
Framework para el monitoreo de la temperatura de cultivos acuícolas basado en IoT

Alisson Diane Arteaga-Quico & Lenis Rossi Wong-Portillo

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. alisson.arteaga@unmsm.edu.pe,
lwongp@unmsm.edu.pe

Received: September 18th, 2020. Received in revised form: May 11th, 2021. Accepted: June 15th, 2021

Resumen

Una de las preocupaciones actuales en la acuicultura es la gestión del ambiente del cultivo debido al impacto que este genera, en el cultivo a nivel de producción, al ambiente por residuos no controlados y en la seguridad alimentaria, dicha preocupación va en aumento debido a la intensificación de esta actividad en los últimos años la cual genera una alta demanda de alimentos. Actualmente, muchos de los procesos de la acuicultura se dan de forma manual, lo cual demanda costo tanto en tiempo como en recursos. En la presente investigación se propone un framework para el monitoreo de temperatura en tiempo real completo, configurable, escalable y de bajo costo aplicando la tecnología IoT, con el objetivo de optimizar el tiempo de recolección y análisis del estado del cultivo, lo cual permite dar soporte a la toma de decisiones antes de que el cultivo se vea afectado.

Palabras clave: calidad del agua; monitoreo de cultivos acuícolas; sensores; IoT.

Framework for monitoring the temperature of aquaculture crops based on IoT

Abstract

One of the current concerns in aquaculture is the management of the rearing environment, given the impact it has on the culture at production level, on the environment due to uncontrolled waste, and on food safety. This concern is increasing due to the escalation of the activity in recent years, which generates a high demand for food. Currently many of the aquaculture processes are performed manually, which is costly both in terms of time and resources. Based on the use of technology, this research proposes a complete, configurable, scalable and low-cost framework for real-time temperature monitoring using IoT, in order to optimise the collection time and analysis of the state of the crop, thereby providing support for decision making before the crop is affected.

Keywords: water quality; aquaculture monitoring; sensors; IoT.

1. Introducción

Actualmente la acuicultura es una de las actividades que está creciendo rápidamente en los últimos años enfocado a la producción de alimentos en el mundo, en lo que respecta a la producción nacional se ha registrado una cifra de 28 400 toneladas en el 2006 hasta poco más de 100.000 toneladas para el 2017 [1], lo cual representa una alta tasa de crecimiento en dicho periodo. A nivel internacional según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura la producción pesquera mundial alcanzó un máximo de 171

millones de toneladas en 2016 de las cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% considerando sólo los usos alimentarios [2], lo cual refleja la importante presencia actual que tiene dicha actividad como suministro de pescado para el consumo humano.

El crecimiento rápido de la acuicultura ha llevado a realizar actualmente cultivos intensivos, lo cual hace que las especies involucradas requieren una mayor atención para el control de su salud, esto debido al entorno complejo en el que habitan, que hace que sean expuestas al desarrollo de enfermedades [3].

Actualmente uno de los principales problemas en el

How to cite: Arteaga-Quico, A.D. and Wong-Portillo, L.R., Framework para el monitoreo de la temperatura de cultivos acuícolas basado en IoT. DYNA, 88(218), pp. 239-246, July - September, 2021.

desarrollo de un cultivo que enfrenta la acuicultura es la contaminación del agua, la cual pone en un alto riesgo dicha actividad [4]. Por lo tanto, para tener prácticas exitosas de cría y cultivo se debe considerar importante el mantenimiento de una buena calidad de agua de un cultivo [3], durante todas las etapas de producción acuícola, ya que una gestión adecuada de esta es esencial para promover la buena salud de los animales, aspecto importante para lograr una producción eficiente [5].

Además, no solo hay que tener en cuenta el impacto que tiene la calidad del agua sobre las especies y su efecto secundario a la producción acuícola, sino también el impacto a la salud ambiental de los cuerpos que reciben el agua contaminada resultado de la actividad [6], lo cual puede ser minimizado mediante una adecuada gestión de la calidad del agua durante el desarrollo de un cultivo [5].

Ante esta problemática, han surgido en los últimos años varias propuestas con el fin de mejorar dicho proceso y contribuir mediante el uso de herramientas tecnológicas a gestionar adecuadamente la calidad del agua. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos sólo abarcan la parte de monitoreo y no realizan un mayor seguimiento de cultivos. Por otro lado, se ha encontrado que la mayoría de los estudios propone soluciones para una especie de cultivo en específico, en cuales las soluciones están ya configuradas. De acuerdo con el rango aceptable por cada parámetro, sería óptimo para el acuicultor poder gestionar varios cultivos y configurar los rangos por parámetro de un determinado cultivo.

Por ello, se propone un framework para el monitoreo de temperatura en tiempo real de cultivos acuícolas, completo, configurable, escalable y de bajo costo aplicando IoT, mediante el uso de hardware libre, con el objetivo de contribuir en la optimización de tiempo en la recolección y análisis de la temperatura, lo cual permite dar soporte a la toma de decisiones antes de que el cultivo se vea afectado. La solución propuesta incluye módulos de monitoreo, alerta a través de correo electrónico de forma automática, seguimiento de cultivos a través de históricos y reportes, gestión de cultivos. Lo cual se ofrece al acuicultor una solución completa que es adaptable a cualquier tipo de cultivo y cantidad de cultivos que desee monitorear.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se presentan trabajos relacionados con la calidad del agua. En la sección 3 el detalle de la metodología de investigación del presente estudio, en la sección 4 y 5 el detalle de la arquitectura del framework y el diseño de la herramienta propuesta respectivamente. En la sección 6 se presenta la validación. Los resultados se presentan en la sección 7. Por último, la discusión y trabajos futuros se presentan en las secciones 8 y 9 respectivamente.

2. Trabajos relacionados

La revisión sistemática de la literatura se realizó en base a la metodología propuesta por Wong et al. [7] la cual consta de 3 fases: (1) planeamiento de la revisión, (2) desarrollo de la revisión y (3) resultados y análisis.

En la fase de “planeamiento de la revisión”, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: P1: ¿Qué factores afectan negativamente en la calidad de agua de los cultivos acuícolas?, P2: ¿Qué efectos originan la mala calidad de

Table 1.
Clasificación de los estudios seleccionados.

Clasificación	Referencia	Cantidad
Factores negativos	[8, 11, 13, 43]	4
Efectos	[9, 11, 15, 18, 21, 39, 40, 42, 43]	9
tecnologías	[10, 12, 14, 16, 17] [19-38] [41]	26

Fuente: Los autores.

agua?, P3: ¿Qué propuestas de herramientas tecnológicas se tienen para controlar la calidad de agua de los cultivos acuícolas?

Se definieron la siguiente palabras clave para realizar la búsqueda: “acuicultura calidad de agua” “monitoreo en la acuicultura” “monitoreo de la calidad del agua en la acuicultura” que fueron aplicadas a los títulos, al abstract y las palabras clave. La búsqueda de los artículos se realizó en las bases de datos ScienceDirect, IEEEExplore, ACM, Elsevier, Springer Link y Scielo.

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión: año de publicación entre el 2011 y 2019, tipo de fuente “Revistas” o “Congresos” y aquellos artículos que estén relacionados a responder al menos una de las tres preguntas de investigación mencionadas anteriormente.

En la fase de “desarrollo de la revisión”, se realizó la búsqueda de artículos teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión antes mencionados, para seleccionar finalmente los estudios primarios producto del proceso de revisión sistemático de la literatura planteado.

En la fase de “resultados de la revisión, como resultado del proceso de revisión se lograron obtener un total de 36 estudios seleccionados de acuerdo con los criterios de inclusión definidos previamente.

Para el análisis de los artículos seleccionados se planteó una taxonomía compuesta por 3 categorías: factores negativos (P1), efectos (P2) y tecnologías (P3), cada una de ellas relacionada a las preguntas de investigación planteadas previamente. La Tabla 1 muestra la cantidad de artículos por cada clasificación.

En la primera clasificación “Factores Negativos”, como resultado de la revisión se lograron clasificar bajo dos factores: físicos y químicos. El artículo por resaltar es el de Daudaa et al. [8], donde hacen un estudio detallado de los residuos de alimentos en la acuicultura como fuente principal de contaminación del agua, lo cual identificaron dos componentes: “Nitrógeno” en porcentaje de tasas de excreción y retención de nutrientes. Y “fósforo”, afectando la calidad del agua y por consiguiente en la especie que se cría en ese entorno.

En la segunda clasificación de “Efectos”, se identificaron tres efectos, en la salud humana, ambiente y producción. En el trabajo de Abinaya et al. [21] indican el impacto que tiene cada parámetro del agua en el cultivo en caso de no estar en condiciones adecuadas para el cultivo, lo cuales pueden afectar la respiración de los peces, su buena formación, lo cual afectan en el rendimiento de producción de peces.

Finalmente, en la tercera clasificación de “Tecnologías”, podemos destacar el trabajo de Bokingito y Llantos [19],



Figura 1. Diagrama de proceso de la metodología propuesta.
Fuente: Los autores.

donde proponen un sistema de monitoreo móvil de la temperatura del agua en tiempo real, compuesto por 4 capas: capa de detección, de red, middleware y aplicación. La especie que consideran para su investigación es la Tilapia, de la cual establecieron un rango de temperatura adecuada entre 20° y 35°C.

3. Metodología

La metodología de investigación aplicada para el presente trabajo se presenta en la Fig. 1, la cual está estructurada por cuatro etapas: definición de la pregunta de investigación, diseño de la arquitectura propuesta, diseño de la herramienta y finalmente la validación y resultados.

La pregunta de investigación planteada es la siguiente: *¿Es posible agilizar el proceso de recolección y análisis del estado del cultivo en base al parámetro de temperatura del agua de un cultivo acuícola mediante un sistema de monitoreo aplicando una arquitectura IoT?*

4. Framework propuesto

La Fig. 2 muestra la arquitectura del framework propuesto para el monitoreo remoto de temperatura de cultivos acuícolas, la cual está basado en una arquitectura IoT, los componentes de la herramienta son 3: Capa recolectora de datos, capa nube y capa aplicación.

La “capa recolectora de datos” incluye el uso de sensor digital de temperatura DS18B20 mediante el cual recolecta los datos del cultivo, y se encarga de la recolección de datos del sensor a través del microcontrolador nodeMCU, mediante el cual se recibe la data y se envía los datos a la capa de nube a través de su módulo WIFI ESP8266 hacia el servicio IoT Platform de IBM Cloud.

La “capa Nube” incluye el uso del servicio de IoT Platform de IBM Cloud, el uso de Heroku Cloud para el alojamiento de la base de datos en MySQL y del RESTful Api, uso del servicio Firebase de Google Cloud para el alojamiento de la aplicación desarrollada con Angular. Esta capa recibe la data enviada por la capa anterior y mediante el uso de un aplicativo NodeRed alojado en IBM Cloud realiza el almacenamiento de los datos leídos en la base de datos en la nube a través del uso del RESTful Api.

Finalmente, la “capa de aplicación” incluye el uso de navegador web desde dispositivos móviles o escritorio desde los cuales los usuarios es decir los acuicultores y el administrador pueden acceder al aplicativo web y acceder a módulos de la solución de acuerdo al perfil que tenga.

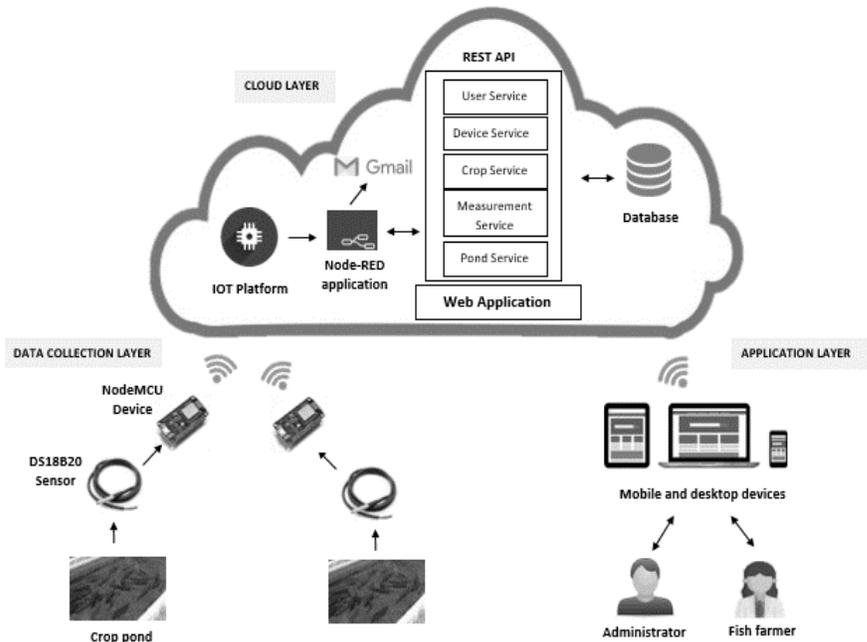


Figura 2. Framework propuesto.
Fuente: Los autores.

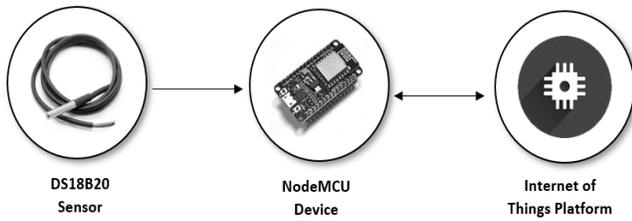


Figura 3. Módulo de medición.
Fuente: Los autores

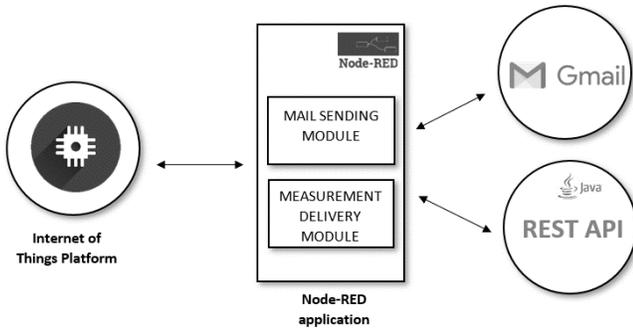


Figura 4. Arquitectura de la aplicación Node-RED.
Source: Los autores.

5. Diseño de la herramienta: *CropTracker*

Se desarrolló la herramienta *CropTracker* en base al framework propuesto, el cual consta de los siguientes componentes: Módulo de Medición, Aplicativo NodeRed, Base de datos, API RESTful y Aplicativo Web.

5.1. Módulo de medición

Para la implementación del módulo de medición, se usó un sensor de temperatura digital DS18B20 que acepta mediciones de rango desde -55°C hasta $+125^{\circ}\text{C}$ [44]. Este módulo se conecta al dispositivo NodeMCU v1.0, que se encarga de realizar el envío del valor de temperatura leído a través de su módulo ESP8266 a través de internet, hacia el IoT platform de IBM Cloud (Ver Fig. 3).

5.2 Aplicación NodeRed

La aplicación NodeRed está alojado en IBM cloud y nos permite consultar el valor de temperatura del IoT Platform de IBM en tiempo real. Se encarga de enviar la temperatura leída a través de un request de tipo POST al servicio Medición del RESTful API creado, el cual realiza el registro del valor de la temperatura enviado en la base de datos. Asimismo, también es el encargado de la gestión de envío de correos al usuario en caso el cultivo no se encuentre dentro del rango adecuado de temperatura (Fig. 4).

5.3 Base de datos

La base de datos MySQL está alojada en Heroku Cloud y se usa para el almacenamiento y recuperación de datos mediante el RESTful API. La base de datos que ha sido creada incluye 6

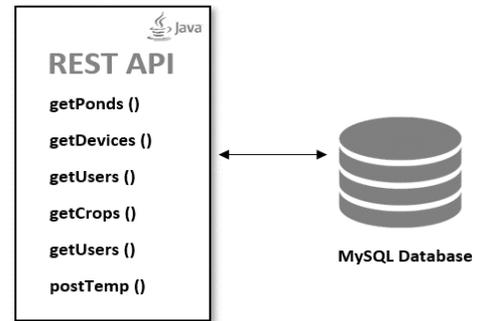


Figura 5. Base de datos MySQL.
Fuente: Los autores.

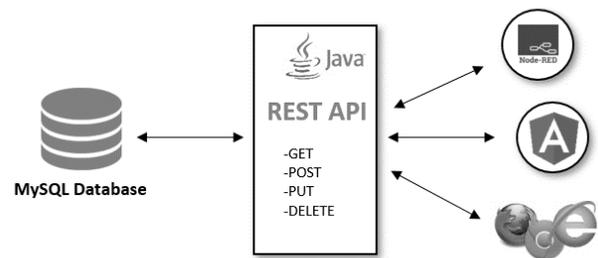


Figura 6. RESTful API.
Fuente: Los autores.

tablas, que nos permiten almacenar información de cultivos, estanques, especies de cultivos, dispositivos, usuarios y mediciones de temperatura como se aprecia en la Fig. 5.

5.4 RESTful API

Fue implementado usando el lenguaje de programación Java. El RESTful API utiliza el protocolo HTTP para sus operaciones. En el presente trabajo los métodos usados fueron POST, PUT, DELETE y GET, que nos permitieron la gestión de usuarios, cultivos, especies, estanques, mediciones y dispositivos. El API REST implementado es consultado desde el aplicativo Node Red para enviar el valor de temperatura leído, el aplicativo web de la solución y desde cualquier navegador (Ver Fig. 6).

5.5 Aplicación web

Para la captación de los requisitos funcionales y no funcionales se utilizó los lineamientos del trabajo de Wong y Mauricio [45]. La aplicación web fue implementada usando el Framework Angular y Bootstrap, se desarrolló un aplicativo totalmente responsive, lo cual permite ser consultado desde cualquier dispositivo móvil o escritorio por el acuicultor y administrador según lo requiera. El aplicativo desarrollado cuenta con 7 módulos: Monitoreo, Histórico, y los siguientes módulos de mantenimiento: estanques, cultivos, especies, usuarios y dispositivos. En la Fig. 7 se visualiza la interface del aplicativo web con las opciones de mantenimiento y monitoreo para el perfil acuicultor.



Figura 7. Interface de la aplicación web.
Fuente: Los autores.



Figura 8. Simulación de estanques de cultivos.
Fuente: Los autores.



Figura 9. Lectura del termómetro.
Fuente: Los autores.



Figura 10. Estanque con módulo de medición.
Fuente: Los autores.

Table 2.
Detalle de escenarios.

Escenarios	Descripción
I	Gestión del estanque 1
II	Gestión del estanque 1 y 2
III	Gestión del estanque 1, 2 y 3

Fuente: Los autores.

6. Validación y resultados

Para realizar la validación del framework propuesto se implementó la herramienta *CropTracker* y se realizó una simulación de gestión de cultivos. Para ello, se consideró la gestión de 3 cultivos, como se aprecia en la Fig. 8, de los cuales los estanque 1 y 3 contienen cultivo de Tilapia y el estanque 2 un cultivo de Goldfish.

Asimismo, se consideraron tres escenarios que se detallan en la Tabla 2, de los cuales se evaluó en cada uno de ellos el tiempo que toma completar el proceso de medición de temperatura y análisis. En el primer escenario se consideró la gestión de 1 cultivo, para el segundo la gestión de dos cultivos y para el tercero la gestión de tres cultivos.

Para la realización del proceso de validación se definieron dos casos de estudio, el primero realizando la medición de temperatura de forma manual y el segundo con el uso de la herramienta propuesta *CropTracker*.

6.1 Caso de estudio 1

Para el primer caso de estudio se usó un termómetro de vidrio, para realizar la medición de temperatura de los estanques a monitorear. Se procedió a colocar el termómetro en el estanque, se lee la temperatura indicada en el termómetro (Ver Fig. 9). El valor medido se anota en una hoja, luego se pasa la medición a una hoja de registro a Excel. Y finalmente, se evalúa si la temperatura medida está dentro del rango de temperatura adecuado y se anota la observación.

Se realizó el mismo proceso para los tres escenarios planteados. Luego de ello, se obtuvieron los resultados que se detalla en la Tabla 3 en la cual se describe el tiempo que tomó terminar la realización de cada escenario.

6.2 Caso de estudio 2

Para el caso de estudio 2 se usó la herramienta propuesta. Se procedió a ubicar el sensor de temperatura en el estanque a monitorear, como se muestra en la Fig. 10. Luego, desde un dispositivo móvil se accedió al aplicativo web, para asignar el dispositivo de medición al estanque que se va a monitorear. Finalmente, se conectó el módulo de medición a una fuente de alimentación.

La herramienta realizó de forma automática la medición del parámetro de temperatura del cultivo que se está monitoreando. Además, realizó el envío de un correo electrónico, alertando que la temperatura no se encuentra dentro del rango adecuado (Ver Fig. 11).



Figura 11. Alerta del sistema por correo electrónico.
Fuente: Los autores.

En la Fig. 12 se puede observar que la herramienta permite consultar la temperatura actual del cultivo, el estado y hacer seguimiento del cultivo mediante la gestión de históricos y reportes, desde su dispositivo móvil.

Se realizó el mismo proceso para los tres escenarios planteados, luego de ello se obtuvieron los siguientes resultados, que se detalla en la Tabla 3, en la cual se describe el tiempo que tomó terminar la realización de cada escenario para el caso de estudio 2.



Figura 12. Consulta desde el dispositivo móvil.
Fuente: Los autores.

Table 3.
Resultados del caso de estudio 1 y 2.

Escenarios	Case de estudio 1 Tiempo total (s)	Case de estudio 2 Tiempo total (s)
I	182	47
II	248	106
III	343	155

Fuente: Los autores.

Tabla 4.
Resultados de los casos de estudio 1 y 2 con métricas.

Caso de estudio 1			
Escenario	Tiempo (T)	Tarea (A)	Métrica (X)
I	182	1	0.00549
II	248	2	0.00806
III	343	3	0.00875
Promedio	257.67	2	0.00776
Caso de estudio 2			
Escenario	Tiempo (T)	Tarea (A)	Métrica (X)
I	47	1	0.02128
II	106	2	0.01887
III	155	3	0.01935
Promedio	102.67	2	0.01948

Fuente: Los autores.

Tabla 5.
Comparación de casos de estudio.

CE	Tiempo promedio (seg.)	Tarea promedia	Métrica
1	257.67	2	0.00776
2	102.67	2	0.01948

Fuente: Los autores.

Luego de la realización de ambos de casos de estudio, siguiendo el flujo de proceso de validación y teniendo los resultados de cada caso, se realizó el análisis de resultados. Para el cual se tuvo en cuenta la Métrica de comportamiento en el tiempo: Rendimiento, definida por la NTP-ISO/IEC 9126 [46]. En la Tabla 4 se detallan los resultados obtenidos en conjunto con el cálculo de la métrica aplicada cuya fórmula es $X = A/T$, donde A representa el “Número de cultivos gestionados” y T el “Tiempo total” para realizar la tarea (expresado en segundos).

En la Tabla 5 se puede apreciar, el cálculo del tiempo promedio (T) para cada caso de estudio, la tarea promedio (A) y el cálculo del Ratio (X) de la métrica, en conjunto con el tiempo mínimo y máximo obtenido por cada caso de estudio.

7. Discusión

De la Tabla 4 anteriormente mostrada, se puede realizar la siguiente interpretación: para los tres escenarios, el ratio promedio (0.01948) obtenido para en el caso de estudio 2 es mayor que el ratio (0.00776) obtenido para en el caso de estudio 1. Lo cual demuestra que utilizando el framework propuesto se logra una reducción significativa del tiempo empleado para monitorear y analizar el estado de los cultivos en comparación con la forma manual.

Además, los resultados muestran que con el uso del framework propuesto se agiliza el proceso de recolección y análisis del estado del cultivo en base al parámetro de temperatura, esto es debido a que gracias a la herramienta basada en IoT, se ha logrado automatizar tanto la recolección de temperatura en tiempo real, así como el análisis del estado del cultivo, en conjunto con un aplicativo de consulta de cultivos para hacer seguimiento, así mismo envío de alertas de forma automática, que permite al acuicultor tomar decisiones correctivas para el cultivo de forma inmediata (Ver Tabla 5).

8. Conclusiones

En este estudio se propuso el framework *CropTracker* basado en IoT para el monitoreo de temperatura de cultivos acuícolas, con la finalidad de agilizar la gestión de ambientes de cultivos.

Para llevar a cabo la investigación se aplicó cada fase de la metodología propuesta: planteamiento de pregunta de investigación, framework propuesto, diseño de la herramienta y finalmente la validación y resultados.

El framework propuesto, estuvo compuesto por tres capas: capa recolectora de datos, capa nube y capa aplicación. En la primera capa se hizo uso del sensor DS18B20, el cual nos permitió medir en tiempo real la temperatura del ambiente de cultivo y gracias al dispositivo NodeMCU, nos permitió enviar esa información a la nube, para que pueda ser consultada desde cualquier dispositivo a través del uso del aplicativo web, que incluye la solución.

Para corroborar la propuesta, se definieron dos casos de estudio: la realización de gestión de ambientes de cultivo de forma manual y por otro lado con el uso del framework propuesto. De los cuales se evaluó el tiempo que toma en realizar la realización de monitoreo y análisis del estado del cultivo, bajo tres escenarios: la gestión de 1, 2 y 3 cultivos para ambos casos de estudio.

De los resultados obtenidos de la realización de la validación bajo los tres escenarios planteados, según los ratios obtenidos de la métrica de rendimiento aplicada, los resultados promedios obtenidos de forma manual (0.00776) son menores en comparación de lo obtenido con el uso del framework propuesto (0.01948), lo cual significa que con el uso del framework propuesto se logró hacer una mayor cantidad de tareas de monitoreo de producción en comparación con la forma manual.

Se ha demostrado que la solución permite alcanzar el objetivo del presente estudio que es agilizar la gestión de ambientes de cultivos. El uso del framework propuesto basado en IoT nos ha permitido la automatización de tareas de monitoreo y análisis del estado de cultivo, en la cual el tiempo es de suma importancia. Puesto que, si no se toman las acciones correctivas inmediatas una inadecuada calidad del agua puede llegar a afectar el cultivo.

9. Trabajos futuros

Como trabajos futuros se plantea integrar el uso de más sensores para monitorear otros parámetros del agua como el amonio, pH, oxígeno disuelto entre otros. Que también son importantes para determinar la calidad del agua con una mayor

precisión y con ello tener un mejor control del ambiente de cultivo, así mismo integrar módulos de análisis para obtener indicadores de calidad de agua en base los parámetros leídos con lo cual se proporcionará al acuicultor un soporte de decisiones mucho más eficiente. Además, de ampliar la validación del estudio en centros de cultivos reales, dado que se tuvo que simular los escenarios por problemas de acceso a los centros de acuícolas por restricciones dadas por la pandemia.

Referencias

- [1] Ramirez, J., Sandoval, N. y Vicente, K., Sistema nacional de innovación en pesca y acuicultura, fundamentos y propuesta 2017-2022. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.pnipa.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/PESCA-Y-ACUICULTURA-3-1.pdf>.
- [2] FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. [en línea]. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>.
- [3] Perumal, S. and Pachappan, P., Advances in marine and brackishwater aquaculture. Springer, India, 2015, pp. 247-254.
- [4] Li, D. and Liu, S., Water quality monitoring and management. 2019, pp. 303-328.
- [5] Jeney, G., Fish Diseases. 2017, pp. 147-166.
- [6] Tucker, C.S. and Hargreaves, J.A., Environmental best management practices for aquaculture. Wiley-Blackwell, Oxford, 2008.
- [7] Wong, L.R., Mauricio, D.S. and Rodriguez, G.D., A systematic literature review about software requirements elicitation. Journal of Engineering Science and Technology [Online]. 12(2), pp. 296-317, 2017. [consulted: June 9th of 2021]. Available at: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2012%20issue%202%20February%202017/12_2_2.pdf
- [8] Dauda, A., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. and Akinwale, A., Waste production in aquaculture: sources, components and managements in different culture systems. Aquaculture and Fisheries, 4(3), pp. 81-88, 2019. DOI: 10.1016/j.aaf.2018.10.002
- [9] Jegatheesan, V., Shu, L. and Isvanathan, C., Aquaculture effluent: impacts and remedies for protecting the environment and human health, Encyclopedia of Environmental Health, 2011, pp. 123-135. DOI: 10.1016/B978-0-444-52272-6.00340-8
- [10] Mulema, S. and García, A., Monitoring of an aquatic environment in aquaculture using a MEWMA chart, Aquaculture, 504, pp. 275-280, 2019. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.01.019
- [11] Ni, M., Yuan, J., Liu, M. and Gu, Z., Assessment of water quality and phytoplankton community of Limpenaeus vannamei pond in intertidal zone of Hangzhou Bay, China, Aquaculture Reports, 11, pp. 53-58, 2018. DOI: 10.1016/j.aqrep.2018.06.002.
- [12] Encinas, C., Ruiz, E., Cortez, J. and Espinoza A., Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture, 2017 Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2017. DOI: 10.1109/WTS.2017.7943540
- [13] Nilsen, A., Nielsen, K., Næss, A. and Bergheim, A., The impact of production intensity on water quality in oxygen enriched, floating enclosures for post-smolt salmon culture, Aquacultural Engineering, 78, pp. 221-227, 2017. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2017.06.001
- [14] Parra, L., Rocher, J., Escrivá, J. and Lloret, J., Design and development of low cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms, Aquacultural Engineering, 81, pp. 10-18, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2018.01.004
- [15] Mohanty, R., Ambast, S., Panigrahi, P., Thakur, A. and Mandal, K., Enhancing water use efficiency in monoculture of Litopenaeus vannamei: impacts on pond water quality, waste production, water footprint and production performance, Aquacultural Engineering, 82, pp. 46-55, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2018.06.004
- [16] Adu-Manu, K., Tapparello, C. and Heinzelman, W., Water quality monitoring using wireless sensor networks: current trends and future research directions. ACM Transactions on Sensor Networks: 13(1), 2017.
- [17] Bokinkito Jr, P. and Caparida, L., Using Fuzzy logic for real - time water quality assessment monitoring system. Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Automation, Control and Robots, 2018.

- [18] Challouf, R., Hamza, A., Mahfoudhi, M., Ghazzi, K. and Bradai, M., Environmental assessment of the impact of cage fish farming on water quality and phytoplankton status in Monastir Bay (eastern coast of Tunisia), *Aquaculture International*, 25(6), pp. 2275-2292, 2017. DOI: 10.1007/s10499-017-0187-1
- [19] Bokingito, P. and Llantos, O., Design and implementation of real-time mobile-based water temperature monitoring system. *Procedia Computer Science*, 124, pp.698-705, 2017. DOI: 10.1016/j.procs.2017.12.207
- [20] Sun, P. and Chen, Y., Aquiculture remote monitoring system based on internet of things, 2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), 2019.
- [21] Abinaya, T., Ishwarya, J. and Maheswari, M., A novel methodology for monitoring and controlling of water quality in aquaculture using Internet of Things (IoT), 2019.
- [22] Somantri, M., Sofwan, A., Arfan, M., Herawati, V.E. and Abdurrasyiid, H., Design of water quality control for shrimp pond using sensor-cloud integration, 2018 5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2018.
- [23] Vijayakumar, N. and Ramya, R., The real time monitoring of water quality in IoT environment, 2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2015. DOI: 10.1109/iciiecs.2015.7193080
- [24] Ma, Y. and Ding, W., Design of intelligent monitoring system for aquaculture water dissolved oxygen, 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), 2018.
- [25] Defe, G.A. and Antonio, A.Z.C., Multi-parameter water quality monitoring device for grouper aquaculture, 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Baguio City, Philippines, 2018, pp. 1-5, DOI: 10.1109/HNICEM.2018.8666414
- [26] Shareef, Z. and Reddy, S.R.N., Design and wireless sensor Network analysis of water quality monitoring system for aquaculture, 2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, India, 2019, pp. 405-408, DOI: 10.1109/ICCMC.2019.8819844
- [27] Nguyen, T. K.D., Nguyen, D.T., Tra, H.S. and Luong, H.D.K., Automated monitoring and control system for shrimp farms based on embedded system and wireless sensor network, 2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, 2015, pp. 1-5, DOI: 10.1109/ICECCT.2015.7226111
- [28] Lafont, M., Dupont, S., Cousin, P., Vallauri, A. and Dupont, C., Back to the future: IoT to improve aquaculture: real-time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs, 2019 Global IoT Summit (GIOTS), Aarhus, Denmark, 2019, pp. 1-6, DOI: 10.1109/GIOTS.2019.8766436
- [29] Chen, Y., Hou, G. and Ou, J., WSN-based monitoring system for factory aquaculture, 2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science, Beijing, 2014, pp. 439-442, DOI: 10.1109/ICSESS.2014.6933600
- [30] Raju, K. and Varma, G., Knowledge based real time monitoring system for aquaculture using IoT, 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC), 2017. DOI: 10.1109/iacc.2017.0075
- [31] Abid, A., Dupont, C., Le Gall, F., Third, A. and Kane, F., Modelling data for a sustainable aquaculture, 2019 Global IoT Summit (GIOTS), Aarhus, Denmark, 2019, pp. 1-6, DOI: 10.1109/GIOTS.2019.8766376
- [32] Wahjuni, S., Maarik, A. and Budiardi, T., The fuzzy inference system for intelligent water quality monitoring system to optimize eel fish farming, 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), Bandung, 2016, pp. 163-167, DOI: 10.1109/ISESD.2016.7886712
- [33] Africa, A.D.M., Aguilar, J.C.C. A., Lim, C.M.S., Pacheco, P.A.A. and Rodrin, S.E.C., Automated aquaculture system that regulates Ph, temperature and ammonia, 2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Manila, 2017, pp. 1-6, DOI: 10.1109/HNICEM.2017.8269494
- [34] Hu, S., Dynamic monitoring based on wireless sensor networks of IoT, 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), Barcelona, 2015, pp. 1-4, DOI: 10.1109/LISS.2015.7369627
- [35] Acar, U. et al., Designing an IoT cloud solution for aquaculture 2019 Global IoT Summit (GIOTS), Aarhus, Denmark, 2019, pp. 1-6, DOI: 10.1109/GIOTS.2019.8766428
- [36] Wiranto, G., Maulana, Y.Y., Hermida, I.D.P., Syamsu, I. and Mahmudin, D., Integrated online water quality monitoring, 2015 International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur, 2015, pp. 111-115, DOI: 10.1109/ICSSA.2015.7322521
- [37] Tuan, K.N., A Wireless sensor Network for aquaculture using Raspberry Pi, Arduino and Xbee, 2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Dong Hoi, Vietnam, 2019, pp. 235-238, DOI: 10.1109/ICSSE.2019.8823104
- [38] Corallo, A. et al., Advanced system for sustainable aquaculture plant management, 2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), Oxford, 2018, pp. 162-166, DOI: 10.1109/ICITM.2018.8333939
- [39] Nugegoda, D. and Kibria, G., Effects of environmental chemicals on fish thyroid function: implications for fisheries and aquaculture in Australia, *General and Comparative Endocrinology*, 244, pp. 40-53, 2017. DOI: 10.1016/j.ygcen.2016.02.021
- [40] Brooks, B. and Conkle, J., Commentary: perspectives on aquaculture, urbanization and water quality. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 217, pp.1-4, 2019. DOI: 10.1016/j.cbpc.2018.11.014
- [41] Flores, S. and Aracena, D., Remote monitoring system of aquaculture in tanks for shrimp breeding. *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, 26(1), Arica, 2018.
- [42] Liu, X., Steele, J. and Meng, X., Usage, residue, and human health risk of antibiotics in Chinese aquaculture: a review. *Environmental Pollution*, 223, pp.161-169, 2017. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.01.003
- [43] Mo, W., Chen, Z., Leung, H. and Leung, A., 2015. Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), pp.8978-8989, 2017. DOI: 10.1007/s11356-015-5607-z
- [44] Maxim Integrated. Programmable resolution 1-Wire digital thermometer. [online]. 2019. Available at: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [45] Wong, L.R. and Mauricio, D.S., Qualities that the activities of the elicitation process must meet to obtain a good requirement. *Journal of Engineering Science and Technology [Online]*. 14(5), pp. 2883-2912, 2019. [consulted: June 9th of 2021]. Available at: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2014%20issue%205%20October%202019/14_5_31.pdf
- [46] NTP-ISO/IEC TR 9126-2: 2004. *Ingeniería de Software. Calidad del producto. Parte 2: Métricas externas*. 1^{ra}. Ed., 2004.

A.D. Arteaga-Quico, es Ing. de Software de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Sus intereses de investigación incluyen: Internet de las cosas, inteligencia artificial y áreas de aplicación de la robótica. Experiencia como desarrolladora Java BackEnd, desarrollo de aplicaciones web con Python, manejo de base de datos Oracle, manejo de repositorio Git y Framework Django.
ORCID: 0000-0002-6101-4751

L.R. Wong-Portillo, es PhD en Ing. de Sistemas e Informática en 2019. MSc. en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de Software (2012) y el 2001 se graduó como Ing. de sistemas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Actualmente es docente e investigadora en pregrado y posgrado (desde el año 2012). Y forma parte del grupo de investigación Inteligencia Artificial (IA). Ha sido directora de la Escuela Profesional de Ingeniería de Software en la UNMSM. Y tiene publicaciones recientes en SCOPUS (Scopus Author ID: 57193242883).
ORCID: 0000-0002-5032-3233