aguas superficiales y el monitoreo del agua potable[19][20]. Los sistemas basados en IoT con integración de IA ofrecen ventajas sobre los métodos tradicionales de muestreo manual, proporcionando

evaluaciones de calidad del agua en tiempo real, automatizadas y más precisas[20]. La combinación de tecnologías IoT e IA es prometedora para revolucionar el control de calidad del agua, ofreciendo potencial para mejorar la toma de decisiones y los procesos regulatorios en la gestión del agua[18].

Tabla 1. Estudios sobre el monitoreo de la calidad del agua basados en IoT & IA

	Descripción	Destaque	Referencia
S i s t e m a s b a s a d o s e n I O T	Un sistema basado en IoT para la detección y prevención en tiempo real de la contaminación del agua potable en tuberías.	Este documento describe el desarrollo de un sistema de detección de contaminación de agua en tubería en tiempo real basado en IoT que muestrea el agua a intervalos regulares, analiza la calidad del agua mediante una evaluación sintética difusa y envía alertas a los consumidores sobre la contaminación al tiempo que evita un mayor flujo de agua contaminada.	S. Priya, G. Shenbagalakshmi, T. Revathi. <i>IoT Based Automation of Real Time In-Pipe Contamination Detection System in Drinking Water. International Conference on Cryptography, Security and Privacy</i> , 2018 [21].
	Las lenguas electrónicas son dispositivos analíticos prometedores para detectar metales pesados y toxinas en los recursos hídricos.	Las lenguas electrónicas son dispositivos analíticos prometedores para detectar metales pesados y toxinas en los recursos hídricos debido a su operación simple, respuesta rápida, bajo costo y capacidad de integrarse con otros sistemas para permitir la miniaturización y proporcionar alta sensibilidad en medios líquidos complejos.	F. Shimizu, M. Braunger, A. Riul. <i>Heavy Metal/Toxins Detection Using Electronic Tongues. Analytical Chemistry</i> 2019[22].
	El sistema de monitoreo de agua basado en IoT propuesto ayuda a detectar y prevenir la contaminación del agua en Cartagena.	El documento presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad del agua basado en IoT para la ciudad de Cartagena, Colombia, que tiene como objetivo proporcionar datos en tiempo real sobre varios parámetros de calidad del agua para ayudar a las autoridades locales a tomar decisiones informadas y desarrollar planes para prevenir la contaminación del agua.	Amaury Cabarcas Álvarez, Plinio Puello Marrugo, Jair Enrique Lechuga Sierra. Sistema de monitoreo para cuerpos de agua en la ciudad de Cartagena basado en internet de las cosas. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, 2023 [23].
	IoTMonitor-WQ es una plataforma IoT de bajo costo para el monitoreo remoto de parámetros de calidad del agua.	En este trabajo los autores han desarrollado una plataforma IoT de bajo costo llamada IoTMonitor-WQ para el monitoreo remoto de parámetros de calidad del agua como el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, que se puede utilizar para evaluar la calidad del agua para el consumo humano en ubicaciones remotas.	Cristian Garcia Cardenas, Carlos Andres Gonzalez Amarillo, Angela María González Amarillo, Miguel Angel. IoTMonitor-WQ: Una plataforma IoT para la monitorización remota de la calidad del agua. Ciencia y Desarrollo, 2023 [24].

S i s t e m a s d e I A b a s a d o s e n I O T	Las técnicas de IA, especialmente ANN, se pueden usar de manera efectiva en combinación con dispositivos IoT para monitorear y predecir la calidad del agua.	Este documento revisa el uso de dispositivos IoT y técnicas de IA, particularmente redes neuronales artificiales (ANN), para el monitoreo y la predicción de la calidad del agua.	H. M. Mustafa, Aisha Mustapha, G. Hayder, A. Salisu. <i>Applications of IoT and Artificial Intelligence in Water Quality Monitoring and Prediction: A Review. International Congress on Information and Communication Technology, 2021</i> [18].
	Un sistema de IA basado en IoT para optimizar el perfil y monitoreo de la calidad del agua superficial.	Este documento presenta el diseño y desarrollo de un sistema de perfilado de calidad del agua integrado en IoT con una nueva capa física plug-and-play para la actuación del sensor y una capa de aplicación en la nube basada en computación en niebla impulsada por IA para la medición remota de parámetros de calidad del agua, adquisición de datos, registro, monitoreo, control y análisis de datos para el razonamiento crítico y la toma de decisiones.	M. M. Syeed, Md. Rajaul Karim, Md Shakhawat Hossain, K. Fatema, Mohammad Faisal Uddin, R. Khan. <i>An IoT Intensive AI-integrated System for Optimized Surface Water Quality Profiling. International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering, 2023</i> [20].
	Los modelos de IoT y aprendizaje automático pueden mejorar la precisión del monitoreo de la calidad del agua en comparación con los métodos tradicionales.	Este documento revisa el uso de IoT y técnicas de aprendizaje automático para el monitoreo y análisis de la calidad del agua, incluida una evaluación de la precisión de los sistemas IoT en comparación con los métodos tradicionales, así como una revisión de las diferentes técnicas de IA utilizadas para evaluar la calidad del agua.	Poornima Jayaraman, Kothalam Krishnan Nagarajan, Pachaivannan Partheeban, Vallidevi Krishnamurthy. <i>Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models. Int. J. Inf. Manag. Data Insights 2024</i> [25].
	Desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del agua basado en la tecnología IoT y la lógica difusa. El sistema integra sensores de pH, TDS y turbidez conectados a un microcontrolador ESP32.	Este trabajo implementó un sistema de monitoreo de calidad de agua en tiempo real, empleó lógica difusa, específicamente el método Tsukamoto, para determinar la calidad del agua. La aplicación de esta técnica permite manejar la incertidumbre y la variabilidad inherentes a los datos de calidad del agua, clasificando el estado del agua en categorías como "bueno", "moderado" y "poco saludable" con mayor precisión y fiabilidad.	Fakhrurroja, Hanif Triono, Edi Munandar, Aris. <i>Water quality assessment monitoring system using fuzzy logic and the internet of things</i> [26]

7 Metodología

7.1 Fase 1: Análisis del entorno y definición de requisitos

Objetivos

- Comprender el contexto geográfico, climático y socioeconómico de la vereda Patugó municipio de Puracé.
- Definir los parámetros críticos de calidad del agua que serán monitoreados (pH, turbidez, temperatura, conductividad eléctrica, entre otros).

Tareas

- Realizar un diagnóstico de las fuentes de agua disponibles y los principales contaminantes presentes.
- Evaluar las condiciones de conectividad (cobertura de red móvil, acceso a energía eléctrica) y las características topográficas del territorio.
- Levantar requerimientos a través de la consulta con comunidades locales y organismos de regulación ambiental.

Entregables

- Definición de parámetros de parámetros prioritarios a monitorear.
- Documento de requisitos preliminares del sistema.

7.2 Fase 2: Selección de tecnologías IoT adecuadas

Objetivos

- Identificar y seleccionar los sensores, dispositivos de comunicación y protocolos de red más adecuados para el entorno rural.

Tareas

- Identificar sensores de calidad del agua que puedan operar en condiciones rurales a bajo costo y bajo consumo energético.
- Seleccionar tecnologías de comunicación adecuadas (LoRa, NB-IoT, GSM/GPRS, etc.) considerando la infraestructura de red existente en la

zona.

- Definir las plataformas y protocolos para la recolección y transmisión de datos (ej. MQTT, HTTP, plataformas en la nube).

Entregables

- Lista técnica de sensores y dispositivos seleccionados.
- Documento de justificación técnica de las tecnologías de comunicación y protocolos seleccionados.

7.3 Fase 3: Diseño de la arquitectura del sistema

Objetivos

- Definir la arquitectura del sistema que integre los sensores IoT, la red de comunicaciones y la plataforma de análisis basada en IA.

Tareas

- Elaborar un diseño arquitectónico distribuido que garantice eficiencia energética y confiabilidad operativa.
- Establecer la estrategia de gestión de datos (captura, transmisión, almacenamiento y análisis en la nube o local).
- Integrar modelos de IA para análisis en tiempo real y generación de alertas.
- Definir mecanismos de actualización, calibración y mantenimiento del sistema.

Entregables

- Diagrama técnico de la arquitectura del sistema.
- Documento técnico con especificaciones sobre la arquitectura de comunicación y procesamiento de datos.
- Prototipo inicial de la integración entre sensores y plataforma de análisis.

7.4 Fase 4: Desarrollo de prototipo a escala.

Objetivos:

- Corroborar la viabilidad técnica, funcional y económica del sistema de monitoreo en un entorno controlado.

Tareas:

- Desplegar un prototipo para probar la funcionalidad de los sensores, la conectividad y la capacidad del sistema para transmitir datos de manera continua.
- Monitorear el comportamiento del sistema durante un período de tiempo para evaluar la precisión, confiabilidad y mantenimiento requerido.
- Recoger retroalimentación técnica para realizar mejoras en el diseño y operación del prototipo.

Entregables:

- Informe de resultados del piloto (análisis de rendimiento de sensores, estabilidad de la red, consumo de energía, etc.).
- Ajustes y optimizaciones al sistema basado en los resultados obtenidos.

8 Resultados esperados

Se espera diseñar un prototipo funcional de monitoreo continuo de la calidad del agua para el consumo humano en la vereda de Patugó, basado en IA e IoT, que permita la detección temprana de al menos tres contaminantes comunes (como turbidez, pH y conductividad eléctrica) en un plazo de seis meses. El diseño incluirá la selección de un conjunto de sensores específicos, se validará mediante pruebas piloto en entornos controlados que simulen las condiciones rurales.

9 Bibliografía

- [1] Organización de las Naciones Unidas, “Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos,” *Onu*, pp. 1–58, 2021.
- [2] ONU, “Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS 6, Agua limpia y saneamiento,” p. 400, 2023, [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [3] S. Pandey, “Water pollution and health,” *Kathmandu Univ. Med. J. (KUMJ)*, vol. 4, no. 1, pp. 128–134, 2006.
- [4] S. Pasika and S. T. Gandla, “Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT,” *Heliyon*, vol. 6, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04096.
- [5] J. Invik, H. Barkema, A. Massolo, N. Neumann, and S. Checkley, “Total coliform and *Escherichia coli* contamination in rural well water: analysis for passive surveillance,” *J. Water Health*, vol. 15 5, pp. 729–740, 2017, doi: 10.2166/wh.2017.185.
- [6] B. M. J. K. Balasooriya, J. Rajapakse, and C. Gallage, “A review of drinking water quality issues in remote and indigenous communities in rich nations with special emphasis on Australia,” *Sci. Total Environ.*, vol. 903, no. August, p. 166559, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166559.
- [7] T. Kluge, “Water Gap: The Overuse of Fresh Water,” in *Competition and Conflicts on Resource Use*, Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 213–229. doi: 10.1007/978-3-319-10954-1_15.
- [8] M.-A. Galezzo, A. Acosta-González, and C. Jimenez-Junca, “Assessing the Discrepancy Between Network and Household Drinking Water Quality in Rural Cundinamarca, Colombia,” pp. 1–17, 2024.
- [9] C. Rica Rodríguez Barrientos, “InterSedes: Revista de las Sedes Regionales,” *Rev. las Sedes Reg.*, vol. VII, no. 12, pp. 113–125, 2006, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66612867008>
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Estudio nacional del agua 2022*. 2023.
- [11] V. Bonilla, “Plan de Desarrollo Municipio Puracé Coconuco 2020 - 2023,” pp. 01–181, 2023, [Online]. Available: [https://www.puracecauca.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan de Desarrollo Municipio Puracé Coconuco 2020 - 2023.pdf](https://www.puracecauca.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipio%20Purac%C3%A9%20Coconuco%202020-2023.pdf)
- [12] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “Viviendas, Hogares y Personas (VIHOPE),” septiembre 9 de 2019. Accessed: Sep. 13, 2024. [Online]. Available: <https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=e53e1178fb1f497cac9b241dbafb1690>
- [13] C. y otros. (compilador). García C., “Programa Nacional de Cultura del Agua Participación y Transformación de Conflictos asociados al Recurso Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico Grupo de Fortalecimiento y Gobernanza del Agua Diciembre 2018,” 2018.
- [14] Gobernación del Cauca, “EMCASERVICIOS impulsa la prestación del servicio de agua potable con enfoque diferencial,” 24-Sep-2019. Accessed: Sep. 13, 2024.

- [Online]. Available: <https://anterior.cauca.gov.co/noticias/emcaservicios-impulsa-la-prestacion-del-servicio-de-agua-potable-con-enfoque-diferencial-0>
- [15] N. Especial, E. L. En, and C. Rica, "Lluvia En Los Alrededores Del Volcán Poás Durante," pp. 1–11, 2024.
 - [16] L. Stellato *et al.*, "Natural and anthropogenic groundwater contamination in a coastal volcanic-sedimentary aquifer: The case of the archaeological site of cumae (phlegraean fields, southern italy)," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 12, pp. 1–24, 2020, doi: 10.3390/w12123463.
 - [17] C. Yamith, B. Ordoñez, J. Rolando, C. López, and A. P. Charry, "Monitoreo de calidad de agua usando red de sensores inalámbricos LPWAN," vol. 16, no. 2, pp. 153–160, 2018.
 - [18] H. M. Mustafa, A. Mustapha, G. Hayder, and A. Salisu, "Applications of IoT and Artificial Intelligence in Water Quality Monitoring and Prediction: A Review," *2021 6th Int. Conf. Inven. Comput. Technol.*, pp. 968–975, 2021, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:232071801>
 - [19] A. E. Alprol, A. T. Mansour, M. E. E. D. Ibrahim, and M. Ashour, "Artificial Intelligence Technologies Revolutionizing Wastewater Treatment: Current Trends and Future Prospective," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 2, pp. 1–26, 2024, doi: 10.3390/w16020314.
 - [20] M. M. M. Syeed, M. R. Karim, M. S. Hossain, K. Fatema, M. F. Uddin, and R. H. Khan, "An IoT Intensive AI-integrated System for Optimized Surface Water Quality Profiling," *2023 20th Int. Jt. Conf. Comput. Sci. Softw. Eng.*, pp. 247–252, 2023, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:260809377>
 - [21] S. K. Priya, G. Shenbagalakshmi, and T. Revathi, "IoT Based Automation of Real Time In-Pipe Contamination Detection System in Drinking Water," in *2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2018, pp. 1014–1018. doi: 10.1109/ICCSP.2018.8524255.
 - [22] F. M. Shimizu, M. L. Braunger, and A. Riul, "Heavy metal/toxins detection using electronic tongues," *Chemosensors*, vol. 7, no. 3, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/CHEMOSENSORS7030036.
 - [23] A. Cabarcas Álvarez, P. Puello Marrugo, and J. E. Lechuga Sierra, "Sistema de monitoreo para cuerpos de agua en la ciudad de Cartagena basado en internet de las cosas," pp. 1–9, 2023, doi: 10.26507/paper.3383.
 - [24] C. Cárdenas-García, C. Gonzalez-Amarillo, and ..., "IoTMonitor-WQ: A Remote Water-Quality Monitoring IoT Platform.," *Cienc. en ...*, vol. 14, pp. 73–86, 2023, [Online]. Available: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/download/13988/13487/73004
 - [25] P. Jayaraman, K. K. Nagarajan, P. Partheeban, and V. Krishnamurthy, "Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models," *Int. J. Inf. Manag. Data Insights*, vol. 4, no. 1, p. 100210, 2024, doi: 10.1016/j.jjime.2023.100210.
 - [26] H. Fakhurroja, E. Triono, and A. Munandar, "Journal of Mechatronics , Electrical Power , Water quality assessment monitoring system using fuzzy logic and the internet of things," vol. 14, no. 2, pp. 198–207, 2023.