



Sistema de monitoreo basado en IoT para la medición de calidad de agua de riego

IoT-based monitoring system for irrigation water quality measurement

Gamarra, Arturo H.¹; Taipei, José A.¹; Arellano, Mario A.¹;
Lozano, Yovany D.¹ y Suazo, Ángel C.¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Gamarra, A. H., Taipei, J. A., Arellano, M. A., Lozano, Y. D. y Suazo, Á. C. (2023). Sistema de monitoreo basado en IoT para la medición de calidad de agua de riego. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 31-39. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Siendo la agricultura en el Valle del Mantaro, una de las principales actividades económicas, tal como se indica en el Censo Nacional 2017, el sector agropecuario muestra la fortaleza agrícola de la región Junín, con una superficie agraria de 2 370 582.58 hectáreas y 120 mil 312 productores agropecuarios, donde la provincia de Huancayo concentra la mayor cantidad de productores superior a los 27 mil que constituye el 22.4% del total. Siendo una de las fuentes principales de riego las aguas del río Mantaro, tanto por la margen derecha y margen izquierda, y teniendo como un problema álgido la contaminación de sus aguas ocasionado por las empresas mineras metalúrgicas que emiten residuos de metales pesados y de las aguas residuales domésticas, teniendo un alto grado de turbidez, los cuales contaminan la producción de los productos agrícolas del Valle del Mantaro. Por otro lado, el incremento de la temperatura ocasionado por el cambio climático incrementa la temperatura de agua de riego mermando su rendimiento de la producción agrícola de diferentes cultivos, como son los cultivos de la región tales como: papa, zanahoria, alcachofa, quinua, maíz, trigo, habas, alverja, pastos y algunas hortalizas. El objetivo de la presente investigación es la de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en IoT para medir la temperatura del agua de riego, medir el potencial de hidrógeno (pH) y medir el NTU de la turbidez del agua de riego, para lo cual se construyó prototipos con la capacidad de medir estas variables.

Palabras clave: monitoreo, tiempo real, internet de las cosas, temperatura, potencial de hidrógeno, turbidez, IoT.

Abstract

Being agriculture in the Mantaro Valley, one of the main economic activities, as indicated in the 2017 National Census, the agricultural sector shows the agricultural strength of the Junín region, with an agricultural area of 2 370 582.58 hectares and 120 thousand 312 agricultural producers, where the province of Huancayo concentrates the largest number of producers over 27 thousand which constitutes 22.4% of the total. One of the main sources of irrigation is the waters of the Mantaro River, both on the right and left banks, and a major problem is water pollution caused by metallurgical mining companies that emit heavy metal waste and domestic wastewater, with a high degree of turbidity, which contaminates the production of agricultural products in the Mantaro Valley. On the other hand, the increase in temperature caused by climate change increases the temperature of irrigation water, reducing the yield of agricultural production of different crops such as potatoes, carrots, artichokes, quinoa, corn, wheat, beans, peas, pastures and some vegetables. The objective of this research is to implement a real-time monitoring system

based on IoT to measure the temperature of irrigation water, measure the hydrogen potential (pH) and measure the NTU of the turbidity of irrigation water, for which prototypes were built with the ability to measure these variables.

Keywords: monitoring, real time, internet of things, temperature, hydrogen potential, turbidity, IoT.

1 Introducción

Según el III Censo Nacional Agropecuario del Instituto Nacional de Estadística e Informática el sector agropecuario muestra la fortaleza agrícola de la región Junín, con una superficie agraria de 2 370 582.58 hectáreas y 120 mil 312 productores agropecuarios, donde la provincia de Huancayo concentra la mayor cantidad de productores superior a los 27 mil que constituye el 22,4% del total.

Siendo una de las fuentes principales de riego las aguas del río Mantaro, tanto por la margen derecha y margen izquierda, y teniendo como un problema álgido la contaminación de sus aguas ocasionado por las empresas mineras metalúrgicas que emiten residuos de metales pesados y de las aguas residuales domésticas, teniendo un alto grado de turbidez, los cuales contaminan la producción de los productos agrícolas del valle del Mantaro. [Ajith et al. \(2020\)](#) argumentan que la utilización de productos químicos perjudiciales en la industria y la agricultura provoca una grave contaminación del agua porque se vuelcan directamente en los ríos, lagos y estanques adyacentes sin ser tratados para separar toxinas y compuestos nocivos.

El incremento de la contaminación del agua viene afectando gravemente a la vida marina y sus hábitats; por otro lado, las personas sumidas en la pobreza que no tienen acceso a agua potable limpia se ven obligados a beber agua sin tratar, lo que los hace vulnerables a las enfermedades relacionadas con el agua que afectan su salud; así mismo, la evaporación acelerada de los estanques es causada por actividades humanas como la eliminación de aguas residuales y el escurrimiento de fertilizantes de las tierras agrícolas. Debido a la escasez de agua en diversos países, la gestión de este elemento vital es fundamental; así mismo, esta consideración también debe tenerse en cuenta para la agricultura ya que gran cantidad de agua es usada para este fin; por otro lado, los posibles efectos del calentamiento global exigen la consideración de la creación de medidas de adaptación hídrica para garantizar la disponibilidad de este vital elemento para la producción y consumo de elementos; en efecto, los estudios predestinados a ahorrar la utilización del agua en el proceso de riego se han

incrementado a lo largo de los años.

Dado la creciente contaminación del agua causada por la acción humana y los desastres naturales, los sistemas de monitoreo del agua es un punto de interés de la sociedad, y el surgimiento de la automatización representa un potencial para distintas aplicaciones relacionadas con el agua; así mismo, con el surgimiento del big data hoy en día se cuentan con diversas técnicas para los estudios relacionados con la calidad del agua, el riego inteligente y la red inteligente de distribución del agua, todo ello es posible si se disponen de datos precisos en tiempo real.

El Internet de las cosas (IoT) en la actualidad permite una mejor gestión de los cultivos, una gestión de recursos mucho más óptima, una agricultura con mayor rentabilidad, calidad y cantidad perfeccionadas, monitoreo de cultivo y de los campos entre otros beneficios; todo ello, gracias a la disponibilidad de los distintos sensores IoT entre los que destacan el sensor de temperatura del aire, el sensor de pH del suelo, el sensor de humedad del suelo, el sensor de turbidez del agua, el sensor de volumen de agua, etc.

Según el decreto supremo N° 015-2015-MINAM, indica en el numeral 22 del artículo 2 de nuestra constitución política se establece que toda persona tiene derecho a desarrollarse en un ambiente equilibrado. Y teniendo en cuenta el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas de manera particular y grupal, la preservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país. Teniendo en cuenta estos 2 ítems, el MINAM establece las precisiones de las Categorías de los estándares nacionales de la calidad del agua (ECA) para agua. Aquí se considera la categoría tres, Riego de vegetales y bebida de animales, y en la subcategoría D1 los parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto, donde se indica los parámetros del potencial de hidrógeno (pH) y la temperatura del

agua de riego.

El río Mantaro en su recorrido de norte a sur en la región Junín recibe considerables cantidades de agua residuales tanto de las empresas minero metalúrgicas como de las viviendas, por lo que se hace imprescindible monitorear sus aguas para su uso en las actividades agrícolas del Valle del Mantaro. Para monitorear los parámetros del agua de riego se utiliza las tecnologías inteligentes basado en Internet of Things (IoT) que permiten alcanzar este objetivo. En esta investigación se monitoreó los parámetros del agua de riego como la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH) y la turbidez, se consideraron 4 meses de monitoreo agosto, septiembre, octubre y noviembre, tres mediciones diarias en diferentes horarios, para lo cual se elaboró un prototipo que cuenta con sensores para este fin.

Dedkshath et al. (2018) publicaron el artículo titulado IoT Based Environmental Monitoring System using Arduino UNO and Thingspeak, en el que de manera general indican que, el cambio climático ha incrementado la importancia del monitoreo ambiental; así, para establecer la calidad del medio ambiente se hace imprescindible un seguimiento continuo de los parámetros ambientales; en tal sentido, para el desarrollo de esta investigación se ha considerado la tecnología IoT por ser la más emergente ya que la misma cumple un rol determinante en la recolección de información de la unidad de detección, la misma que se compone de distintos sensores como temperatura, humedad, etc., para este proyecto se ha utilizado un módulo Wi-Fi Arduino UNO que ha permitido el procesamiento y la transferencia de los datos detectados a la nube Thingspeak; de este modo, los parámetros admitidos se almacenaron en la plataforma en la nube (Thing habla); así mismo, los cambios en el medio ambiente han sido actualizados en forma de base de datos mediante el método de computación en la nube, la herramienta Thing Speak también posibilita una función para introducir un canal público que permite ser visto por cualquier usuario; finalmente también, se ha creado una aplicación Android que hizo posible el acceso directo a los parámetros medidos.

Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, señalan que en el Foro Económico Mundial se ha clasificado como un riesgo global a la crisis del agua potable debido a que, por día mueren aproximadamente 200 niños; así mismo, el solo hecho de beber agua no potable origina alrededor de

3 millones de muertes anualmente; por otro lado, a pesar de los avances tecnológicos se tienen dificultades para medir la calidad del agua porque son insuficientes las métricas utilizadas para este fin; en tal sentido y motivados por el problema expuesto anteriormente, han propuesto el desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del agua costo reducido que usa tecnologías recientes como el internet de las cosas, aprendizaje automático y computación en la nube que se presentan como una muy buena alternativa para reemplazar la forma convencional de monitoreo de la calidad del agua; ello con el fin de, evitar el padecimiento de enfermedades delicadas como fluorosis, deformidades óseas, etc. de los habitantes de las zonas rurales, este modelo también ha tenido la capacidad de controlar la temperatura del agua y calibrarla para adecuarse a la temperatura ambiente, de acuerdo al modelo elaborado se ha logrado una puntuación R-cuadrada de 0,933

Contreras et al. (2018) han publicado su artículo Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura, cuyo objetivo ha sido proponer el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de calidad del agua para la acuicultura basado en IoT y que ha sido construido utilizando el kit de desarrollo de bajo costo NodeMCU; así mismo, este sistema funcionando en modo de bajo consumo de energía ha mostrado la capacidad de recoger y proteger datos en una memoria micro-SD y transmitirlo mediante wifi (802.11 b/g/n) a un terminal de supervisión y monitoreo, las mediciones de los siguientes parámetros: 1) pH, 2) Oxígeno Disuelto (OD), 3) Temperatura del agua, 4) Nivel del agua, 5) Radiación solar, 6) Humedad relativa y 7) Temperatura del aire.

Este sistema ha sido probado en una estancia acuícola productora de cachamas y tilapia y los datos obtenidos se comprobaron con los adquiridos con procesos de medición normalizados de laboratorio a partir del cual se ha determinado que el sistema propuesto es robusto, confiable y sencillo de implementar a un costo reducido.

Dasgupta et al. (2019) han elaborado el artículo titulado Smart irrigation: IOT-based irrigation monitoring system, que detalla la ejecución de un proyecto que ha tenido como objetivo monitorear de manera autónoma los sistemas de riego en fincas grandes y pequeñas para eliminar los sistemas manuales asociados con problemas de responsabilidad individual y desconocimiento de los trabajadores del

campo; inclusive a veces, las personas con experiencia no pueden garantizar la cantidad de fertilizante o agua que deben usarse para lograr el máximo rendimiento; por lo tanto, el sistema propuesto en este proyecto controlará la temperatura, la humedad, la humedad del suelo y otros factores físicos, como la presencia de contaminantes primordiales en el aire, como PM2.5, PM10, CO, NOx; finalmente, los factores y el rendimiento del cultivo se han comparado con el conjunto de datos de encuestas preliminares y se ha intentado predecir si es necesario el riego o no, para que con la ayuda de dicha información, se determine la tasa de liberación de agua de las bombas y de esta manera se alimente a un sistema de micro-controlador que supervisa y controla el sistema de riego en su totalidad.

García et al. (2020) han publicado el artículo denominado IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture, en el que indican que los sensores comerciales típicos para sistemas de riego agrícola son considerablemente costosos, lo que impide que los pequeños agricultores implementen este tipo de sistema; sin embargo, en la actualidad se fabrican sensores de bajo costo que se pueden acoplar a nodos para implementar sistemas adecuados para la gestión del riego y el monitoreo de la agricultura; ello debido a que, el reciente desarrollo de las tecnologías IoT y WSN que tienen aplicación en estos tipos de sistemas, en este estudio se ha presentado una encuesta destinada a resumir el estado actual del arte referente a sistemas de riego inteligentes; del mismo modo, han determinado que los parámetros que se monitorean en los sistemas de riego están relacionados con la cantidad y calidad del agua, características del suelo y condiciones climáticas; también, han realizado una descripción general de los nodos y tecnologías inalámbricas más usados, detallando los retos y las mejores prácticas para la ejecución de sistemas de riego basados en sensores.

1.1 Tecnología de Internet de las Cosas (IoT)

Kamal et al. (2019) aseveran que, la tecnología IoT es utilizado en diversos campos de investigación para monitorear, recopilar y analizar datos desde ubicaciones remotas, así mismo indican que, a medida que aumenta la cantidad de datos, los procedimientos de monitoreo se convierten en importantes factores de decisión; de este modo, los sensores basados en Internet de las Cosas (IoT) pueden considerarse

una solución para el monitoreo efectivo de la calidad del agua.

El internet de las cosas se refiere a un nuevo tipo de mundo en el que casi todos los dispositivos y artefactos que utilizamos están conectados a una red; por lo tanto, se pueden usar juntos para realizar actividades complejas que requieren una gran inteligencia, para dicha inteligencia e interconexión, los dispositivos IoT se componen de sensores, actuadores, procesadores y transceptores integrados. PandaBhatnagar2020a confirman que el internet de las cosas (IoT) hace posible la conexión de varios objetos (ordenadores, móviles, sensores, coche, cámara, electrodomésticos, etc.), dicha interconexión se da gracias a los protocolos instaurados o determinados de Internet, con el fin de integrar múltiples tecnologías y analizarlos en tiempo real, permite también la compilación e intercambio de datos a través de una red sin el requerimiento de la interacción de persona a persona o de persona a computadora, todo ello con la finalidad de obtener una solución inteligente frente a cualquier problema.

1.2 Computación en la nube

La computación en la nube constituye un modelo para el acceso bajo demanda a un grupo compartido de recursos configurables (Ordenadores, servidores, redes, unidades de almacenamiento, aplicaciones, software, etc.); así mismo indican que, distintas aplicaciones del IoT necesitan de un gran almacenamiento de datos, elevada velocidad de procesamiento para alcanzar la toma de decisiones en tiempo real y redes de banda ancha de alta velocidad para la transferencia de datos, audio o vídeo; por lo que, señalan que la computación en la nube ofrece la solución ideal para el conducción de grandes flujos de datos y su respectivo procesamiento para una cantidad sin precedentes de unidades IoT y de personas en tiempo real.

La computación en la nube constituye un elemento esencial en IoT; de forma similar que una red de computadoras, la computación en la nube hace posible la reducción de los costos al extender los recursos existentes; entonces, la diferencia es que en la computación en la nube, una aplicación no ingresa directamente a estos recursos; de lo contrario, el ingreso es de forma indirecta mediante un servicio, que a su vez hace uso de los recursos físicos requeridos para proporcionar una respuesta a la aplicación; por otro lado dice que, el trabajo en la nube es pri-

mordial cuando las tareas requieren una potencia informática considerable; es decir, es la elección lógica cuando el tiempo para obtener información no es significativo.

1.3 Sensores

Karvinen y Karvinen (2014) manifiestan que, los sensores son dispositivos eléctricos que funcionan como elementos de entrada; pero, no todas las entradas son verdaderamente sensores; pero si, una considerable parte de las entradas emplean sensores; por ejemplo, el mouse, un teclado o el panel táctil de un ordenador, o inclusive una cámara web; no son sensores, pero evidentemente utilizan sensores en su diseño, además y de manera eventual, se puede considerar a los sensores como una unidad para medir un estímulo externo al sistema en el que se encuentra (su entorno), luego los datos de salida se basan en la medición.

Salazar y Silvestre (2017) arguyen que, los sensores constituyen unidades fundamentales en la arquitectura del Internet de las cosas, entre las primordiales características de estos dispositivos es que los datos que recopilan pueden ser admitidos a cientos de millas de distancia y su aplicación se presenta en varios sectores de la industria que van, desde la salud hasta la construcción; también, los sensores tienen una indudable ventaja de poder anticiparse a las necesidades de la humanidad en base a la información almacenada acerca de su entorno; asimismo, su inteligencia representada por un gran número de redes permite no sólo advertir sobre el entorno, sino también tomar decisiones sin la intervención del ser humano.

1.4 Medición de la Turbidez

Piamba-Mamian et al (2021) replica que Nephelometric Turbidity Unit (NTU) es la unidad de medición de la turbidez en un líquido y las unidades están dadas en mg/L o PPM (partes por millón). Un sensor de PH se usa para determinar la acidez o alcalinidad de la solución Loganathan et al. (2019); el pH es la concentración de iones de hidrógeno en la solución y que una solución que contiene más iones H^+ permanece ácida, mientras que la solución que contiene más iones OH^- permanece alcalina; así mismo, el valor de pH de las soluciones oscila entre 1 y 14, una solución con un valor de pH de 1 será muy ácida y con un valor de pH de 14 será muy básica; por otro lado,

la acidez y alcalinidad de cualquier solución depende de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidroxilo (OH^-) respectivamente.

Por otro lado, un sensor de turbidez se emplea para la evaluación del nivel de agua de ríos y arroyos, mediciones de eficiencia y aguas residuales, equipo de gestión de estanques de sedimentación, estudios de transporte de sedimentos también se hallan en centros de experimentos para realizar mediciones pertinentes (2019).

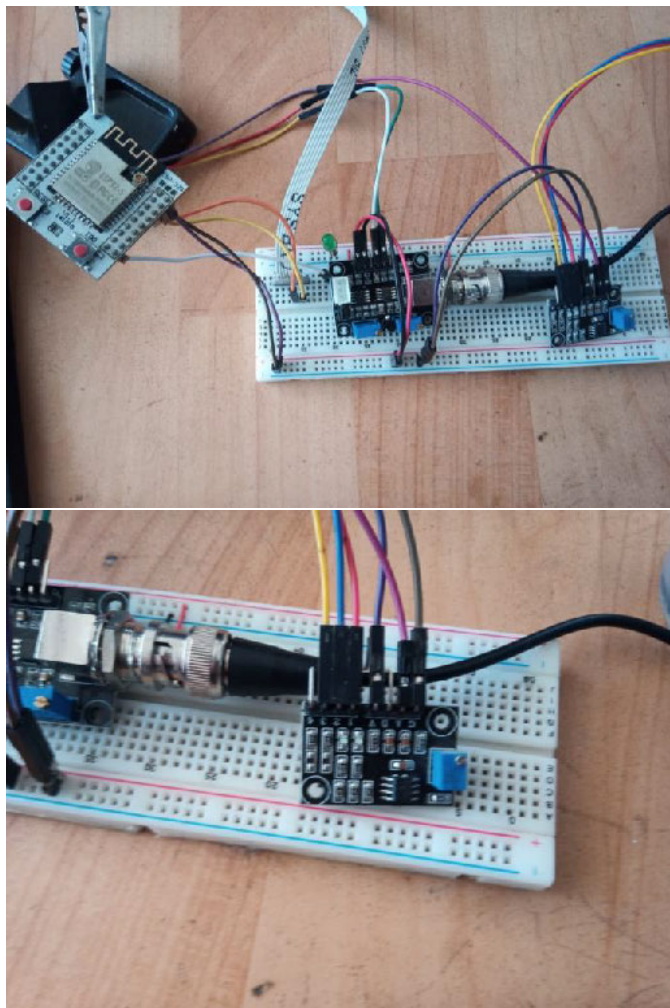
El Potencial de hidrógeno (pH) es una medida de la acidez es el potencial de hidrógeno (pH) e indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en ciertas soluciones, su medición se realiza mediante potenciometría a través de un electrodo conocido como medidor de pH; sin embargo, se pueden utilizar sensores multiparamétricos, estos dispositivos registran otras variables como la temperatura, el amoníaco y los niveles de oxígeno disuelto.

1.5 Análisis de agua para riego

Si el agua cumple con sus funciones básicas hacia la planta garantizando su rendimiento sin causar efectos perjudiciales, entonces se considera que es un agua de buena calidad para el riego agrícola; por lo tanto, la calidad del agua de riego está relacionada con los tres elementos: suelo-agua-planta, porque además de considerar el efecto sobre la nutrición de las plantas, también se considera el efecto de la calidad del agua sobre el equilibrio del suelo. Con respecto al pH dice que, el suelo con una elevada concentración de iones de hidrógeno [H^+] se considera ácido y el suelo con una baja concentración se considera alcalino (básico); así mismo afirma que, el pH del suelo suele encontrarse en el intervalo entre 4.0 y 9.0. Los suelos con un pH entre 6.0 y 7.5 causan menos problemas para las plantas debido a que, la solubilidad de los nutrientes de las plantas suele ser más alta en ese rango. Si el valor de pH se desvía de este rango, puede haber problemas con la asimilación de nutrientes. Luego concluye que, si el pH del agua es menor a 7,0 se considera ácida (posee una mayor concentración de iones H^+), si el pH es igual a 7,0 se considera neutro y, si el pH es mayor que 7,0 sería básico (la concentración de iones H^+ es menor); por otro lado, la medida del pH también depende de la relación suelo/agua, porque al incrementar la cantidad de pH en el agua se incrementa el pH del suelo. Moreno y Peñaranda (2016) citan a Leiva (2010) quien indica que el pH constituye una

Figura 1

Componentes Para Medición de Calidad del Agua de Riego



Ambos prototipos fueron construidos para realizar la medición de factores asociados a la calidad de agua de riego para el cultivo de papa; dichas mediciones se han realizado en tiempo real considerando 03 mediciones diarias comprendidas entre los meses de agosto y diciembre del año 2022; así mismo el resultado de cada medición de turbidez, pH y temperatura fueron enviados al servidor web conocido como “thingspeak.com” dichos resultados han sido posteriormente estudiados.

Para la construcción de los prototipos se han necesitado de la placa de desarrollo o DEVKIT V1 NodeMCU-32 que permite la elaboración de modelos físicos de manera inmediata de proyectos con internet de las cosas (IoT), como en esta investigación; asimismo, esta placa contiene una placa SoM ESP-WROOM-32 cuya base es el SoC ESP32, el convertidor USB-serial CP2102 imperioso para la programación mediante USB el ESP32, reguladores de voltaje y leds

indicadores; es preciso también señalar que, la plataforma ESP32 es el progreso del ESP8266 optimizando sus capacidades de comunicación y procesamiento computacional.

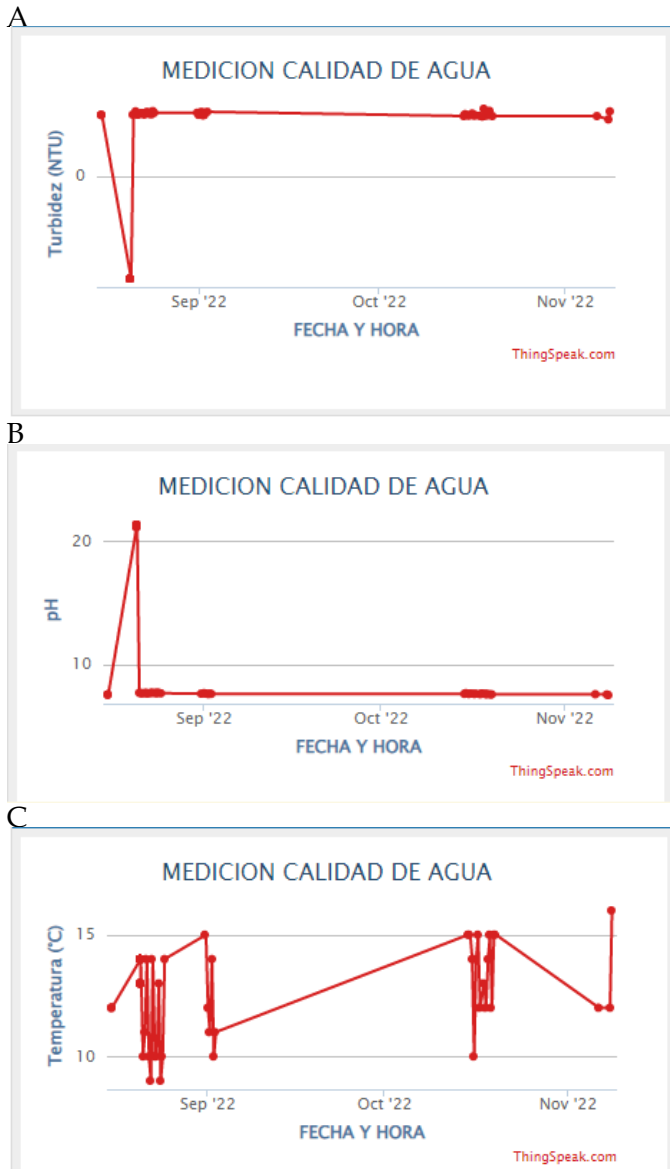
Con lo que respecta a la conectividad es posible considerar diversos protocolos de comunicación entre los que destacan: WiFi, Bluetooth y BLE; con respecto al procesamiento, la inclusión de su CPU 32-bit de dos núcleos de hasta 240Mhz le permite tener un control de forma independientemente; algo muy importante de esta plataforma es, la inclusión interna de una gran cantidad de periféricos para la conexión con: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C y su aplicación es muy diversa como en la implementación de Mini Servidores Web, Procesamiento digital, Webcams, Cámara IP, Robótica móvil, Domótica, etc

3 Resultados

3.1 Captura de datos de turbidez, pH y temperatura

Para la Captura de datos de turbidez, pH y temperatura del agua de riego en tiempo real se recurrió al entorno ThingSpeak donde se ha creado un canal, donde se ha realizado tres lecturas por día entre el 01 de agosto y el 03 de diciembre de 2022, el comportamiento de los datos se muestran en la figura

Figura 2
Comportamiento de Turbidez, pH y Temperatura del Agua de Riego



Nota. A) Turbidez, B) pH, C) Temperatura

Luego de la de datos de turbidez, pH y temperatura del agua de riego se organizaron los mismos de tal modo de que para cada uno de los factores asociados a la calidad de agua de riego considerando el promedio diario en cada caso.

3.2 Descripción de datos de turbidez, pH y temperatura

De acuerdo a los datos de la tabla 3, la turbidez del agua de riego se encuentra entre los valores de 2.4800 y 2.7867 NTU; así mismo, al tenerse una asimetría positiva se puede afirmar que la mayoría

de los valores son menores a la media de 2.6286; de igual modo, la concentración de los valores de la turbidez es ligeramente baja.

En cuanto al pH del agua de riego, se encontró valores entre 7.423 y 7.683; así mismo, al tenerse una asimetría negativa se puede afirmar que la mayoría de los valores del pH son mayores a la media que 7.592; de igual modo, la concentración de los valores de del pH es ligeramente elevada.

Por otra parte, la temperatura del agua de riego se encontró entre valores de 12.00 y 24.33°C; así mismo, al tenerse una asimetría positiva se puede afirmar que la mayoría de los valores de la temperatura son menores a la media que 14.74°C; de igual modo, la concentración de los valores de temperatura es ligeramente elevada.

Tabla 3
Descriptivos de Turbidez, pH y Temperatura

Estadístico	Turbidez	pH	Temperatura
Media	2.629	7.592	14.740
Error típico	0.007	0.005	0.270
Mediana	2.627	7.607	13.330
Moda	2.500	7.597	12.670
Desviación estándar	0.080	0.060	3.010
Varianza muestral	0.006	0.004	9.090
Curtosis	-1.038	0.740	0.090
Asimetría	0.143	-1.255	1.170
Rango	0.307	0.260	12.330
Mínimo	2.480	7.423	12.000
Máximo	2.787	7.683	24.330
Suma	328.580	948.948	1842.000

4 Discusiones

En concordancia con lo indicado por Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, esta investigación también ha considerado tecnologías asociadas al internet de las cosas y computación en la nube. Los valores de asimetría y concentración de datos obtenidos individualmente para los parámetros de turbidez, pH y temperatura nos indican que se tratan de variables que tienden a una distribución normal, lo cual deberían considerarse en otros estudios si así se requiere.

Los valores correspondientes al pH del agua de riego en todo momento se mantuvieron dentro de los límites recomendados según el Decreto Supremo No. 015-2015-MINAM (2015), la Categoría 3: Riego

de Vegetales para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA); por otro lado, teniendo en cuenta lo indicado por Loganathan et al. (2019) en su artículo titulado IoT based water and soil quality monitoring system, en esta investigación los valores obtenidos para el pH en todos los casos está comprendido entre 1 y 14; por lo tanto, se puede indicar que dichos valores han permitido tener la acidez y alcalinidad estables.

Otro estudio ha tenido en cuenta la temperatura del agua de riego como parámetro a ser medido ya que afecta de manera directa a la temperatura del suelo y de las plantas, cambiando su sistema térmico en función del sistema de riego, el tiempo de riego y el origen del agua empleada Heredia (2001); en esta investigación se ha observado, con respecto

a los valores de temperatura que en los meses de octubre a diciembre los valores monitoreados no se encontraban dentro del rango recomendado por Sanabria (2002) quien considera los valores de temperatura crítica y óptima para diferentes cultivos.

En base a lo expresado por Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, sería recomendable incluir las técnicas de aprendizaje automático y otras tecnologías recientes, que no han sido tomado en cuenta en este estudio y que permitan optimizar el monitoreo de la calidad del agua ya que son insuficientes las métricas utilizadas para este fin; además ello permitiría que, dichos parámetros sean calibrados adecuadamente y así garantizar una buena producción del sector agrícola.

Referencias

- Ajith, J. B., Manimegalai, R., & Ilayaraja, V. (2020). An IoT Based Smart Water Quality Monitoring System using Cloud. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (Ic-ETITE)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.450>
- Contreras, C., Molina, J. A., Osmá, P., & Zambrano, D. (2018). Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el Internet de las cosas (IoT) para la acuicultura. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: 16*, 7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.367>
- Dasgupta, A., Daruka, A., Pandey, A., Bose, A., Mukherjee, S., & Saha, S. (2019). Smart Irrigation: IOT-Based Irrigation Monitoring System. En M. Chakraborty, S. Chakrabarti, V. E. Balas & J. K. Mandal (Eds.), *Proceedings of International Ethical Hacking Conference 2018* (pp. 395-403). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1544-2_32
- Dedkshath, R., Dharanya, P., Dimpil K., K., Deepak, G., & Shanthini, S. (2018). IoT Based Environmental Monitoring System using Arduino UNO and Thingspeak. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 4(9), 8.
- García, L., Parra, L., Jiménez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Karvinen, K., & Karvinen, T. (2014, 23 de septiembre). *Getting Started with Sensors: Measure the World with Electronics, Arduino, and Raspberry Pi*.
- Kumar, N., & Shekar, P. (2018). Water Quality Monitoring System Using IoT and Machine Learning. *2018 International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/RICE.2018.8509050>
- Loganathan, G. B., Mohan, E., & Kumar, S. (2019). IoT based water and soil quality monitoring system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), 5.
- Sanabria, J. (2002). Impacto del evento niño en la agricultura peruana campaña 2002-2003. *Repositorio Institucional - SENAMHI*. Consultado el 20 de diciembre de 2023, desde <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/465>
- Accepted: 2020-08-04T01:21:24Z.