

Systematic Review: Technological Innovations Implemented in Smart Cities to Mitigate Water Scarcity





Edwar Velarde-Allazo, M.Sc. ¹, Xiomara Pinto Quispe, Bach.², Rusel Apaza, Bach.³ 

^{1,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, evelarde@utp.edu.pe, u18214606@utp.edu.pe, u20101657@utp.edu.pe

Abstract—In recent years, overpopulation and climate change have generated significant consequences, with water scarcity standing out as a central issue that affects not only human consumption but also agriculture and industry. In this context, the purpose of this study is to conduct a systematic literature review to explore technological innovations employed to mitigate water consumption and promote its efficient use. The methodology, based on the PICO approach, used specific questions to identify keywords, which were subsequently employed in searches across the Scopus and ScienceDirect databases. The application of the PRISMA approach established exclusion and inclusion criteria and facilitated the selection of relevant articles. The results highlighted that technologies such as moisture monitoring achieve water savings of up to 31%. Additionally, flow sensors and water level probes contribute effectively to reducing consumption, underscoring the importance of water quality monitoring and leak detection. The implementation of emerging technologies, such as moisture monitoring, temperature monitoring, and water level probes in water distribution systems, offer efficient water savings, with reductions of up to 53.5%. The need for cost-effective solutions for water quality monitoring is emphasized, and the significant contribution of these technologies to the long-term sustainability of water resources is underscored. Emphasizing the importance of continued research into new technological applications that address water scarcity and implementations worldwide.

Keywords— Water scarcity; Smart cities; Water availability; Water balance; IoT.

Revisión Sistemática: Innovaciones Tecnológicas Implementadas en Ciudades Inteligentes para Mitigar la Escasez de Agua.

Edwar Velarde-Allazo, M.Sc. ¹, Xiomara Pinto Quispe, Bach.², Rusel Apaza, Bach³ Alberto Lagos, Msc ⁴
^{1,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, evelarde@utp.edu.pe, u18214606@utp.edu.pe, u20101657@utp.edu.pe, c16558@utp.edu.pe

Resumen – En los últimos años, la sobrepoblación y el cambio climático han generado consecuencias significativas, destacándose la escasez de agua como problemática central que afecta no solo al consumo humano, sino también a la agricultura e industria. En este contexto, el propósito de este estudio es realizar una revisión sistemática de la literatura para explorar las innovaciones tecnológicas empleadas para mitigar el consumo de agua y su uso eficiente. La metodología, basada en el enfoque PICO, utilizó preguntas específicas para identificar palabras clave, las cuales fueron posteriormente empleadas en búsquedas en las bases de datos de Scopus y Sciencedirect. La aplicación del enfoque PRISMA estableció criterios de exclusión, inclusión y facilitó la selección de los artículos pertinentes. Los resultados destacaron que tecnologías como el monitoreo de humedad logran un ahorro de agua de hasta un 31%. Además, los sensores de flujo y sondas de nivel de agua contribuyen eficazmente a reducir el consumo, resaltando la importancia del monitoreo de calidad y la detección de fugas. La implementación de tecnologías emergentes, como el monitoreo de humedad, temperatura, sondas de nivel de agua en sistemas de distribución de agua, ofrecen eficientes ahorros de agua, con reducciones de hasta un 53.5%. Se enfatiza la necesidad de soluciones económicas para el monitoreo de calidad del agua y se subraya la contribución significativa de estas tecnologías a la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos. Destacando la importancia de seguir investigando nuevas aplicaciones tecnológicas que aborden la escasez del agua y las implementaciones alrededor del mundo.

Palabras Clave—Escasez de agua; Ciudades inteligentes; Disponibilidad de Agua; Balance Hídrico; IoT.

I. INTRODUCCION

En los últimos diez años, la sobrepoblación y el cambio climático han generado consecuencias significativas, destacándose la escasez de agua como el problema principal que afecta no solo al consumo humano, sino también a la agricultura e industria. Debido a esta situación, el acceso al agua podría verse restringido en ciertas ciudades. Las proyecciones para el año 2050 indican que la escasez hídrica podría llegar a niveles críticos, afectando al 52% de la población mundial [1]. El cambio climático agrava la situación al agotar fuentes de agua y aumentar las sequías [2]. Además, el crecimiento poblacional también presenta un desafío adicional para la

conservación del agua debido a la excesiva demanda. Por esta razón, se exploran soluciones tecnológicas adoptadas por las Ciudades Inteligentes con el propósito de preservar y administrar eficientemente el recurso hídrico [3]. Que son definidas como comunidades urbanas que utilizan de manera innovadora tecnologías de información y comunicación para abordar este problema.

En este sentido, las Ciudades Inteligentes han experimentado notables avances, como se refleja en diferentes estudios, donde se emplearon datos de humedad del suelo, teledetección, procesamiento de imágenes para mapear áreas irrigadas, evaluando su precisión frente a datos oficiales de riego, y analizando extracciones de agua y unidades de Agua de Riego [4][5]. como también el uso de información satelital, como Landsat 8, ASTER, Sentinel-2 y SPOT 6, mostrando mayor precisión, en la escasez y un Espectrómetro Lighting Passport. Mientras otros estudios utilizan una estación meteorológica con imágenes Satelitales, con modelo que mostró una confianza del 94.5% en mediciones de precipitación, evapotranspiración y niveles de humedad del suelo [6-7].

Por ello en la presente revisión, se pretende abordar los desafíos vinculados a la escasez de agua en los contextos social y ambiental, se propone realizar una nueva revisión sistemática de la literatura (RSL). Este enfoque se centra en la incorporación de avances tecnológicos en la gestión óptima del recurso hídrico, con el propósito de adquirir datos en tiempo real, mitigar las pérdidas en el sistema de distribución y explorar soluciones disruptivas e innovadoras.

II. METODOLOGIA

La metodología utilizada en esta revisión sistemática de la literatura (RSL), inicio con la identificación de las palabras clave para ello se usó el enfoque PICO y para la selección de artículos se utilizó el método PRISMA.

- Problema: ¿Qué elementos influyen en la escasez del agua y cuáles son sus consecuencias?
- Intervención: ¿Qué innovaciones tecnológicas son utilizadas por las Smart Cities?
- Resultados: ¿Qué beneficios se obtuvieron de la implementación de las innovaciones tecnológicas?

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

- Contexto: ¿Dónde se están desarrollando estas innovaciones para enfrentar la escasez de agua?

El enfoque PICO es utilizado para abordar la pregunta principal: ¿Cuáles son las innovaciones tecnológicas implementadas por las Smart Cities, para enfrentar la escasez de agua, ocasionado por el cambio climático y su incorrecta gestión, con la finalidad de obtener resultados positivos en el manejo del recurso hídrico?

A continuación, se formula general utilizada según el enfoque PICO:

Se utilizaron herramientas avanzadas de Scopus y operadores Booleanos (Y, O y NO) para examinar y analizar datos del período 2008-2023 en la base de datos Scopus y ScienceDirect. se eliminaron las investigaciones duplicadas con el método PRISMA, quedándonos 396 investigaciones. Se descartaron 256 por falta de correlación en títulos y resúmenes. De los 140 restantes, 27 no estaban disponibles. Al utilizar los criterios de inclusión/exclusión, se analizarán finalmente 53 artículos para la revisión sistemática (RSL). La Figura 01 muestra el proceso de selección con el método PRISMA.

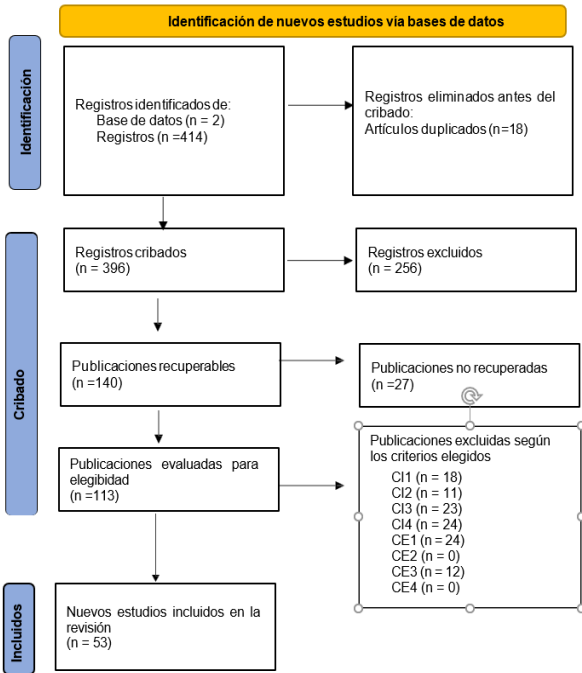


Fig. 1 Identificación de artículos según el método PRISMA

III. ESTADO DEL ARTE

A. Sensores

El sensoramiento de uso de agua se refiere a la aplicación de tecnologías sensores y sistemas de monitoreo para la recopilación, medición y análisis de datos relacionados con el

consumo de agua. Este enfoque se fundamenta en la implementación de dispositivos avanzados, como contadores de agua inteligentes, sensores de flujo y presión, así como la integración de tecnologías de redes inteligentes y sistemas basados en Internet de las cosas (IoT)[8][14-22], como son utilizados en diversos países alrededor del mundo.

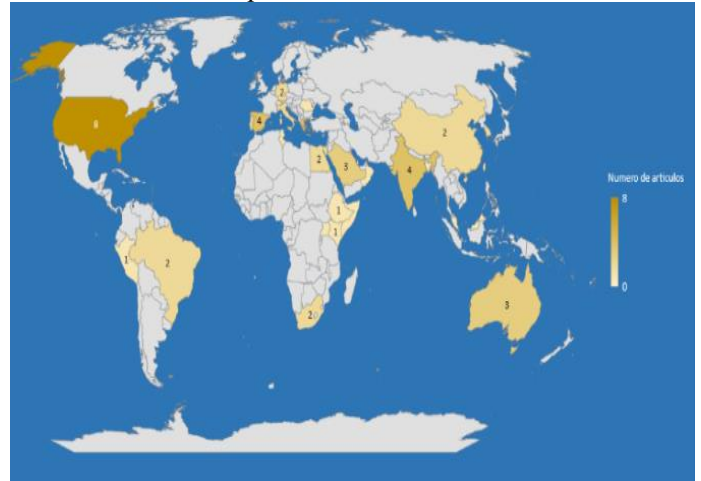


Fig. 2 implementación de sistemas de tecnologías con fines de investigación en diversas ubicaciones geográficas alrededor del mundo.

Uno de los más destacando el sensor de temperatura como el más utilizado, como se evidencia en [7][4]. Este sensor se emplea para medir la variación de temperatura y mejorar la gestión del riego; Otra aplicación relevante fue realizada por [8][23], para el monitoreo de la red de distribución de agua. Por otro lado, las estaciones meteorológicas de la Tabla 1 miden diversos parámetros como temperatura, velocidad del viento, humedad y radiación solar. La información obtenida se utiliza para mejorar sistemas de riego globalmente. También se emplean sensores, como los de pH, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, etc. Para evaluar la calidad del agua en fuentes como represas, tanques, ríos y redes de distribución; en el estudio [10], se emplearon para medir parámetros de calidad del agua en la red de distribución y en tanques de almacenamiento; la medición de la turbidez al aumentar la profundidad del agua sirve como indicador de partículas suspendidas en el agua, en [11][22], se emplea un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente para medir la presencia de metales pesados en el agua, mientras que el sensor de humedad del suelo se destaca en algunos estudios, por ejemplo en [18], se usaron sensores para mejorar la gestión del agua midiendo su contenido en el suelo. Además, el uso del sensor de flujo es muy importante para la medición de la cantidad de agua usada en los sistemas de riego o distribución, en el estudio [12][28] se usó el sensor de flujo electromagnético para medir la cantidad de agua usada en los campos de arroz, a diferencia del artículo [13][21] en el cual se empleó para medir el consumo de agua en las redes de distribución para determinar la cantidad de agua usada por los usuarios y predecir el consumo de agua futuro. Adicionalmente,

el sensor de solidos totales disueltos es usado para el monitoreo de calidad en las fuentes de agua, este sensor es empleado en [14][32] para medir la cantidad de sales disueltas en el agua. También se resalta la importancia de los sensores de ultrasonido, teniendo como aplicación el monitoreo del nivel de agua en los sistemas de riego por inundación mencionado en [39]. Finalmente, en la Tabla 2, se destacan varios dispositivos usados para el monitoreo de la calidad del agua, sistemas de tratamiento o distribución y el uso del agua en la agricultura, entre otros, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Dispositivos de monitoreo encontrados

Nombre de dispositivo	Funcionamiento	N° Artículo
Estación meteorológica	Mide parámetros ambientales	[3] [14] [28][33] [51] [52] [55]
Sensor pluviometro	Mide la lluvia en áreas específicas	[4] [5] [11]
Sensor de temperatura	Mide la temperatura	[4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [15] [18] [20] [23] [24] [30][32][33] [35] [38][42] [43] [47] [51] [52] [53] [54] [56]
Sensor de humedad del suelo	Determinar la cantidad de agua en el suelo	[4][5][6][7][14] [18] [25] [31] [35] [37] [49] [50][51] [52] [53]
Sensor de humedad del aire	Mide la humedad del ambiente	[4][8] [20] [24] [25]
Piranómetro	Mide la radiación en el ambiente	[4] [5] [35]
Sensor de conductividad eléctrica	Mide la conductividad eléctrica del agua	[8] [15] [16] [23][30][38] [47] [51]
Sensor de absorción UV	Mide la cantidad de luz absorbida por una muestra	[8] [22] [43] [48] [54]
Sensor de pH	Mide la acidez o alcalinidad del agua	[8][9] [10] [15] [16][22][23][30][32][33] [38][39][41][42][43] [47] [48] [56]
Sensor de oxígeno disuelto	Mide la cantidad de oxígeno en el agua	[8] [15] [42]
Sensor de turbidez de agua	Mide la cantidad de partículas suspendidas en el agua	[9][10] [30][33][38][41][42][43] [44] [47] [48] [56]
Sensor de ultrasonido	Mide el nivel del agua mediante ondas sonoras de alta frecuencia	[11][16][28][39][50] [52]
Landsat 8	Monitorea la vegetación y la calidad del agua	[19] [26] [40] [54]
Sentinel-2	Monitorea la calidad del agua, mapas de vegetación y monitoreo ambiental.	[19] [26] [40]
Sensor de presión	Mide la presión del sistema de suministro y detectar fugas	[20] [23][42] [45]
Sensor de flujo	Mide la cantidad de agua que fluye por el sistema de distribución	[11][20][21] [23] [25] [28][37] [39][41] [45] [46]
Sensor de solidos totales disueltos	Mide la cantidad de solidos que se encuentran, pueden ser minerales, sales, metales, etc.	[32] [43] [56]

Fuente: Elaboración propia

B. Sistemas de comunicación

El uso de sistemas de comunicación es crucial para la transferencia de información, como se detalla en la Tabla 2. la utilización el sistema GSM/GPRS para monitorear en tiempo real la calidad del agua en pozos subterráneos de Somalia [15][42]. Este sistema permite la transferencia rápida de datos de los sensores, mejorando la capacidad de respuesta ante problemas de calidad del agua.El uso del sistema LoRaWAN para transmitir información de sensores[16][49]. En este caso, se emplea para transferir datos de sensores de humedad del suelo a través de una red inalámbrica de bajo consumo y larga distancia. La red WiFi para transmitir información sobre la calidad del agua entre dispositivos conectados [17] [32]. Los datos recopilados se analizan para tomar decisiones beneficiosas para los usuarios del sistema. Como también se emplea Bluetooth como sistema de transferencia de información para posibilitar la comunicación inalámbrica entre una aplicación móvil y un sistema compuesto por Arduino y sensores [18][23]. Este enfoque facilita la medición de los parámetros de calidad del agua en Rumanía. Por otro lado, el uso del protocolo I2C para la transferencia de información, se usa para optimizar el uso de agua permitiendo la comunicación entre los sensores y el microcontrolador. Finalmente, el NodeMCU ESP8266 destaca por su capacidad para la comunicación inalámbrica de datos [19][24], siendo asequible y apropiado para proyectos de IoT. Empleando para transmitir datos de temperatura y humedad del suelo, contribuyendo así al control de la irrigación y a la eficiencia en el uso del agua, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Sistemas de comunicación usados

Nombre de dispositivo	Funcionamiento	N° Artículo
Sistema de comunicación GMS/GPRS	Transmite información inalámbrica entre los sensores y el sistema de monitoreo	[4] [13] [23] [47] [51]
Protocolo I2C	Transmite información entre los sensores y sus controladores.	[5] [24]
NodeMCU ESP8266	Envía y recibe información al ser un dispositivo que se conecta a internet	[5] [11] [44]
LoRaWAN	Transmite información a largas distancias	[6] [7] [21] [23] [46] [49]
LoRa	Sistema de comunicación de largo alcance	[9] [46]
Wifi	Sistema de comunicación de alta velocidad de transferencia de datos	[9] [16][32] [38] [39] [41]
Radio frecuencia	Sistema de comunicación remoto a través de ondas electromagnéticas	[10] [39]
Sistema de transmisión de datos satelital	Sistema transferencia de información inalámbrica y amplia red de cobertura	[19] [20]
Comunicación directa entre sensores y Arduino	La transferencia directa de información se da mediante el uso de cables entre los sensores y los controladores	[31][35] [50]

Modulo Bluetooth	Es un sistema de transferencia de información inalámbrica de entre sensores y dispositivos móviles	[33] [38] [56]
Datalogger	Sistema de transferencia de información	[33]
Gateways things network	Sistema de transferencia de información de bajo consumo de energía y largas distancias de transferencia	[37] [49]
SCADA	Vincula los sensores y controladores para la transferencia de información	[45]

C. Sistemas de procesamiento y almacenamiento de información.

Sistemas de procesamiento para el monitoreo eficiente del agua se refieren a las infraestructuras tecnológicas diseñadas para la recolección, procesamiento y análisis de datos inherentes a la calidad y uso eficiente del agua. Estos sistemas engloban la captación de información proveniente de múltiples fuentes, tales como sensores de calidad del agua, dispositivos de monitoreo y contadores inteligentes, con el propósito de someter dichos datos a procesos analíticos y evaluativos.

La tabla 3 detalla los sistemas utilizados para procesar y almacenar datos recolectados por sensores.

Tabla 3. Sistemas de procesamiento y almacenamiento de información

Nombre de dispositivo	Funcionamiento	N° Artículo
Data logger	Almacena y procesa la información	[4] [35] [52]
Microcontrolador Arduino	Procesa la información recopilada	[5][7][11] [16] [24][31][32][33] [38][39][44] 47 [48][56]
Software EasyFlux	Procesa la información mediante el uso de algoritmos	[18] [35]
Plataforma ThingSpeak	Usa herramientas estadísticas para procesar la información recopilada por los sensores	[23] [33][44]
SCADA	Monitorea y controla dispositivos usados en la gestión subacuática	[27]
MATLAB software	Procesa información mediante análisis estadístico	[31]
Base de datos MySQL	Es usado para el almacenamiento y generación de informes de calidad del agua	[32] [46]
Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Es usado para realizar predicciones a partir del uso de patrones de información	[32] [36] [53]
Microcontrolador ESP32	Es un sistema que se usa el procesamiento de la información de sensores	[38]
Google Firebase	Almacena información	[41] [56]
Machine learning	Usa algoritmos de aprendizaje autónomo para analizar información de la calidad del agua	[42] [46]

D. Sistemas para la presentación de resultados

En los estudios, se emplearon en mayor frecuencia páginas web y aplicaciones móviles, detalladas en la tabla 4, por su accesibilidad y facilidad de uso, beneficiando a los usuarios.

Tabla 4. Sistemas usados para la presentación de información

Nombre de dispositivo	Funcionamiento	N° Artículo
Software de interfaz ECH2O	Muestra la información a través de una interfaz gráfica de usuario en un dispositivo móvil pc	[4]
Plataforma Google Sheets	Muestra la información recopilada en la plataforma de Google	[5]
App móvil	Se usa para mostrar la información en los dispositivos móviles a través de la creación de un aplicativo	[7] [9] [16] [23] [32] [33] [38] [55] [56]
Interfaz Web	Muestra la información a través de un sitio web	[8] [15] [21] [23] [25] [37] [46][47] [52] [53]
Plataforma DRIP	Transmite la información a través de la plataforma del DRIP y archivos PDF enviados a los usuarios	[20]
Plataforma de aplicaciones	Es una herramienta para acceder a la información recopilada por el Sentinel	[40]
Correos electrónicos	Se usan correos para alertar sobre posibles fugas a usuarios.	[41]

E. Resultados obtenidos del ahorro de agua

En la Tabla 5 y 6 la exhibición de la economía hídrica a escala global, derivada de la instauración de varios procedimientos tecnológicos, se manifiesta mediante la presentación detallada de las cuantías de agua es preservadas por el uso de tecnologías.

Tabla 5. Resultados de ahorro de agua en %

N° artículo		Ahorro de agua en %
[7]	Ciclo de riego	28.8%
[14]	Ciclo de riego	20%
[28]	Primer cultivo	53.5%
[28]	Segundo cultivo	21.7%
[37]	Verano	20%
[52]	Reducción de agua en cultivos	50%
[4]	Verano e invierno	23% y 31%
[11]	Recolección de agua del sistema de drenaje	14.8% al 58.63%
[45]	Perdida reducida	38% al 17%
[55]	Ahorro en la primera temporada de cultivo	8.8% al 19.3%
[55]	Ahorro en la segunda temporada de cultivo	2.9% al 6.5%

Tabla 6. Resultados de ahorro de agua en m3 y mm

N° artículo		Ahorro de agua en m3 - mm
[6]	Ciclo de riego	1000 m3
[15]	Primavera	50000 m3

[29]	Primer experimento	341.6 m ³ /ha
[29]	Segundo experimento	515.7 m ³ /ha
[53]	Reducción de la ET	1.5 mm

[20]	Disponibilidad del agua en etiofia	30%
[23]	Eficiencia del sistema de distribución	90%
[27]	Eficiencia del sistema de distribución	98%
[41]	Umbral de para detectar fugas	10%

F. Monitoreo de calidad del agua

En la Tabla 7, se detallan los parámetros de calidad del agua evaluados y si cumplen con los rangos permitidos para su uso, aunque los artículos revisados no proporcionan medidas específicas en caso de exceder estos límites.

Tabla 7. Resultados de los parámetros de calidad medidos

N° articulo	Parámetros medidos	Dentro o fuera del rango permitido
[8]	Nitratos - Nitritos	Dentro del rango permitido
[10]	Cloro total	Dentro del rango permitido
[13]	Amonio - TOC - Fosforo reactivo total	Fuera del rango permitido
[13]	Nitrato - Fosforo total	Dentro del rango permitido
[16]	pH – Conductividad eléctrica	Dentro del rango permitido
[22]	Mercurio – Plomo - Cadmio	Dentro del rango permitido
[26]	pH – Cloro	Dentro del rango permitido
[30]	pH – Oxígeno disuelto	Dentro del rango permitido
[32]	pH – TSD – Temperatura – FLOC	Dentro del rango permitido
[32]	TSD	Fuera del rango permitido
[33]	pH – Temperatura	Dentro del rango permitido
[33]	Turbidez del agua	Fuera del rango permitido
[38]	Conductividad eléctrica- pH- Temperatura – Turbidez del agua	Dentro del rango permitido
[39]	pH a diferentes profundidades	Dentro del rango permitido
[40]	Clorofila – TSM – Materia orgánica disuelta	Dentro del rango permitido
[42]	Clasificación de la calidad fuentes de agua	Dentro del rango permitido
[54]	Temperatura – Turbidez del agua – Nitrógeno total – Fosforo total – Clorofila	Dentro del rango permitido

Fuente: Elaboración propia

G distribución de agua

En la Tabla 8, se presenta en qué medida se logró mejorar la distribución del agua mediante la implementación de sistemas de monitoreo en las redes de distribución.

Tabla 8. Resultados de los sistemas de distribución medidos

N° articulo	Indicador	Nivel de eficiencia
[20]	Disponibilidad del agua en Kenia	20%

IV. DISCUSION

En la RSL realizada, se examinaron las innovaciones tecnológicas destinadas a mitigar la escasez global del agua. Estas innovaciones tienen como objetivos: el reducir el desperdicio de agua, monitoreo constante de calidad del agua, En cuanto al uso del agua de los sistemas evaluados, se demuestra un ahorro mediante el empleo de sistemas de monitoreo de humedad. los artículos [4],[7],[14] revelan un ahorro de este recurso que oscila entre el 20% al 31%. Además, en el estudio [6] utilizando el mismo sistema, se logró un ahorro de 1000 m³ en cada ciclo de riego. En comparación, los sistemas de evapotranspiración, también utilizados para reducir el consumo de agua en sistemas de riego, mostraron ahorros que varían entre el 2.9% y el 50%, siendo este último valor del estudio [52], que emplea un sistema de riego deficitario, el cual consiste en reducir el uso del agua en un 50% sin afectar el rendimiento del cultivo. Otro sistema usado es la de teledetección, evidenciando reducciones en el uso de agua que varían desde 341 m³/ha a 515.7 m³/ha según el artículo [29]. Asimismo, los sistemas de riego que utilizan sondas de nivel de agua, como se observa en [28], lograron un ahorro máximo de 53.5%. En términos de detección de fugas, un aspecto crucial para reducir las pérdidas de agua, el estudio [42] logró disminuir las fugas del 38% al 17% en todo el sistema de suministro.

La RSL resalta la importancia del ahorro de agua como uno de los temas principales, también se encontró que el monitoreo de calidad de este recurso es importante para la conservación de las fuentes de agua. Por ejemplo, en algunos estudios [8],[10],[16], se identificó que los parámetros medidos se encontraban dentro de los rangos permitidos para usos domésticos, agrícolas, etc. Sin embargo, en los artículos [13],[32],[33], se observó que los parámetros estaban fuera de los límites permitidos, indicando posibles puntos de contaminación del agua.

Varios estudios se enfocaron en mejorar la disponibilidad del agua, con mejoras que van desde el 20% hasta el 30% en [20], mientras que la eficiencia en el sistema de distribución alcanzó el 90% y el 98% en [23] y [27], respectivamente. En cuanto a los costos de implementación, los artículos [24],[25],[49] informaron costos que oscilaron entre \$72.90 y \$2692.80, mientras que los sistemas de monitoreo de calidad, en [44] y [56], presentaron costos de \$97.50 hasta \$120.20. La implementación de estos sistemas ha posibilitado el ahorro del agua y además un mantenimiento eficiente de las fuentes hídricas, contribuyendo a asegurar su sostenibilidad a largo plazo. Los estudios que analizan el monitoreo de calidad del

agua se limitan solo a la medición de sus parámetros, pero no se proporciona soluciones si algún parámetro excede los límites permitidos. Lo cual puede ser considerado para futuras investigaciones que se realicen con respecto a la problemática abordada.

V. CONCLUSIONES

Esta investigación identificó las distintas innovaciones tecnológicas implementadas para abordar la escasez global de agua. Estas innovaciones se centran en la reducción del desperdicio de agua, el monitoreo de la calidad del agua y la eficiencia de los sistemas de riego.

Los sistemas más eficientes para el ahorro de dicho recurso son el monitoreo de humedad, de evapotranspiración y el de sondas de nivel de agua que oscilaron entre un 20% al 31%, 20% al 50% y entre 2.9% al 53.5% respectivamente, dentro de estos sistemas usados para el ahorro de agua el sistema que presento mayor éxito fue el uso de sondas de nivel de agua para los sistemas de riego por inundación genero un ahorro de 53.3%. En cuanto a la disponibilidad del agua se obtuvieron mejoras que van desde el 20% hasta el 30% mientras que la máxima eficiencia de los sistemas de distribución fue del 98%. El sistema más económico para su implementación fue utilizado en los sistemas de riego, presentando un costo de \$72.90 seguido del sistema de monitoreo de calidad que presento un costo de \$97.50, ambos sistemas utilizan un microcontrolador de Arduino y el uso de sensores estos componentes resaltan como los dispositivos más económicos para realizar diferentes estudios.

El proceso tecnológico más eficiente para mitigar la escasez del agua a nivel mundial fue el del sistema de riego que utiliza sondas de nivel de agua logrando un ahorro máximo de 53.5%, además el uso de los sensores de flujo y sensores de presión resaltan como los sistemas más eficientes en la disminución de las fugas del 38% al 17% en todo el sistema de suministro.

Para futuros trabajos es necesario analizar el uso de varios sistemas de monitoreo en un solo entorno para complementar el funcionamiento de los sistemas usados, además es importante que se planteen soluciones con respecto a los sistemas de monitoreo de calidad del agua, debido a que los artículos analizados solo se centran en medir los parámetros e indicar si se encuentran dentro de los rangos permitidos para el uso y consumo del recurso hídrico, sería recomendable desarrollar sistemas de monitoreo de bajo costo para para impulsar el uso de estos procesos para la conservación del agua. En conjunto, estas tecnologías contribuyen al ahorro de agua y al mantenimiento sostenible de las fuentes hídricas, promoviendo la viabilidad a largo plazo de estos recursos.

REFERENCIAS

[1] Gupta, R., Yan, K., Singh, T., & Mo, D. (2020). Domestic and international drivers of the demand for water resources in the context of water scarcity: A cross-country study. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(11), 255. <https://doi.org/10.3390/jrfm13110255>

[2] Goodarzi, M. R., Vagheei, H., & Mohtar, R. H. (2020). The impact of climate change on water and energy security. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(7). <https://doi.org/10.2166/ws.2020.150>

[3] Mahmood, I., & Zubairi, J. A. (2019). Efficient Waste Transportation and Recycling: Enabling technologies for smart cities using the Internet of Things. *IEEE Electrification Magazine*, 7(3), 33–43. <https://doi.org/10.1109/MELE.2019.2925761>

[4] Siddiqi, S. A., & Al-Mulla, Y. (2022). Wireless Sensor Network System for Precision Irrigation using Soil and Plant Based Near-Real Time Monitoring Sensors. *Procedia Computer Science*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.053>

[5] Zaussinger, F., Dorigo, W., Gruber, A., Tarpanelli, A., Filippucci, P., & Brocca, L. (2019). Estimating irrigation water use over the contiguous United States by combining satellite and reanalysis soil moisture data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2). <https://doi.org/10.5194/hess-23-897-2019>

[6] de Figueiredo, T., Royer, A. C., Fonseca, F., Schütz, F. C. de A., & Hernández, Z. (2021). Regression models for soil water storage estimation using the ESA CCI satellite soil moisture product: A case study in northeast Portugal. *Water (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010037>

[7] Machakaire, A. T. B., Steyn, J. M., & Franke, A. C. (2021). Assessing evapotranspiration and crop coefficients of potato in a semi-arid climate using Eddy Covariance techniques. *Agricultural Water Management*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107029>

[8] Junior, A. A., da Silva, T. J. A., & Andrade, S. P. (2023). Smart IoT lysimetry system by weighing with automatic cloud data storage. *Smart Agricultural Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.jatech.2023.100177>

[9] Gimpel, H., Graf-Drasch, V., Hawlitschek, F., & Neumeier, K. (2021). Designing smart and sustainable irrigation: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 315. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128048>

[10] Froiz-Míguez, I., Lopez-Iturri, P., Fraga-Lamas, P., Celaya-Echarri, M., Blanco-Novoa, Ó., Azpilicueta, L., Falcone, F., & Fernández-Caramés, T. M. (2020). Design, implementation, and empirical validation of an IoT smart irrigation system for fog computing applications based on Lora and Lorawan sensor nodes. *Sensors (Switzerland)*, 20(23). <https://doi.org/10.3390/s20236865>

[11] Martínez, R., Vela, N., el Aatik, A., Murray, E., Roche, P., & Navarro, J. M. (2020). On the use of an IoT integrated system for water quality monitoring and management in wastewater treatment plants. *Water (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/W12041096>

[12] Aldegheshem, A., Alrajeh, N., Garcia, L., & Lloret, J. (2022). SWAP: Smart Water Protocol for the Irrigation of Urban Gardens in Smart Cities. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3165579>

[13] Lu, H., Ding, A., Zheng, Y., Jiang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, P., Zhao, X., Quan, F., Gao, C., Jiang, S., Xiong, R., Men, Y., & Shi, L. (2023). Securing drinking water supply in smart cities: an early warning system based on online sensor network and machine learning. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(5). <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.007>

[14] Hingmire, A. M., & Bhaladhare, P. R. (2023). Advance Urban Flood Control System Using Fuzzy Logic and Internet of Things (IoT) for Smart City. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(6 S), 447–456. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i6s.6952>

[15] Zaussinger, F., Dorigo, W., Gruber, A., Tarpanelli, A., Filippucci, P., & Brocca, L. (2019). Estimating irrigation water use over the contiguous United States by combining satellite and reanalysis soil moisture data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2). <https://doi.org/10.5194/hess-23-897-2019>

[16] Romero-Trigueros, C., Bayona Gambín, J. M., Nortes Tortosa, P. A., Alarcón Cabañero, J. J., & Nicolás, E. N. (2019). Determination of Crop Water Stress index by infrared thermometry in grapefruit trees irrigated with saline reclaimed water combined with deficit irrigation. *Remote Sensing*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/rs11070757>

[17] Leininger, S. D., Krutz, L. J., Sarver, J. M., Gore, J., Henn, A., Bryant, C. J., Atwill, R. L., & Spencer, G. D. (2019). Establishing Irrigation Thresholds for Furrow-Irrigated Peanuts. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 5(1). <https://doi.org/10.2134/cftm2018.08.0059>

- [18] Ellison, J. C., Smethurst, P. J., Morrison, B. M., Keast, D., Almeida, A., Taylor, P., Bai, Q., Penton, D. J., & Yu, H. (2019). Real-time river monitoring supports community management of low-flow periods. *Journal of Hydrology*, 572. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.035>
- [19] Karhe, R. R., & Kachawa, V. D. (2019). IoT based Water Management System. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 7(9). <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v7i9.5358>
- [20] Zhang, K., Amineh, R. K., Dong, Z., & Nadler, D. (2019). Microwave Sensing of Water Quality. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2918996>
- [21] Knipper, K. R., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Alsina, M. M., Hain, C. R., Alfieri, J. G., Prueger, J. H., Gao, F., McKee, L. G., & Sanchez, L. A. (2019). Using high-spatiotemporal thermal satellite ET retrievals for operational water use and stress monitoring in a California vineyard. *Remote Sensing*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/rs11182124>
- [22] Coleman, R. W., Stavros, N., Hulley, G., & Parazoo, N. (2020). Comparison of thermal infrared-derived maps of irrigated and non-irrigated vegetation in urban and non-urban areas of southern California. *Remote Sensing*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/rs12244102>
- [23] Thomas, E. A., Kathuni, S., Wilson, D., Muragijimana, C., Sharpe, T., Kaberia, D., Macharia, D., Kebede, A., & Birhane, P. (2020). The Drought Resilience Impact Platform (DRIP): Improving Water Security Through Actionable Water Management Insights. *Frontiers in Climate*, 2. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.00006>
- [24] Antzoulatos, G., Mourtziou, C., Stournara, P., Kouloglou, I. O., Papadimitriou, N., Spyrou, D., Mentes, A., Nikolaidis, E., Karakostas, A., Kourtesis, D., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2020). Making urban water smart: The SMART-WATER solution. *Water Science and Technology*, 82(12). <https://doi.org/10.2166/wst.2020.391>
- [25] Ooi, L., Okazaki, K., Arias-Barreiro, C. R., Heng, L. Y., & Mori, I. C. (2020). Application of the cellular oxidation biosensor to Toxicity Identification Evaluations for high-throughput toxicity assessment of river water. *Chemosphere*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125933>
- [26] Carminati, M., Turolla, A., Mezzera, L., di Mauro, M., Tizzoni, M., Pani, G., Zanetto, F., Foschi, J., & Antonelli, M. (2020). A self-powered wireless water quality sensing network enabling smart monitoring of biological and chemical stability in supply systems. *Sensors (Switzerland)*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/s20041125>
- [27] Noguera, M., Millán, B., Pérez-Paredes, J. J., Ponce, J. M., Aquino, A., & Andújar, J. M. (2020). A new low-cost device based on thermal infrared sensors for olive tree canopy temperature measurement and water status monitoring. *Remote Sensing*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/rs12040723>
- [28] Wang, E., Attard, S., Linton, A., McGlinchey, M., Xiang, W., Philippa, B., & Everingham, Y. (2020). Development of a closed-loop irrigation system for sugarcane farms using the Internet of Things. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105376>
- [29] Modiegi, M., Rampedi, I. T., & Tesfamichael, S. G. (2020). Comparison of multi-source satellite data for quantifying water quality parameters in a mining environment. *Journal of Hydrology*, 591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125322>
- [30] Nie, X., Fan, T., Wang, B., Li, Z., Shankar, A., & Manickam, A. (2020). Big Data analytics and IoT in Operation safety management in Under Water Management. *Computer Communications*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.052>
- [31] Yang, C. Y., Yang, M. der, Tseng, W. C., Hsu, Y. C., Li, G. S., Lai, M. H., Wu, D. H., & Lu, H. Y. (2020). Assessment of rice developmental stage using time series uav imagery for variable irrigation management. *Sensors (Switzerland)*, 20(18). <https://doi.org/10.3390/s20185354>
- [32] Cucho-Padin, G., Rinza, J., Ninanya, J., Loayza, H., Quiroz, R., & Ramírez, D. A. (2020). Development of an open-source thermal image processing software for improving irrigation management in potato crops (*Solanum tuberosum* L.). *Sensors (Switzerland)*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/s20020472>
- [33] McLamore, E. S., Huffaker, R., Shupler, M., Ward, K., Datta, S. P. A., Katherine Banks, M., Casaburi, G., Babilonia, J., & Foster, J. S. (2020). Digital Proxy of a Bio-Reactor (DIYBOT) combines sensor data and data analytics to improve greywater treatment and wastewater management systems. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64789-5>
- [34] Tavan, M., Wee, B., Brodie, G., Fuentes, S., Pang, A., & Gupta, D. (2021). Optimizing Sensor-Based Irrigation Management in a Soilless Vertical Farm for Growing Microgreens. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.622720>
- [35] Rashid, M. M., Nayan, A. A., Rahman, M. O., Simi, S. A., Saha, J., & Kibria, M. G. (2021). IoT based Smart Water Quality Prediction for Biofloc Aquaculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120608>
- [36] Kelechi, A. H., Alsharif, M. H., Anya, A. C. E., Bonet, M. U., Uyi, S. A., Uthansakul, P., Nebhen, J., & Aly, A. A. (2021). Design and Implementation of a Low-Cost Portable Water Quality Monitoring System. *Computers, Materials and Continua*, 69(2). <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.018686>
- [37] de Figueiredo, T., Royer, A. C., Fonseca, F., Schütz, F. C. de A., & Hernández, Z. (2021). Regression models for soil water storage estimation using the ESA CCI satellite soil moisture product: A case study in northeast Portugal. *Water (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010037>
- [38] Machakaire, A. T. B., Steyn, J. M., & Franke, A. C. (2021). Assessing evapotranspiration and crop coefficients of potato in a semi-arid climate using Eddy Covariance techniques. *Agricultural Water Management*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107029>
- [39] Foschi, J., Turolla, A., & Antonelli, M. (2021). Soft sensor predictor of E. coli concentration based on conventional monitoring parameters for wastewater disinfection control. *Water Research*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116806>
- [40] Mira-García, A. B., Vera, J., Conejero, W., Conesa, M. R., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2021). Evapotranspiration in young lime trees with automated irrigation. *Scientia Horticulturae*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110396>
- [41] Rose, L., Mary, X. A., & Karthik, C. (2021). Integration of sensors for dam water quality analysis – A prototype. *Water Science and Technology*, 84(10–11). <https://doi.org/10.2166/wst.2021.246>
- [42] Singh, R., Baz, M., Gehlot, A., Rashid, M., Khurana, M., Akram, S. V., Alshamrani, S. S., & Alghamdi, A. S. (2021). Water quality monitoring and management of building water tank using industrial internet of things. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158452>
- [43] Masoud, A. A. (2022). On the Retrieval of the Water Quality Parameters from Sentinel-3/2 and Landsat-8 OLI in the Nile Delta's Coastal and Inland Waters. *Water (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/w14040593>
- [44] Ali, A. S., Abdelmoez, M. N., Heshmat, M., & Ibrahim, K. (2022). A solution for water management and leakage detection problems using IoTs based approach. *Internet of Things (Netherlands)*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100504>
- [45] Mezni, H., Driss, M., Boulila, W., Atitallah, S. ben, Sellami, M., & Alharbi, N. (2022). SmartWater: A Service-Oriented and Sensor Cloud-Based Framework for Smart Monitoring of Water Environments. *Remote Sensing*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/rs14040922>
- [46] Ntalaperas, D., Christophoridis, C., Angelidis, I., Iossifidis, D., Touloupi, M. F., Vergeti, D., & Politi, E. (2022). Intelligent Tools to Monitor, Control and Predict Wastewater Reclamation and Reuse. *Sensors*, 22(8). <https://doi.org/10.3390/s22083068>
- [47] Verma, G. (2022). Low Cost Smart Ground System for Rainwater Harvesting for Indian Houses using IoT Technology. *Wireless Personal Communications*, 126(4). <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09866-w>
- [48] Shim, K., Berretini, E., & Park, Y. G. (2022). Smart Water Solutions for the Operation and Management of a Water Supply System in Aracatuba, Brazil. *Water (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/w14233965>
- [49] Symros, E., Sidiropoulos, V., Bechtsis, D., Stergiopoulos, F., Aivazidou, E., Vrakas, D., Vezinias, P., & Vlahavas, I. (2023). An Intelligent Modular Water Monitoring IoT System for Real-Time Quantitative and Qualitative Measurements. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032127>
- [50] Addow, M. A., & Jimale, A. D. (2023). IoT-Based Real-Time Water Quality Monitoring for Sustainable Water Management: A Case Study in Somalia. *SSRG International Journal of Electronics and Communication*

- Engineering, 10(8), 170–175. <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V10I8P116>
- [51]Reynaert, E., Gretener, F., Julian, T. R., & Morgenroth, E. (2023). Sensor setpoints that ensure compliance with microbial water quality targets for membrane bioreactor and chlorination treatment in on-site water reuse systems. *Water Research X*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2022.100164>
- [52]Vandôme, P., Leauthaud, C., Moinard, S., Sainlez, O., Mekki, I., Zairi, A., & Belaud, G. (2023). Making technological innovations accessible to agricultural water management: Design of a low-cost wireless sensor network for drip irrigation monitoring in Tunisia. *Smart Agricultural Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100227>
- [53]Wanyama, J., Soddo, P., Nakawuka, P., Tumutegyeize, P., Bwambale, E., Oluk, I., Mutumba, W., & Komakech, A. J. (2023). Development of a solar powered smart irrigation control system Kit. *Smart Agricultural Technology*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100273>
- [54]Tzerakis, K., Psarras, G., & Kourgialas, N. N. (2023). Developing an Open-Source IoT Platform for Optimal Irrigation Scheduling and Decision-Making: Implementation at Olive Grove Parcels. *Water (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/w15091739>
- [55]Bhatti, S., Heeren, D. M., O’Shaughnessy, S. A., Neale, C. M. U., LaRue, J., Melvin, S., Wilkening, E., & Bai, G. (2023). Toward automated irrigation management with integrated crop water stress index and spatial soil water balance. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10038-4>
- [56]Katimbo, A., Rudnick, D. R., Zhang, J., Ge, Y., DeJonge, K. C., Franz, T. E., Shi, Y., Liang, W. zhen, Qiao, X., Heeren, D. M., Kabenge, I., Nakabuye, H. N., & Duan, J. (2023). Evaluation of artificial intelligence algorithms with sensor data assimilation in estimating crop evapotranspiration and crop water stress index for irrigation water management. *Smart Agricultural Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100176>
- [57]Seo, J., Rho, P., & Bae, H. K. (2023). Estimations for Water Quality Factors of Kumho River, South Korea, using Remote Sensing Technology. *Environmental Engineering Research*, 28(5). <https://doi.org/10.4491/eer.2022.368>
- [58]Zeng, Y. F., Chen, C. T., & Lin, G. F. (2023). Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan. *Agricultural Water Management*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108216>
- [59]Bogdan, R., Paliuc, C., Crisan-Vida, M., Nimara, S., & Barmayoun, D. (2023). Low-Cost Internet-of-Things Water-Quality Monitoring System for Rural Areas. *Sensors*, 23(8). <https://doi.org/10.3390/s23083919>