

**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,  
Volumen 8, Número 4.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v8i4](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i4)

**SISTEMA DE MONITOREO AUTOMATIZADO DE  
VARIABLES AMBIENTALES EN UN CULTIVO  
ACUAPÓNICO DE TILAPIA Y LECHUGA**

**AUTOMATED MONITORING SYSTEM OF ENVIRONMENTAL  
VARIABLES IN AN AQUAPONIC SYSTEM OF TILAPIA AND  
LETTUCE**

**Pedro Hernández-Sandoval**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas –  
México

**Hugo Castillo Meza**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología – México

**Laura Olivia Cruz-Urrea**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología – México

**Francisco Rodimiro Guzmán-Dicochea**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología - México

**José Ricardo Mora-Sánchez**

Instituto Tecnológico de Los Mochis Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Blvd. Juan de  
Dios Bátiz y 20 de noviembre S/N. – México

**Jaime Bojórquez-Sauceda**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología – México

**Ander Daniel Romero-Luque**

Instituto Tecnológico de Los Mochis Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de  
Dios Bátiz y 20 de noviembre S/N. – México

**David Váldez-Martínez**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología – México

**César Enrique Guzmán-Arredondo**

Unidad Regional Los Mochis Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología - México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.13196](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13196)

## Sistema de Monitoreo Automatizado de Variables Ambientales en un Cultivo Acuapónico de Tilapia y Lechuga

**Pedro Hernández-Sandoval<sup>1</sup>**

[pedro.hernandez@uadeo.mx](mailto:pedro.hernandez@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-7005-4555>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ciencias Naturales y Exactas  
México

**Hugo Castillo-Meza**

[hugo.castillo@uadeo.mx](mailto:hugo.castillo@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0009-0005-5587-827X>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

**Laura Olivia Cruz-Urrea**

[laura.cruz@uadeo.mx](mailto:laura.cruz@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0009-0003-1672-2948>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

**Francisco Rodimiro Guzmán-Dicochea**

[francisco.guzman@uadeo.mx](mailto:francisco.guzman@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0009-0000-6456-7311>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

**José Ricardo Mora-Sánchez**

[morasanchezj24@gmail.com](mailto:morasanchezj24@gmail.com)

Instituto Tecnológico de Los Mochis  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de noviembre S/N.  
México

**Jaime Bojórquez-Sauceda**

[jaime.bojorquez@uadeo.mx](mailto:jaime.bojorquez@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0009-0006-8340-4415>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

**Ander Daniel Romero-Luque**

[anderluque32@gmail.com](mailto:anderluque32@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-4269-5070>

Instituto Tecnológico de Los Mochis  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de noviembre S/N.  
México

**David Váldez-Martínez**

[david.martinez@uadeo.mx](mailto:david.martinez@uadeo.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-9471-4001>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

**César Enrique Guzmán-Arredondo**

[ceguzman@hotmail.com](mailto:ceguzman@hotmail.com)

<https://orcid.org/0009-0003-3048-6283>

Universidad Autónoma de Occidente  
Unidad Regional Los Mochis  
Departamento académico de Ingeniería y Tecnología  
México

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [david.martinez@uadeo.mx](mailto:david.martinez@uadeo.mx)

## RESUMEN

Desde hace mucho tiempo, la agricultura y la acuicultura han experimentado un progreso significativo, este no solo se ha limitado a las actividades prácticas, sino también en lo referente a la incorporación de recursos tecnológicos que simplifican y optimizan las tareas. En la acuicultura, el monitoreo de calidad de agua se hace de manera manual dos o tres veces en un ciclo de 24 h. Esto puede repercutir en baja supervivencia, crecimiento, elevado FCA, entre otras. Por lo cual es necesario un monitoreo preciso, constante y en tiempo real de estas variables ambientales como temperatura y pH. Se desarrolló un sistema de monitoreo remoto en tiempo real del pH y temperatura del agua en un sistema acuapónico, se registraron cada hora temperatura (termómetro mercurio) y pH (potenciómetro), al comparar los grupos de datos no existieron diferencias significativas (U de Mann Whitney;  $P < 0.05$ ). Sin embargo, en acuicultura, la toma de datos se realiza únicamente dos o tres veces en 24 h, este análisis muestra que el monitoreo remoto resulta confiable por la similitud en los datos registrados manualmente, en las granjas, realizar cada hora el registro manual no es posible por cuestiones de disponibilidad de personal o económicas.

**Palabras clave:** framework, iot, nft, hidroponía, sensor



# Automated Monitoring System of Environmental Variables in an Aquaponic System of Tilapia and Lettuce

## ABSTRACT

For a long time, agriculture and aquaculture have experienced significant progress, not only limited to practical activities, but also in relation to the incorporation of technological resources that simplify and optimize tasks. In aquaculture, water quality monitoring is done manually two or three times in a 24-h cycle. This can result in low survival, growth, high FCA, among others. Therefore, precise, constant and real-time monitoring of these environmental variables such as temperature and pH is necessary. A real-time remote monitoring system of water pH and temperature in an aquaponic system was developed. Temperature (mercury thermometer) and pH (potentiometer) were recorded every hour. When comparing the data groups, there were no significant differences (Mann-Whitney U;  $P < 0.05$ ). However, in aquaculture, data collection is only carried out two or three times in 24 hours. This analysis shows that remote monitoring is reliable due to the similarity of the data recorded manually. On farms, manual recording every hour is not possible due to staff availability or economic issues.

**Keywords:** framework, iot, nft, hydroponics, sensor

*Artículo recibido 14 julio 2024*

*Aceptado para publicación: 17 agosto 2024*



## INTRODUCCIÓN

Existe un interés creciente en el desarrollo de nuevos métodos para la producción sostenible de alimentos, dado que la agricultura tradicional requiere un enorme gasto de agua y espacio terrestre (Ramos-Sotelo et al., 2019) y la acuicultura puede causar efectos negativos al ambiente como resultado de la acumulación de subproductos metabólicos de las especies cultivadas y la demanda biológica de oxígeno causada por el alimento no utilizado, especialmente en ambientes limitados donde el intercambio del agua es lento y el proceso de mezcla reducido. La contaminación del agua es uno de los principales problemas que enfrenta la acuicultura, a tal grado que pone en riesgo la actividad (Li y Liu, 2019), por lo que es importante el mantenimiento de la buena calidad de agua para el éxito de la producción de crías y engorda (Perumal y Pachiappan, 2015). Una apropiada gestión de esta es esencial para promover la buena salud de los animales, aspecto importante para lograr una producción eficiente (Jeney, 2017).

Los sistemas acuapónicos se han convertido en una de las nuevas maneras para cultivar distintos tipos de plantas y criar peces evitando la erosión de la tierra y la contaminación del agua. Durante el paso del tiempo estos sistemas han evolucionado constantemente mediante la implementación de sistemas electrónicos a base del internet, automatizando o semiautomatizando dichos sistemas mediante el monitoreo y control de variables ambientales.

Bórquez-López et al. (2017), implementaron mediante hardware abierto e inteligencia artificial, un sistema de monitoreo automático de concentración de oxígeno disuelto, pH y temperatura en un cultivo de *Litopenaeus vannamei* por 84 días, reportaron que es posible el uso de estos sistemas para monitorear el índice de calidad de agua (ICA) y su aplicación en la acuicultura, también Arteaga y Wong (2021) propusieron un framework para el monitoreo de temperatura en tiempo real completo, configurable, escalable y de bajo costo aplicaron tecnología IoT (internet de las cosas), y reportaron que su uso permitió la automatización de tareas de monitoreo y análisis del estado de cultivo, lo cual es de suma importancia, ya que si no se toman las acciones correctivas inmediatas, una inadecuada calidad del agua puede llegar a afectar el cultivo.

Manju et al. (2027), propusieron para un sistema acuapónico, un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua y el entorno de la planta mediante el uso de diferentes sensores, a la información



recopilada por los sensores se accede de forma remota mediante IoT. Aseguran que el uso de este tipo de tecnologías puede ayudar a implementar sistemas acuapónicos en áreas urbanas donde la agricultura tradicional es imposible y por lo tanto, las ciudades inteligentes pueden hacer uso de este sistema para producir alimentos sostenibles orgánicos cultivados localmente. Flores y Aracena (2018) desarrollaron un sistema de monitoreo con acceso remoto de las condiciones del agua de los estanques y del ambiente de un criadero de camarones, indicaron que el software entrega herramientas que permiten al usuario visualizar datos del ambiente a través del tiempo, con el fin de analizar el comportamiento y prevenir condiciones críticas del medio acuático en el que vive el organismo cultivado, obtuvieron un prototipo, que demostró ser eficaz y necesario de aplicar en lugares donde se requiere llevar un control preciso de las condiciones ambientales. Con la finalidad de realizar un monitoreo constante de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y pH en la fracción acuícola de un sistema acuapónico de manera automática, remota y mantener un registro en la web disponible de manera inmediata, se diseñó y construyó un framework basado en IoT.

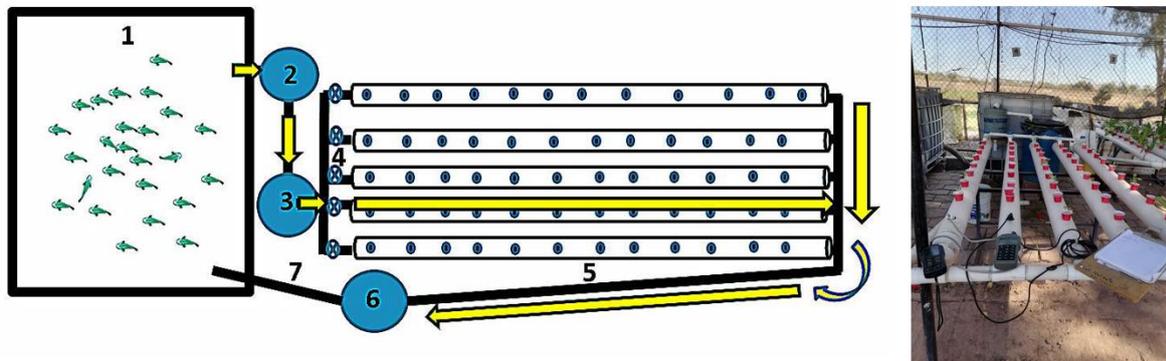
## **METODOLOGÍA**

### **Descripción del sistema acuapónico**

El Sistema Acuapónico (SA) fue compuesto por una Fracción Acuícola (FA) y una Fracción Hidropónica (FH) (Figura 1), la FA consistió en un contenedor cúbico plástico de  $1\text{ m}^3$  y la FH en un sistema tipo Técnica de Película Nutritiva o NFT (por sus siglas en inglés: Nutrient Film Technique) compuesto de cinco tubos de PVC sanitario de 4" de diámetro, y 2.0 m de longitud, a la salida de cada FA se colocó un filtro mecánico de 20L de capacidad para remoción de sólidos, compuesto por piedra caliza (4-7 mm) y malla de  $5\mu$  de luz de malla y conectado a este, un filtro biológico de 90L compuesto de tezontle para permitir el desarrollo de bacterias nitrificadoras. El agua fluyó por gravedad, de la FA hacia el filtro mecánico a través de un tubo de PVC de 1" de diámetro conectado en la parte superior, posteriormente hacia el filtro biológico, para después conectarse, a un sistema distribuidor de cinco válvulas acoplado a la FH, después de pasar a través de la FH, el agua fue colectada en un reservorio de 80 L a nivel del suelo, el flujo se mantuvo constante con el uso de una bomba sumergible (Evans®, 12W) de 600L/h que envió de manera constante el agua del reservorio a la FA. La densidad de siembra fue de 25 tilapias por  $\text{m}^3$ , y en la FH fue de 30 plántulas por  $\text{m}^2$ , las cuales fueron colocadas en pequeños vasos (50 mL) con tezontle como sustrato de soporte.



**Figura 1-Sistema Acuapónico:** 1- Fracción acuícola (FA); 2- Filtro mecánico; 3- Biofiltro; 4- Sistema distribuidor; 5- Fracción Hidropónica (FH); 6- Reservorio y 7- Bomba sumergible (25 W). Las flechas amarillas indican la dirección del flujo de agua (basado en Valdez-Martínez, D. 2024).



### Sistema de recolección y registro de datos en el sistema acuapónico

El sistema de monitoreo estuvo compuesto de un módulo ESP32, un sensor de temperatura DS18B20, un sensor de pH Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit For Arduino, una base de datos controlada por DBMS y un código de programación en lenguaje C++ y JavaScript. El sistema de monitoreo se colocó en la FA del SA.

### Módulo ESP32

La función del microcontrolador es gestionar y transferir los datos de los sensores a un computador controlado por el microcontrolador elige el sensor a analizar, transmite, procesa y almacena sus datos. Los sensores utilizados fueron calibrados acorde a las recomendaciones dadas por el fabricante. Las especificaciones técnicas de los sensores cumplen con los requisitos para ser utilizados en la acuicultura ([www.atlas-scientific.com](http://www.atlas-scientific.com)). El ESP32 es un microcontrolador que tiene conectividad Bluetooth y WiFi integrada en la placa (figura 2), por lo cual puede intercambiar información constantemente con la red y un bajo consumo energético. Cuenta con un microprocesador Tensilica Xtensa de 32 bits de uno o dos núcleos; frecuencia de reloj programable hasta 240MHz; WiFi 802.11 b/g/n, 802.1n 2.4Ghz 150Mbit/s; Bluetooth v4.2 BR/EDR; Memoria ROM 448 Kbytes; Memoria SRAM 520 Kbytes; Memoria QSPI Flash/SRAM 4 Mbytes; 24 pines digitales; 2 conversores análogos digitales de 12 bits tipo SAR; Volteje de alimentación 5v DC y Voltaje de entrada/salida 3.3v DC.

**Figura 2.** Módulo ESP32.



## Sensores

### Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura (figura 3) son componentes eléctricos y electrónicos que permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. El sensor de temperatura que utiliza el chip DS18B20 tiene una interfaz de bus simple, un encapsulado de acero inoxidable, resistente al agua, humedad y al óxido, utiliza un solo pin de Arduino/Microcontrolador para tomar la lectura de los sensores que se necesiten. El sensor emite una señal de tipo serial que envía los datos sobre temperatura. Sus características son: Voltaje de alimentación: 3.0 V a 5.5 V; resolución ajustable: 9 bits - 12 bits; rango de temperatura de operación: -55°C hasta 125°C; cables de salida: rojo (VCC), negro (GND), longitud del cable: 100 cm; medidas del tubo del encapsulado de acero inoxidable: 6 mm × 50 mm; Peso: 30g; precisión de  $\pm 0.5$  °C de -10 a +85 °C e interfaz de un sólo cable.

**Figura 3-** Sensor de temperatura a prueba de agua que utiliza el chip DS18B20



### Sensor de pH

Un sensor de pH mide la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, indica su grado de acidez o alcalinidad. Mide la diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo y el medio acuoso donde se encuentre. El sensor DFRobot Gravity: Analog pH meter V2 (figura 4) es comúnmente usado para aplicaciones tales como sistemas acuapónicos, acuicultura y pruebas ambientales de agua. Cuenta con

las siguientes especificaciones: Tablero de conversión de señal (Transmisor) V2; alimentación 3.3~5.5V; salida de voltaje: 0~3.0V; conector de sonda: BNC; conector de señal: PH2.0-3P; precisión de la medición:  $\pm 0.1@25^{\circ}\text{C}$ ; dimensión: 42mm\*32mm/1.66\*1.26in; sonda de pH; tipo de sonda: Grado de laboratorio; rango de detección: 0~14; rango de temperatura: 5~60°C; zero Point:  $7\pm 0.5$ ; tiempo de Respuesta: <2min; resistencia Interna: <250M $\Omega$ ; vida útil de la sonda: >0.5 años (depende de la frecuencia de uso) y longitud del cable: 100cm.

**Figura 4-** Sensor de pH utilizado en el bioensayo: Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit For Arduino.



### **Lenguaje de programación**

Se utilizó el C++, el cual, es un lenguaje de programación que permite manipular objetos, contiene los paradigmas de la programación estructurada y orientada a objetos, por lo que se le conoce como un lenguaje de programación multiparadigma.

### **Monitoreo en tiempo real**

La conexión entre la interfaz de monitoreo y Google Sheets (figura 5) se estableció mediante la integración de API, lo que permitió una transmisión fluida de datos en tiempo real. Esta integración aseguró que cada medición capturada por el sistema se reflejara instantáneamente en la hoja de cálculo correspondiente.

### **Análisis estadísticos**

Se realizaron pruebas de normalidad ( $P > 0.05$ ) a los grupos de datos registrados de temperatura y pH, posteriormente se aplicaron pruebas U de Man Whitney ( $P < 0.05$ ) según resultados de normalidad.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se construyó un sistema de instrumentación electrónico para la medición de temperatura y pH del agua (figura 5), de la misma manera se fabricó un sistema acuapónico funcional donde se midieron las variables en la FA, se obtuvo una base de datos para temperatura y pH en Google Sheets (figura 6) con

144 registros en 24 h tomados cada 10 min de manera remota con el framework desarrollado (figura 8).

En la tabla 1 se muestra que no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los datos de temperatura y pH registrados remota y manualmente cada hora (figura 7;  $n = 24$ ).

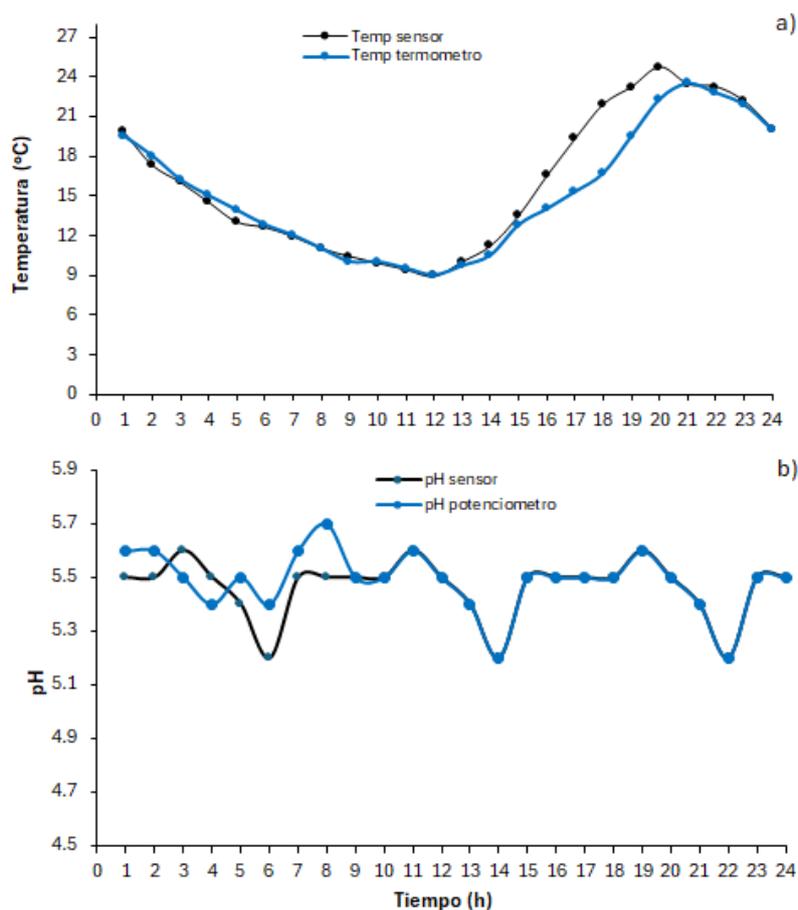
**Figura 5.** Proceso de integración del dispositivo de monitoreo remoto (ACUAdO) con el microcontrolador ESP32, sensores de temperatura (DS18B20) y pH (Gravity: Analog), a) y b) integración de elementos y pruebas de laboratorio, c) prueba de sensores en entorno ambiental, d) y e) dispositivo instalado en el sistema acuapónico.



**Figura 6.** Base de datos generada en tiempo real, Google Sheets registró cada 10 minutos la información enviada por los sensores de pH y temperatura

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
564		Temperatura	pH										
565	2024/2/5/13:6:15	17.19	4.4	0									
566	2024/2/5/13:16:23	17.37	4.41	0									
567	2024/2/5/13:27:20	17.5	4.41	0									
568	2024/2/5/13:37:29	17.62	4.39	0									
569	2024/2/5/13:48:14	17.75	4.37	0									
570	2024/2/5/13:59:10	17.94	4.35	0									
571	2024/2/5/14:9:23	18.06	4.33	0									
572	2024/2/5/14:19:31	18.12	4.29	0									
573	2024/2/5/14:29:40	18.25	4.3	0									
574	2024/2/5/14:39:49	18.37	4.3	0									
575	2024/2/5/14:49:57	18.56	4.29	0									
576	2024/2/5/15:0:8	18.62	4.31	0									
577	2024/2/5/15:10:17	18.75	4.27	0									
578	2024/2/5/15:20:26	18.87	4.24	0									
579	2024/2/5/15:30:34	18.87	4.22	0									
580	2024/2/5/15:40:43	19	4.24	0									
581	2024/2/5/15:50:51	19.12	4.26	0									
582	2024/2/5/16:0:59	19.19	4.22	0									
583	2024/2/5/16:11:10	19.31	4.22	0									

**Figura 7.** Comportamiento de la temperatura y pH (a y b) en un ciclo de 24 h registrados remota (sensores) y manualmente (termómetro y potenciómetro respectivamente).

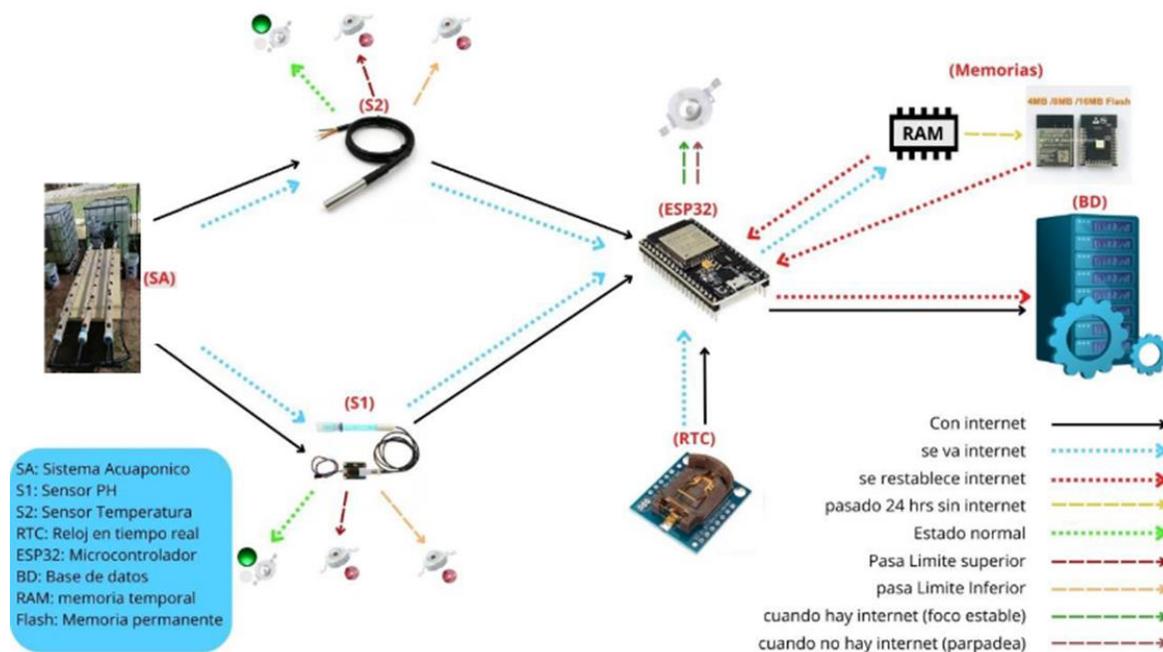


**Tabla 1.** Estadística descriptiva y prueba de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ) aplicada a los grupos de datos ( $n = 24$ ) de temperatura y pH generados de manera remota y manualmente.

Variable medida	Intervalo	Max	Min	Mediana	25%	75%	Mann-Whitney
pH sensor	0.400	5.600	5.200	5.500	5.425	5.500	$P > 0.05$
pH potenciómetro	0.500	5.700	5.200	5.500	5.425	5.575	
Temp (°C) sensor	15.800	24.70	8.900	15.250	11.05	21.42	$P > 0.05$
Temp (°C)termómetro	14.500	23.50	9.000	14.500	10.62	19.50	

pH = potencial de iones hidrógeno; Temp = temperatura; °C = grados centígrados.

**Figura 8.** Framework del sistema de monitoreo de temperatura y pH en el sistema acuapónico propuesto.



Navarro-Pérez et al. (2013) construyeron un sistema de instrumentación para realizar medición de temperatura, pH y concentración de oxígeno disuelto en agua de sistemas acuícolas en laboratorio, utilizaron un sensor de temperatura basado en el dispositivo LM35, un sensor comercial para la medición de PH de referencia PH300 y otro comercial para la medición de oxígeno disuelto de referencia DO600, el sistema constó de un microcontrolador ATmega8 de Atmel para la adquisición de toda la información, a su vez, el sistema contó con una aplicación en C++ Builder para la generación de reportes de las mediciones realizadas por los sensores en archivos de texto en formato .txt para realizar de forma manual por parte del operario el análisis de dicha información.

Ya y Keong (2017) diseñaron y desarrollaron un sistema de acuaponía inteligente, usaron varios sensores, actuadores, microcontroladores y microprocesadores para monitorear y controlar la calidad del agua, la intensidad de la luz y el alimento para peces o crustáceos, se demostró que el sistema es funcional para realizar una agricultura urbana autosostenible, rentable y ecológica que puede atraer a agricultores comerciales y jardineros domésticos.

## CONCLUSIONES

Se diseñó y desarrolló un sistema de acuaponía monitoreado de manera remota mediante la integración de sensores de temperatura y pH, una unidad de adquisición de datos, una unidad central de

procesamiento y registro en Google Sheets, como se muestra en la figura 8. El sistema propuesto puede monitorear continuamente pH y temperatura del agua y registrar automáticamente en Google Sheets, se demostró que los datos registrados por este sistema y de manera manual no presentan diferencias significativas. Con una implementación a gran escala, el sistema propuesto puede reducir significativamente los costos laborales y operativos, al tiempo que aumenta la producción y rentabilidad, lo que contribuye a la sostenibilidad.

El monitoreo constante del comportamiento de las variables de calidad del agua en periodos continuos de 24 horas, permite identificar si existen condiciones de riesgo en algunos momentos, para el cultivo, bajo criterios óptimos recomendables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arteaga-Quico, A.D. & Wong-Portillo, L.R. (2021). Framework para el monitoreo de la temperatura de cultivos acuícolas basado en IoT. Revista DYNA, 88(218), 239-246.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v88n218.90626>

Bórquez-López, R.A., Martínez-Córdova, L.R., Casillas-Hernández, R., López-Elías, J.A., Barraza-Guardado, R.H., Ibarra-Gómez, J.C. & Gil-Núñez, J. C. (2017). Monitoreo del índice de calidad del agua para camaronicultura por medio de un hardware de acceso abierto y un sistema de inferencia difusa. Biotecnia. 19(3), 45-49.

<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i3.449>

Flores-Mollo, S. & Aracena-Pizarro, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. 26. 55-64.

<https://revistas.uta.cl/pdf/2484/art07.pdf>

Jeney, G. (2017). Fish Diseases. Academic Press. 262.

Li, D. & Liu, S. (2019). Water quality monitoring and management. Academic Press. 303-328.

Manju, M., Karthik, V., Hariharan, S., & Sreekar, B. (2017). Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on internet of things. Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM). 943-948.

<https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261342>



- Navarro Pérez, A.A., Padilla Bejarano, J.B., & Prías Barragán, J.J. (2013). Instrumentation System for Measurement Temperature, pH and Dissolved Oxygen present in Fish Farming Under Condition of Artificial Pond. *Scientia et Technica* Año XVIII, 18(2), 401-408.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8781/5447>
- Perumal, S. & Pachiappan, P. (2015). *Advances in marine and brackishwater aquaculture*. Springer, India. 247-254. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-81-322-2271-2>
- Ramos-Sotelo, H., Valdez-Ortiz, Á., Germán-Báez, L.J., Fierro-Sañudo, J.F., León-Cañedo, J.A., Alarcón-Silvas, S.G., Reyes-Moreno, C. & Páez-Osuna, F. (2019). Quality of lettuce *Lactuca sativa* (var. Tropicana M1) grown with two low salinity shrimp effluent. *FoodChemistry*. 10(2), 10027. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100027>
- Valdez-Martínez, D. (2024). Evaluación del desempeño productivo de un policultivo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Langostino (*Macrobrachium tenellum*) en un sistema acuapónico de Lechuga (*Lactuca sativa*) como estrategia sustentable de producción a pequeña escala. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Occidente. 164 pp.
- Ya Kyaw, T., & Keong Ng, A. (2017). Smart aquaponics system for urban farming. *Energy Procedia*. 143, 342-347. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.694> [www.atlas-scientific.com](http://www.atlas-scientific.com)

