

## **Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado**

### **A review of implementation processes for automated irrigation systems**

Ebner Smith Medina Carrasco

[ebnersmith17@gmail.com](mailto:ebnersmith17@gmail.com)

Marco Antonio Coral Ygnacio

[mcoral@ucss.edu.pe](mailto:mcoral@ucss.edu.pe)

## RESUMEN

La agricultura es un pilar fundamental en la economía de muchos países, para lograrlo se debe tener en cuenta la inversión en tecnología y los factores que hacen posible su desarrollo. Los sistemas de riego automatizado facilitan la labor de los agricultores, mejorando la economía y el estilo de vida de las personas. El objetivo del presente trabajo es determinar las tecnologías y técnicas más importantes a ser utilizados para la construcción de sistemas de riego automatizado, para ello se realiza una revisión sistemática de literatura utilizando el método SALSA que describe el proceso en cinco pasos, se utilizó las bases de datos IEEE Xplore y Science Direct, se hizo el análisis cuantitativo de la muestra seleccionada, identificando las técnicas y tecnologías más utilizadas en estos procesos, además se determinó la problemática existente a partir de un análisis cualitativo, identificándose factores que deben ser tomados en cuenta en estas implementaciones.

**Palabras clave:** Sistemas de riego automatizado, análisis cuantitativo, análisis cualitativo, tecnologías y técnicas, Salsa, factores.

## ABSTRACT

Agriculture is a fundamental pillar in the economy of many countries. To achieve this, investment in technology and the factors that make its development possible must be taken into account. Automated irrigation systems facilitate the work of farmers, improving the economy and lifestyle of people. The objective of this work is to determine the most important technologies and techniques to be used for the construction of automated irrigation systems, for this a systematic literature review is carried out using the SALSA method that describes the process in five steps, the bases were used of IEEE Xplore and Science Direct data, a quantitative analysis of the selected sample was made, identifying the techniques and technologies most used in these processes, in addition, the existing problems were determined from a qualitative analysis, identifying factors that should be taken into account in these implementations.

**Keywords:** Automated irrigation systems, quantitative analysis, qualitative analysis, technologies and techniques, Salsa, factors.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los pilares de la economía en países subdesarrollados, sin embargo, para lograr un manejo óptimo es necesario la utilización de tecnología (Cabarcas et al., 2019). En la actualidad el riego manual no es eficiente, el desperdicio de agua y el exceso de humedad dificultan el crecimiento del cultivo y genera pérdidas en las cosechas (Vijay et al., 2020), una alternativa para mejorar las condiciones de los cultivos es el uso de la tecnología. En este contexto el riego automatizado aparece como la mejor opción (Nageswara Rao & Sridhar, 2018), funciona mediante maquinarias que permiten la automatización del proceso y disminuyen la carga laboral de los agricultores (Rani et al., 2019), es importante debido al impacto generado en el sector (Vijay et al., 2020).

Los sistemas de riego automatizado son necesarios para garantizar una buena productividad y seguridad alimenticia (Abioye et al., 2020), para su realización se utilizan diferentes tecnologías, tales como: sensores (Waleed et al., 2019), IoT (Mulenga et al., 2018; Padalalu et al., 2017), Machine Learning (Singh et al., 2019), LoRa (Mohammed et al., 2019), entre otros, este estudio busca determinar los principales métodos, técnicas y tecnologías que se utilizan en su construcción para ello se realiza una revisión sistemática de literatura utilizando las bases de datos de Science Direct e IEEE Xplore, se obtuvieron 54 artículos referentes al tema, se realiza el análisis correspondiente identificando además problemas y factores a tomar en cuenta para su construcción.

## 2. Sistema de riego automatizado

Se entiende que un sistema de riego automatizado es la combinación de hardware y software, tiene como objetivo optimizar el proceso de regadío según las condiciones y especificaciones del cultivo, siendo utilizado en lugares en donde la falta de agua perjudica el correcto crecimiento y producción de los cultivos (Singhal et al., 2019). El hardware utilizado en los últimos años se describen como sensores de tipo Arduino de temperatura y humedad (Kodali & Sarjerao, 2017), también se utiliza herramientas con tecnología LoRa (Mohammed et al., 2019), además utilizan bombas de agua, electricidad o paneles solares (Reghukumar & Vijayakumar, 2019; Waleed et al., 2019), que pueden ser implementados mediante IoT (Shrivastava & Rajesh, 2018; Wakhare et al., 2020), Machine Learning (Divya Dhatri et al., 2019; Mekonnen et al., 2019), entre otros. Respecto al tipo de riego automatizado se distinguen dos tipos; Riego por goteo y Riego por aspersión.

### 2.1. Riego por goteo

El riego por goteo es el más efectivo e implementado alrededor del mundo, permite conducir el agua mediante una red de tuberías, distribuyéndose por toda la parcela en pequeños volúmenes de agua en forma periódica (Chavda et al., 2018; Math et al., 2019).

Este es el sistema de riego en el cual implica unir la extensión de una parcela con líneas de riego que abastecen cada una de las plantas, goteando agua en un bucle constante y lento, es un método eficaz debido a que permite hidratar y nutrir directamente las plantas sin tener que regar de forma manual la superficie de la parcela. Además, distribuye y optimiza de forma eficiente el recurso hídrico (Bhattacharya et al., 2021; Chavda et al., 2018), su funcionamiento se asocia al uso de tuberías con orificios de diámetro fijo de modo que el agua llega a través de los orificios al cultivo, este tipo de sistemas es costoso, pero se compensa con la reducción del desperdicio de agua (Chavda et al., 2018; Patil et al., 2019).

#### 2.1.1. Riego por aspersión

El riego por aspersión tiene un efecto similar al de la lluvia, su rango de riego es más extenso, siendo eficiente para algunos cultivos, por lo general verduras o cultivos de rápido crecimiento (Mohamad Jaafar et al., 2019; Shilpa et al., 2019), en estas soluciones se utilizan una variedad de aspersores que rocían agua de manera pareja y temporizada a lugares específicos de la parcela, cubriendo grandes áreas en poco tiempo (Bhattacharya et al., 2021). Para su funcionamiento, los rociadores se instalan previa evaluación al área de la parcela y se unen a las tuberías, las cuales están distribuidas por todo el campo, el agua se distribuye mediante las tuberías que a su vez se comunican con los aspersores, estos sistemas requieren tuberías adicionales, los cuales involucran costos adicionales (Patil et al., 2019).

## **2.2. IoT aplicado a riego automatizado**

IoT (Internet of Things) puede entenderse como el proceso de interconexión de dispositivos electrónicos (sensores, objetos domésticos, ropa, prendas, artículos personales, etc.) a Internet, mediante diferentes medios, red cableada, vía Wifi, redes de radiofrecuencia u otros (Abioye et al., 2020). El IoT en la agricultura se está expandiendo rápidamente, combinando software y hardware que ofrecen soluciones óptimas en el control de riego (Abioye et al., 2020), estos sistemas pueden utilizar una variedad de sensores siendo los más utilizados los de temperatura, humedad del suelo y humedad del ambiente (Cabarcas et al., 2019), debido a que se necesitan los datos recogidos para la construcción de la lógica que hará funcionar al sistema y ayudará a la toma de decisiones del mismo (Math et al., 2019; Rudy Hendrawan et al., 2019; Wakhare et al., 2020). Genera beneficios en el control del proceso, reduce la carga laboral de los agricultores y optimiza el proceso (Cabarcas et al., 2019), también se cuenta entre sus beneficios el monitoreo, debido a que permite que el usuario pueda controlar el sistema desde el lugar donde se encuentre y a cualquier hora (Abioye et al., 2020), se puede conocer la variación de las variables medioambientales tales como la temperatura, la humedad del ambiente y el suelo, para mejorar la toma de decisiones del sistema (Cabarcas et al., 2019), además el uso de IoT ayuda a la reducción del costo de operación y mejora la productividad tanto en la agricultura como en las actividades que realiza el usuario (Math et al., 2019). También, se puede fusionar con las redes neuronales artificiales, estas son utilizadas para el análisis y la generación de resultados con mucha precisión y el poder analizar grandes cantidades de datos de una forma muy rápida, de esta manera el sistema sería totalmente automatizado, sabiendo los sectores que tiene que regar, que dispositivos usará y disminuyendo en su totalidad la actividad humana (Aggarwal & Kumar, 2019).

## **2.3. Edge Computing aplicado a riego automatizado**

El concepto de Edge Computing puede ser utilizado como aquel método que ayuda a prevenir los retrasos de comunicación y desconexión entre los diferentes artefactos electrónicos conectados. Este enfoque de la inteligencia ayuda al procesamiento de datos de los sistemas de riego, entrelazando los datos recogidos y la nube (Gutierrez et al., 2014). Por lo general se apoya en sensores de temperatura y humedad del suelo, todos estos repartidos en el campo de cultivo. De esta manera, al tener una computadora en el campo de cultivo puede prevenir diferentes fallas en el sistema (Shi et al., 2016). Si bien es cierto, es un enfoque muy usado, tiene ciertas desventajas, tales como, la falta de energía en las parcelas puede ser una limitación para la implementación de este sistema, también otro factor que puede afectar al sistema es el poco conocimiento por parte de los agricultores para manejar los artefactos puestos en la parcela (Kawai & Mineno, 2020).

## **3. MATERIALES Y METODOS**

### **3.1. Diseño de la investigación**

Este trabajo de investigación utiliza el framework SALSA (Valoración, Síntesis y Análisis) (Grant & Booth, 2009), buscando garantizar la precisión metodológica, sistematización, y reproducibilidad (Mengist et al., 2020) del tema, diferentes trabajos (De Pace et al., 2020; Díaz De León Guillén et al., 2020; Fernández del Amo et al., 2018) aplican el framework a fin de reducir los riesgos relacionados con la publicación y aumentar la aceptabilidad de la obra. El primer paso es el Protocolo, seguido de la Búsqueda, el tercer paso es la Evaluación, continuando con la Síntesis, y finalmente se realiza el análisis.

### 3.1.1. Protocolo.

Para determinar los objetivos de la investigación utilizamos el framework PICOC (Población, Intervención, Comparación, Resultados y Contexto) (Grant & Booth, 2009), el cual es una estructura formal para descomponer las preguntas de investigación (Fernández del Amo et al., 2018) . Además, de ayudar a afinar los objetivos de la revisión sistemática de literatura. Las preguntas refinadas se presentan a continuación:

Q1. ¿Qué métodos, técnicas y modelos son los más utilizados en el proceso de riego automatizado?

Q2. ¿Cuáles son los problemas más recurrentes en la implementación de un sistema de riego automatizado?

Q3. ¿Qué maquinaria, dispositivos electrónicos han dado soluciones óptimas en los sistemas de riego automatizado?

CONCEPTO	APLICACIÓN
POBLACION	Técnicas, métodos para los sistemas de riego automatizado.
INTERVENCION	Herramientas y técnicas que se usan en los sistemas de riego automatizado.
COMPARACION	Diferencias entre las distintas técnicas, métodos existentes.
RESULTADOS	Indicadores de desempeño cualitativo y cuantitativo.
CONTEXTO	Técnicas que tienen mayor dominio en la construcción de un sistema de riego automatizado.

**Tabla 1.** Marco PICOC utilizado para la revisión sistemática de literatura.

### 3.1.2. Búsqueda

La búsqueda consiste en la identificación de las fuentes de información que se utilizan en la investigación. Para que pueda realizarse, fue necesario identificar primero las bases de datos y luego recuperarlas, esto se dividió en dos pasos: estrategia de búsqueda y entrega. El paso de la estrategia de búsqueda tiene como objetivo principal la identificación de las bases de datos de búsqueda y definición de la cadena de búsqueda, la definición de la cadena de búsqueda se basó en lo identificado para la población en el Marco PICOC. También se realizó una lista de base de datos y cadena de búsqueda siguiendo la recomendación de trabajos similares (Fernández del Amo et al., 2018).

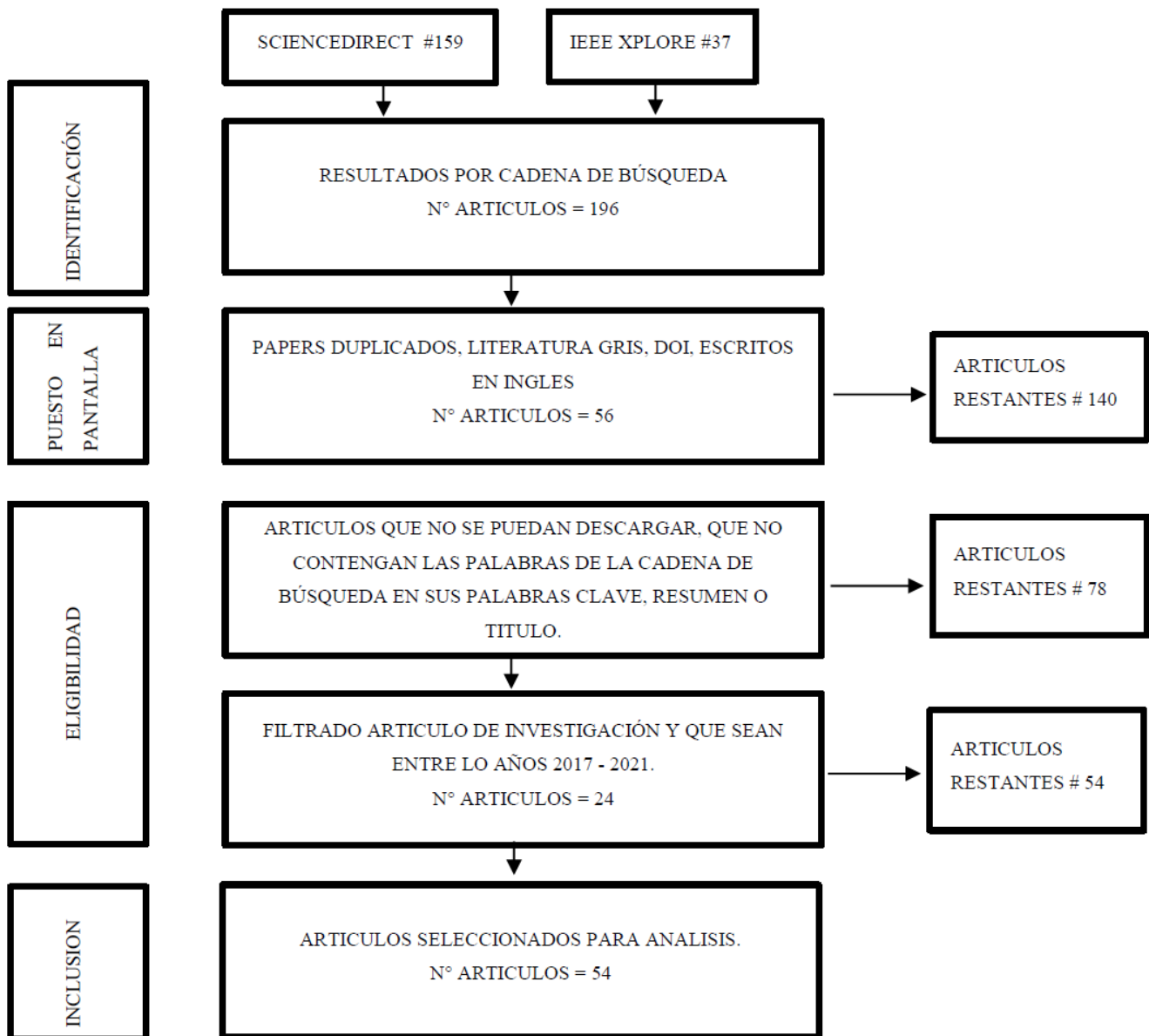
- Base de datos usadas: ScienceDirect y IEEE Xplore.
- Cadena de búsqueda: ("irrigation system") AND ("sensors") AND ("agriculture") AND ("method" OR "technique").

### 3.1.3. Evaluación

La evaluación es la fase en la que se evalúan los artículos seleccionados para el trabajo de revisión. La selección de estudios implica la identificación de artículos relevantes para el trabajo de revisión, se aplican criterios de inclusión y exclusión, los artículos que cumplan con los criterios de inclusión se seleccionan para una mayor investigación y evaluación de su contenido. Los criterios de inclusión y exclusión se presentan en la Tabla 2.

CRITERIO	DECISION
Las palabras clave predefinidas existen en el título, palabras clave o la sección de resumen del artículo.	Inclusión
El artículo publicado en una revista científica revisada por pares.	Inclusión
El artículo debe estar escrito en inglés.	Inclusión
Los artículos abordan al menos un indicador de un sistema de riego automatizado.	Inclusión
Artículos que están duplicados dentro de los documentos de búsqueda.	Exclusión
Artículos que no son accesibles, artículos de revisión y metadatos	Exclusión
Artículos que no son investigación primaria/original	Exclusión
Artículos que se publicaron antes de 2017	Exclusion

**Tabla 2.** Criterios de Inclusión y exclusión. Elaboración Propia.



**Figura. 1.** Proceso general de selección y búsqueda. Adaptado de (Moher et al., 2009)

Los procesos generales de selección y el flujo de selección de la literatura relevante se presentan en la Figura 1. En la etapa inicial, se encontraron 196 registros (159 de ScieDirect y 37 de IEEE Xplore), se procede a excluir los artículos considerados como literatura gris, artículos sin DOI, artículos duplicados y aquellos que no cumplen la restricción del idioma, quedando 140 artículos para seguir revisando. Se eliminan artículos que no tengan en su contenido, título o palabras clave la cadena de búsqueda definida, quedando solo 78 artículos. Finalmente se filtra por antigüedad, quedando 54 artículos que cumplen con los criterios de inclusión definidos.

### 3.1.4. Síntesis

La etapa de síntesis muestra los resultados a detalle después del filtrado de artículos del paso anterior, la síntesis se elabora en una hoja de cálculo de Excel a fin de procesar los datos correspondientes (Fernández del Amo et al., 2018). La tabla 3 resume lo realizado.

<b>Artículos seleccionados</b>	
<b>Criterio</b>	<b>Cantidad de artículos</b>
<b>Artículos por cadena de búsqueda</b>	<b>196</b>
Paper duplicados	10
Escritos en español	12
No cuentan con DOI	15
Literatura gris	19
Artículos de pago	42
No contienen palabras claves	20
Artículos que no se encuentran entre los años 2017 - 2021	24
<b>Sub Total</b>	<b>142</b>
<b>Total artículos seleccionados para la investigación</b>	<b>54</b>

**Tabla 3.** Síntesis de artículos. Elaboración Propia

### 3.1.5. Análisis

En este paso se realiza el análisis cuantitativo y cualitativo de los artículos seleccionados para la investigación.

#### 3.1.5.1. Análisis Cuantitativo

La tabla siguiente muestra la cantidad de artículos y citas realizadas en los últimos 5 años, se observa que el año 2019 hay una mayor producción de artículos y a la vez son los que tienen mayor cantidad de citas, esto puede indicar una mayor relevancia en dichos trabajos, el año 2020 contiene solo 10 artículos con 56 citas, en el 2021 se encuentra la menor cantidad de artículos y citas.

Cantidad de citas y artículos por año		
Año	Citas	Cantidad de artículos
2017	50	8
2018	74	13
2019	80	22
2020	56	10
2021	1	1
Total	261	54

**Tabla 4.** Cantidad de citas y artículos por año. Elaboración Propia

La tabla 5 lista los 10 artículos con mayor cantidad de citas, se observa que los trabajos de (Mendes et al., 2019) y (Domínguez-Niño et al., 2020), son los más citados seguido de (Nageswara Rao & Sridhar, 2018).

Artículo	Citas
(Mendes et al., 2019)	28
(Domínguez-Niño et al., 2020)	24
(Nageswara Rao & Sridhar, 2018)	20
(Masseroni et al., 2018)	14
(Kodali & Sarjerao, 2017)	13
(Vij et al., 2020)	12
(Mekonnen et al., 2019)	11
(Vaishali et al., 2018)	10
(Sureephong et al., 2017)	10
(Al-Ali et al., 2020)	9

**Tabla 5.** Citas por artículo. Elaboración Propia.



La tabla 6 lista las 11 palabras claves que más se utilizan en los artículos seleccionados, se observa que IoT (Internet Of Things), Sensors, Irrigation system y Agriculture son las más recurrentes, esto evidencia la importancia de IoT en el tema de estudio.

Palabra clave	Frecuencia
IoT	25
Sensors	20
Irrigation system	21
Agriculture	16
Smart irrigation	7
arduino	7
Fuzzylogic	6
GSM	5
Machine Learning	4
Drip Irrigation	4
Solar	3

**Tabla 6.** Frecuencia de Palabras claves. Elaboración Propia.

El país que más ha publicado trabajos en el tema es la India, con 32 artículos, mientras que Italia solo tiene 1, se puede deducir que el tema es de Interés en la India, se observa que dos países latinoamericanos tienen un artículo sobre el tema (Colombia y Brasil), esto supone poco interés en Latinoamérica en el tema estudiado.

Países	Cantidad
India	32
Pakistán, Filipinas, Emiratos Árabes, España, Indonesia	2
Omán, Brasil, Reino Unido, Colombia, Nigeria, Zambia, Estados Unidos, Australia, Tailandia, Malasia, Montenegro, Italia	1

**Tabla 7.** Publicaciones por país. Elaboración Propia.

La tabla 8 hace un conteo de las tecnologías y técnicas utilizadas en la construcción de sistemas de riego automatizado, se identifica que IoT en combinación con sensores son los más utilizados en implementaciones de este tipo, todos los trabajos describen el uso de sensores en combinación con una técnica o tecnología específica, aunque algunos trabajos utilizan exclusivamente sensores sin ninguna técnica o tecnología como complemento, la tabla siguiente responde la primera pregunta de investigación.

Trabajos	Tecnología				Técnica		Dispositivos
	MQTT	IoT	GSM	Energía solar	Fuzzy logic	Machine learning	Sensores
(Abioye et al., 2020; Bhattacharya et al., 2021; Domínguez-Niño et al., 2020; Karpagam et al., 2020; Math et al., 2019; Meher et al., 2019; Mishra et al., 2018; Mohammed et al., 2019; Nageswara Rao & Sridhar, 2018; Premkumar et al., 2018; Rajendrakumar et al., 2019; Ramachandran et al., 2018; Rani et al., 2019; Ranjith et al., 2017; Rau et al., 2017; Savić & Radonjic, 2018; Singhal et al., 2019; Sureephong et al., 2017; Thakare & Bhagat, 2019; Vaishali et al., 2018; Vijay et al., 2020; Wakhare et al., 2020; Zavala et al., 2020)		X					X
(Shilpa et al., 2019; Singh et al., 2019; Vij et al., 2020)		X				X	X
(Masseroni et al., 2018; Ocampo & Dadios, 2017; Rudy Hendrawan et al., 2019)				X			X
(Mendes et al., 2019)					X		X
(Al-Ali et al., 2020; Cabarcas et al., 2019; Mekonnen et al., 2019)		X		X			X
(Kodali & Sarjerao, 2017)	X						X
(Mulenga et al., 2018; Rehman et al., 2017; Waleed et al., 2019)			X	X			X
(Mohanraj et al., 2018; Patil et al., 2019; Yashaswini et al., 2018; Zavala et al., 2020)			X				X
(Sagar et al., 2017; Srilikhitha et al., 2018)	X			X			X
(Alomar & Alazzam, 2019)		X			X		X
(Sudharshan et al., 2019)				X	X		X
(Al-Naji et al., 2021; Nandanwar et al., 2020; Reghukumar & Vijayakumar, 2019)						X	X
(Yashaswini et al., 2018)			X				X
(Caya et al., 2019; Divya Dhatri et al., 2019; Giri & Pippal, 2018; Komal Kumar et al., 2019; Mohamad Jaafar et al., 2019; Priandana & Wahyu, 2020)							X
(Shrivastava & Rajesh, 2018)			X			X	X

**Tabla 8.** Tecnologías y técnicas utilizadas. Elaboración Propia

### 3.1.5.2. Análisis Cualitativo

Este análisis detalla la problemática encontrada en las implementaciones de sistemas de riego automatizado, se toma como base la revisión del contenido de los artículos seleccionados para identificar los problemas recurrentes en las implementaciones.

(Nageswara Rao & Sridhar, 2018)	El Internet de las cosas aborda muchos beneficios y soluciones para las personas. En este estudio se hace hincapié en la dificultad para la conectividad requerida, teniendo que implementar otras herramientas para el correcto funcionamiento del sistema.
(Patil et al., 2019)	El abastecimiento de agua es indispensable para que los sistemas de riego automatizado puedan funcionar, el problema se puede presentar cuando no existe un abastecimiento suficiente para el correcto funcionamiento del mismo.
(Shilpa et al., 2019)	El bloqueo o daño de las boquillas y tuberías del sistema, debido a la diseminación de las sales que se encuentran dentro del agua, implica una revisión periódica de los mismos.
(Rehman et al., 2017)	Para un correcto funcionamiento de toda la maquinaria se necesita de energía eléctrica, la cual no está presente en todas las parcelas, por ello se debe optar a otras soluciones.

**Tabla 9.** Problemática identificada. Elaboración Propia.

La tabla 9 muestra los problemas desde la perspectiva de los autores, estos pueden ser ocasionados por la geografía de las parcelas, lo cual influye en la cantidad de agua con la que se abastece al sistema, se describe también la falta de energía eléctrica como base del funcionamiento de los dispositivos involucrados, las fallas de dispositivos debido a la solidificación del agua y la conectividad a internet como los más importantes.

Categorías		Factores problemáticos
Infraestructura Tecnológica	La infraestructura tecnológica dentro de un sistema de riego automatizado es de vital importancia esencialmente para aquellos que utilizan IoT para su construcción, de igual forma para aquellos que utilizan Machine Learning.	1. Acceso a Internet 2. Ancho de banda.
Aspectos Naturales	La naturaleza juega un papel importante en este tipo de sistemas de riego, el agua es el recurso principal para el funcionamiento del sistema, por tanto, se debe identificar las zonas de riesgo en caso de desastres naturales.	3. Sequías 4. Escases de agua 5. Acceso a las parcelas.
Infraestructura física	Muchas veces el agua se solidifica en las tuberías y eso causa la obstrucción de la infraestructura del sistema de riego (Shilpa et al., 2019). Por otro lado, la energía es de vital importancia, pero muchas veces por la distancia las parcelas no cuentan con energía eléctrica.	6. Mala calidad del equipamiento. 7. Cortes de energía eléctrica.

**Tabla 10.** Categorización y factores problemáticos. Elaboración Propia.

A partir de los problemas identificados, se definen 3 categorías de problemas Infraestructura tecnológica, Aspectos Naturales e Infraestructura física La tabla 10 muestra las categorías en las que se agrupan los problemas encontrados, a partir del mismo se definen factores problemáticos que deben ser tomados en cuenta en estas implementaciones, los factores acceso a Internet y ancho de banda son importantes para el control y monitoreo del sistema, la sequía, escases de agua y acceso a las parcelas influyen en el funcionamiento de los sistemas de riego automatizado, ya que los caudales de agua y la lógica definida se debe ajustar, respecto al acceso se debe considerar que las tareas de mantenimiento físico a los dispositivos podría ser restringida por tanto se debe considerar también, la mala calidad del equipamiento y los cortes de energía influyen en el funcionamiento del sistema ya que la performance de los actuadores y sensores puede estar comprometido, así como su funcionamiento.

#### **4. Análisis de los resultados**

Se trabajó una muestra de 54 artículos relacionados al tema de investigación, el año 2019 tiene la mayor cantidad de trabajos y citas sobre el tema, respecto a las palabras claves las más utilizadas son IoT y sensores, indicando su utilización en la mayoría de sistemas de este tipo. Respecto a las tecnologías y técnicas se puede afirmar que el IoT es la más utilizada en combinación con sensores, se destaca el uso de GSM (Arduino Open Source) en construcciones de este tipo. A partir los hallazgos descritos se pueden responder la primera pregunta de investigación.

En el análisis cualitativo, se determinan los problemas en procesos de implementación y los factores a tomar en cuenta antes de iniciar una implementación, con ello se obtienen las respuestas a la segunda pregunta de investigación, desprendiéndose del análisis que los sensores son los dispositivos más utilizados en sistemas de riego automatizado respondiendo con ello la tercera pregunta de investigación. El análisis seguido puede verificarse en el siguiente enlace

[https://drive.google.com/file/d/1htx2IIaeWvF3nDY\\_EjcfvdMB0pZRug3B/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1htx2IIaeWvF3nDY_EjcfvdMB0pZRug3B/view?usp=sharing)

#### **5. Conclusiones**

Se evidencia que el método SALSA optimiza el proceso de revisión sistemática de literatura, respecto a los hallazgos se concluye que toda implementación utiliza sensores que pueden ser de tipo GSM o seguir estándares de IoT, es vital para toda implementación garantizar el acceso a Internet y mantener un caudal regular a fin de mantener las condiciones mínimas del sistema.

Los sistemas de riego automatizado son alternativas viables de solución que pueden ayudar a mejorar los procesos de cultivos en cualquier zona, reduce la carga laboral del agricultor y favorece a mejorar su estilo de vida.

#### **6. Agradecimiento**

Al programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica Sede Sapientiae por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

## 7. Referencias

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., AbdRahman, M. K. I., Otuoze, A. O., Ramli, M. S. A., & Ijike, O. D. (2020). IoT-based monitoring and data-driven modelling of drip irrigation system for mustard leaf cultivation experiment. *Information Processing in Agriculture*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.004>
- Aggarwal, S., & Kumar, A. (2019). A Smart Irrigation System to Automate Irrigation Process Using IOT and Artificial Neural Network. *2nd International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2019 - Proceedings*, 310–314. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976631>
- Al-Ali, A. R., Nabulsi, A. Al, Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2020). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. *Journal of Electronic Science and Technology*, 30(40), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.JNLEST.2020.100017>
- Al-Naji, A., Fakhri, A. B., Gharghan, S. K., & Chahl, J. (2021). Soil color analysis based on a RGB camera and an artificial neural network towards smart irrigation: A pilot study. *Heliyon*, 7(1), e06078. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06078>
- Alomar, B., & Alazzam, A. (2019). A Smart Irrigation System Using IoT and Fuzzy Logic Controller. *ITT 2018 - Information Technology Trends: Emerging Technologies for Artificial Intelligence*, 175–179. <https://doi.org/10.1109/CTIT.2018.8649531>
- Bhattacharya, M., Roy, A., & Pal, J. (2021). Smart irrigation system using internet of things. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 137, 119–129. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6198-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6198-6_11)
- Cabarcas, A., Arrieta, C., Cermeno, D., Leal, H., Mendoza, R., & Rosales, C. (2019). Irrigation system for precision agriculture supported in the measurement of environmental variables. *Proceedings - 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, 671–676. <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00125>
- Caya, M. V., Ballado, A., Rabino, E. M. C., & Anthony Delim, C. (2019). ET-Based Smart Irrigation System with irrigation postponement Algorithm for Lycopersicon Esculentum or Tomato plant. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2019*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9073417>
- Chavda, R., Kadam, T., Hattangadi, K., & Vora, D. (2018). Smart Drip Irrigation System using Moisture Sensors. *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology, ICSCET 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537377>
- De Pace, F., Manuri, F., Sanna, A., & Fornaro, C. (2020). A systematic review of Augmented Reality interfaces for collaborative industrial robots. *Computers and Industrial Engineering*, 149(September), 106806. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106806>
- Díaz De León Guillén, M. Á., Morales-Rocha, V., & Fernández Martínez, L. F. (2020). A systematic review of security threats and countermeasures in SaaS. *Journal of Computer Security*, 28(6), 635–653. <https://doi.org/10.3233/JCS-200002>

- Divya Dhatri, P. V. S., Pachiyannan, M., Jyothi Swaroopa Rani, K., & Pravallika, G. (2019). A Low-Cost Arduino based Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor: Design and Analysis. *2nd International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2019 - Proceedings*, 104–108. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976483>
- Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., & Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 228(October 2019), 105880. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105880>
- Fernández del Amo, I., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., Palmarini, R., & Onoufriou, D. (2018). A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications. *Computers in Industry*, 103, 47–71. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.007>
- Giri, M. B., & Pippal, R. S. (2018). Use of linear interpolation for automated drip irrigation system in agriculture using wireless sensor network. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS 2017, D*, 1599–1603. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389716>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Gutierrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gandara, M. A. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Karpagam, J., Merlin, I. I., Bavithra, P., & Kousalya, J. (2020). Smart Irrigation System Using IoT. *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, 1292–1295. <https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074201>
- Kawai, T., & Mineno, H. (2020). Evaluation environment using edge computing for artificial intelligence-based irrigation system. *Proceedings - 2020 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking, MSN 2020*, 214–219. <https://doi.org/10.1109/MSN50589.2020.00046>
- Kodali, R. K., & Sarjerao, B. S. (2017). A low cost smart irrigation system using MQTT protocol. *TENSYMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities*. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070095>
- Komal Kumar, N., Vigneswari, D., & Rogith, C. (2019). An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019*, 70–72. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728446>
- Masseroni, D., Moller, P., Tyrell, R., Romani, M., Lasagna, A., Sali, G., Facchi, A., & Gandolfi, C. (2018). Evaluating performances of the first automatic system for paddy irrigation in Europe. *Agricultural Water Management*, 201, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.019>

- Math, A., Ali, L., & Pruthviraj, U. (2019). Development of Smart Drip Irrigation System Using IoT. *2018 IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics, DISCOVER 2018 - Proceedings*, 126–130. <https://doi.org/10.1109/DISCOVER.2018.8674080>
- Meher, C. P., Sahoo, A., & Sharma, S. (2019). IoT based Irrigation and Water Logging monitoring system using Arduino and Cloud Computing. *Proceedings - International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking, ViTECoN 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ViTECoN.2019.8899396>
- Mekonnen, Y., Burton, L., Sarwat, A., & Bhansali, S. (2019). IoT Sensor Network Approach for Smart Farming: An Application in Food, Energy and Water System. *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601701>
- Mendes, W. R., Araújo, F. M. U., Dutta, R., & Heeren, D. M. (2019). Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Systems with Applications*, 124, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.043>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Mishra, D., Khan, A., Tiwari, R., & Upadhay, S. (2018). Automated Irrigation System-IoT Based Approach. *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*, 2018–2021. <https://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2018.8519886>
- Mohamad Jaafar, M. F., Hussin, H., Rosman, R., Kheng, T. Y., & Ja'afar Hussin, M. (2019). Smart cocoa nursery monitoring system using irt for automatic drip irrigation. *TSSA 2019 - 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications, Proceedings*, 108–113. <https://doi.org/10.1109/TSSA48701.2019.8985463>
- Mohammed, T. S., Khan, O. F., & Al-Bazi, A. (2019). A Novel Algorithm Based on LoRa Technology for Open-Field and Protected Agriculture Smart Irrigation System. *2019 2nd IEEE Middle East and North Africa COMMUNICATIONS Conference, MENACOMM 2019*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/MENACOMM46666.2019.8988583>
- Mohanraj, I., Gokul, V., Ezhilarasie, R., & Umamakeswari, A. (2018). Intelligent drip irrigation and fertigation using wireless sensor networks. *Proceedings - 2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2017, 2018-Janua*, 36–41. <https://doi.org/10.1109/TIAR.2017.8273682>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- Mulenga, R., Kalezhi, J., Musonda, S. K., & Silavwe, S. (2018). Applying Internet of Things in Monitoring and Control of an Irrigation System for Sustainable Agriculture for Small-Scale Farmers in Rural Communities. *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, 841–845. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8521025>
- Nageswara Rao, R., & Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018, Icisc*, 478–483. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118>
- Nandanwar, H., Chauhan, A., Pahl, D., & Meena, H. (2020). A Survey of Application of ML and Data Mining Techniques for Smart Irrigation System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2020*, 205–212. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183088>
- Ocampo, A. L. P. De, & Dadios, E. P. (2017). *2017 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) : 27-30 June 2017*.
- Padalalu, P., Mahajan, S., Dabir, K., Mitkar, S., & Javale, D. (2017). Smart water dripping system for agriculture/farming. *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2017, 2017-Janua*, 659–662. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2017.8226212>
- Patil, B., Gabhane, S. K., & Repal, S. S. (2019). Efficient automated irrigation system. *Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2018*, 682–687. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2018.8653697>
- Premkumar, A., Thenmozhi, K., Praveenkumar, P., Monishaa, P., & Amirtharajan, R. (2018). IoT Assisted Automatic Irrigation System using Wireless Sensor Nodes. *2018 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2018.8441209>
- Priandana, K., & Wahyu, R. A. F. (2020). Development of Automatic Plant Irrigation System using Soil Moisture Sensors for Precision Agriculture of Chili. *Proceeding - ICoSTA 2020: 2020 International Conference on Smart Technology and Applications: Empowering Industrial IoT by Implementing Green Technology for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1109/ICoSTA48221.2020.1570615896>
- Rajendrakumar, S., Parvati, V. K., & Rajashekarappa, R. (2019). An efficient irrigation system for agriculture. *Proceedings of the 2018 International Conference On Communication, Computing and Internet of Things, IC3IoT 2018*, 132–136. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668206>
- Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., & Srinivasan, S. (2018). An Automated Irrigation System for Smart Agriculture Using the Internet of Things. *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2018*, 210–215. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2018.8581221>
- Rani, D., Kumar, N., & Bhushan, B. (2019). Implementation of an Automated Irrigation System for Agriculture Monitoring using IoT Communication. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control, 2019-October*, 138–143. <https://doi.org/10.1109/ISPCC48220.2019.8988390>



- Ranjith, Anas, S., Badhusha, I., Ot, Z., Faseela, K., & Shelly, M. (2017). Cloud based automated irrigation and plant leaf disease detection system using an android application. *Proceedings of the International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2017, 2017-Janua*, 211–214. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2017.8212798>
- Rau, A. J., Sankar, J., Mohan, A. R., Das Krishna, D., & Mathew, J. (2017). IoT based smart irrigation system and nutrient detection with disease analysis. *TENSYMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070100>
- Reghukumar, A., & Vijayakumar, V. (2019). Smart Plant Watering System with Cloud Analysis and Plant Health Prediction. *Procedia Computer Science*, 165(2019), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.088>
- Rehman, A. U., Asif, R. M., Tariq, R., & Javed, A. (2017). Gsm based solar automatic irrigation system using moisture, temperature and humidity sensors. *2017 International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship, ICE2T 2017, 2017-Janua*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICE2T.2017.8215945>
- Rudy Hendrawan, I. N., Putu Yulyantari, L., Pradipta, G. A., & Bayu Starriawan, P. (2019). Fuzzy Based Internet of Things Irrigation System. *2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System, ICORIS 2019, 1(August)*, 146–150. <https://doi.org/10.1109/ICORIS.2019.8874900>
- Sagar, S. V., Kumar, G. R., Xavier, L. X. T., Sivakumar, S., & Durai, R. B. (2017). SISFAT: Smart irrigation system with flood avoidance technique. *ICONSTEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management, 2018-Janua*, 28–33. <https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261252>
- Savić, T., & Radonjić, M. (2018). WSN architecture for smart irrigation system. *2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology, IT 2018, 2018-Janua*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SPIT.2018.8350859>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Shilpa, A., Muneeswaran, V., & Devi Kala Rathinam, D. (2019). A Precise and Autonomous Irrigation System for Agriculture: IoT Based Self Propelled Center Pivot Irrigation System. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019*, 533–538. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728550>
- Shrivastava, A., & Rajesh, M. (2018). Automatic Irrigation System with Data Log Creation. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2018, Iccict*, 632–635. <https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473250>
- Singh, G., Sharma, D., Goap, A., Sehgal, S., Shukla, A. K., & Kumar, S. (2019). Machine Learning based soil moisture prediction for Internet of Things based Smart Irrigation System. *Proceedings of IEEE*

- International Conference on Signal Processing, Computing and Control, 2019-October*, 175–180.  
<https://doi.org/10.1109/ISPCC48220.2019.8988313>
- Singhal, A., Kohli, R., Dhamija, C., & Singh, N. (2019). RAIS - Remotely Accessible Irrigation System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018, Iccics*, 640–644. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8663181>
- Srilikhitha, I., Saikumar, M. M., Rajan, N., Neha, M. L., & Ganesan, M. (2018). Automatic irrigation system using soil moisture sensor and temperature sensor with microcontroller AT89S52. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2017, 2018-Janua(July)*, 186–190. <https://doi.org/10.1109/CSPC.2017.8305835>
- Sudharshan, N., Karthik, A. V. S. K., Kiran, J. S. S., & Geetha, S. (2019). Renewable Energy Based Smart Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 165(2019), 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.055>
- Sureephong, P., Wiangnak, P., & Wicha, S. (2017). The comparison of soil sensors for integrated creation of IOT-based Wetting front detector (WFD) with an efficient irrigation system to support precision farming. *2nd Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology 2017: Digital Economy for Sustainable Growth, ICDAMT 2017*, 132–135. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904949>
- Thakare, S., & Bhagat, P. H. (2019). Arduino-Based Smart Irrigation Using Sensors and ESP8266 WiFi Module. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018, Iccics*, 1085–1089. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8663041>
- Vaishali, S., Suraj, S., Vignesh, G., Dhivya, S., & Udhayakumar, S. (2018). Mobile integrated smart irrigation management and monitoring system using IOT. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2017, 2018-Janua*, 2164–2167. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286792>
- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., & Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 167(2019), 1250–1257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.440>
- Vijay, Saini, A. K., Banerjee, S., & Nigam, H. (2020). An IoT Instrumented Smart Agricultural Monitoring and Irrigation System. *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing, AISP 2020*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/AISP48273.2020.9073605>
- Wakhare, P. B., Neduncheliyan, S., & Sonawane, G. S. (2020). Automatic Irrigation System Based on Internet of Things for Crop Yield Prediction. *2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics, ESCI 2020*, 129–132. <https://doi.org/10.1109/ESCI48226.2020.9167626>
- Waleed, A., Riaz, M. T., Muneer, M. F., Ahmad, M. A., Mughal, A., Zafar, M. A., & Shakoor, M. M. (2019). Solar (PV) Water Irrigation System with Wireless Control. *RAEE 2019 - International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering*, 4, 1–4. <https://doi.org/10.1109/RAEE.2019.8886970>

Yashaswini, L. S., Vani, H. U., Sinchana, H. N., & Kumar, N. (2018). Smart automated irrigation system with disease prediction. *IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, ICPCSI 2017*, 422–427. <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392329>

Zavala, V., López-Luque, R., Reca, J., Martínez, J., & Lao, M. T. (2020). Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. *Applied Energy*, 260(December 2019), 114261. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114261>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.