

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería de Sistemas



**SISTEMA DE MONITOREO DE AMBIENTE PARA  
EL CONTROL DE LAS CONDICIONES  
AMBIENTALES DE LAS GRANJAS ACUÍCOLAS  
DE LA SELVA DEL PERÚ BASADO EN  
INTERNET DE LAS COSAS**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

**Adrian Ernesto Lino Villaran**

**Código 20170837**

**Asesor**

Pablo Alberto Rojas Jaen

Lima – Perú

Agosto de 2023



# **Sistema de monitoreo de ambiente para el control de las condiciones ambientales de las granjas acuícolas de la selva del Perú basado en Internet De Las Cosas**

**Adrian Ernesto Lino Villaran**  
20170837@aloe.ulima.edu.pe  
Universidad de Lima

**Resumen:** La industria alimenticia de la acuicultura está creciendo a un ritmo tan acelerado que está por alcanzar a la pesca en toneladas producidas. Sin embargo, en el Perú, la acuicultura se encuentra poco desarrollada: su participación en el sector es del 1,4 %, y cuenta con productores poco especializados, que residen en zonas alejadas con baja posibilidad de acceso tecnológico. Por ello, en este trabajo se plantea un sistema de monitoreo de ambiente semiautónomo dirigido exclusivamente a la zona oriental del Perú, capaz de medir temperatura (agua y aire), oxígeno disuelto, pH y luminosidad. Con este fin se genera un nodo de medición de parámetros que captura las condiciones ambientales y las envía a un *Gateway* a través de la red LoRa. En un despliegue de casi cinco días, con más de 69 000 datos capturados, el sistema demostró que tiene la capacidad de medir las condiciones ambientales de forma precisa y autónoma con tendencias normales para la ubicación y hora de medición. Asimismo, se pudieron identificar ciertas correlaciones entre los datos obtenidos, como la temperatura del ambiente sobre el oxígeno disuelto, que tiene un coeficiente de correlación de 0,81. Por otro lado, el uso de la red LoRa requiere aplicar cierto tipo de control de la integridad de la información, ya que esta no viene por defecto. Finalmente, se concluye que el sistema desarrollado sí permite monitorear las condiciones ambientales en la selva peruana, brindando al productor la capacidad de visualizar su información en tiempo real de forma local y remota.

**Palabras Clave:** Internet de las cosas, red inalámbrica de sensores, sensores

**Abstract:** The aquaculture food industry is growing at a fast pace and is about to catch up with fishing in terms of tons produced. However, in Peru aquaculture only represents 1.4 % of the fish industry, with producers who are not very specialized and live in remote areas with lack of technology. For this reason, a semi-autonomous environment monitoring system is being developed exclusively for the eastern zone of Peru, capable of measuring temperature (water and air), dissolved oxygen, pH, and luminosity in real time. For its development, a Parameter Measurement Node is proposed which captures the conditions of the environment and send them to a Gateway through the LoRa network. During a 5 days period, more than sixty-nine thousand data points were captured, the system demonstrated that it could measure environmental conditions accurately and autonomously with expected trends for the location and time of measurement. Likewise, it was possible to identify certain correlations between the data, such as ambient temperature and dissolved oxygen, which has a correlation coefficient of 0,81. On the other hand, the use of the LoRa network requires the application of a certain type of information integrity control since it is not provided by default. Finally, it was concluded that the system developed does allow monitoring environmental conditions in the Peruvian rainforest, providing the producer with the ability to visualize his information in real time locally and remotely.

**Keywords:** Internet of Things, wireless sensor network, sensors

## Línea de investigación IDIC – ULIMA

PRODUCTIVIDAD Y EMPLEO - Innovación: tecnologías y productos

### Área y Sub-áreas de Investigación:

Applied computing > Computers in other domains > Aquaculture

### Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS)

ODS 14: Vida submarina, ODS 2: Hambre cero, ODS 6: Agua limpia y saneamiento y ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.

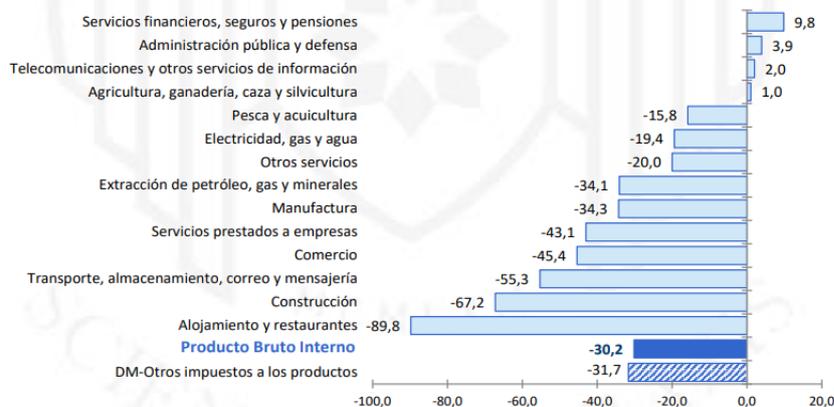
## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, s.f.), desde hace miles de años, la pesca ha sido una actividad bastante significativa en las labores cotidianas del ser humano. En el caso de la acuicultura, la producción de peces en estanques controlados se remonta 4,000 años atrás en el país de China. Sin embargo, actualmente la definición de acuicultura ya no es únicamente dirigida al criadero de peces, sino a cualquier tipo de animal acuático para el consumo, como lo son los mariscos, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas (párr. 1-2).

En el Perú, según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2020) la producción de pescado representa el 0.30% del PBI. Asimismo, el reporte del Producto Bruto Interno Trimestral elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020) indica que el PBI ha sufrido una variación en el segundo trimestre de 2020 de -30.2%, comparado con el mismo periodo del año 2019, ver Figura 1. Sin embargo, la pesca y acuicultura ha sido el sector menos afectado negativamente, con una variación -15.8%. Esto indica que a pesar de ser un sector poco significativo en el PBI nacional, se encuentra bien posicionado y bastante estable en comparación con otros sectores (p. 9).

**Figura 1**

*Variación del Producto Bruto Interno II Trimestre 2019/2020*



Nota. Recuperado de "Producto Bruto Interno Trimestral", del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2020. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_pbi\\_trimestral\\_iit\\_2020.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_pbi_trimestral_iit_2020.pdf)

Asimismo, según el FAO (2020), el Perú produjo 7.2 millones de toneladas de pescado, de las cuales 104 mil toneladas se encontraban representadas por la acuicultura, indicando una participación del 1.4% en el sector. Sin embargo, a nivel mundial la participación acuícola es significativamente mayor con una representación de 45.9% sobre la producción total de pescado, indicando un bajo desarrollo del sector acuícola en el Perú comparado con la producción global (p. 180).

En línea con lo mencionado, el Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2018) detalla que el acceso a la implementación de nuevas tecnologías se ve limitado en la mayoría de los micros y pequeños acuicultores (AMYPE), así como los de recursos limitados (AREL). Esto debido al elevado precio que involucra implementar nuevas tecnologías en dicho sector, lo cual imposibilita a los pequeños productores crecer su negocio en base a lo que la innovación tecnológica comprende. Asimismo, entendemos que los acuicultores de recursos limitados (47.9% del sector acuícola), así como los micros y pequeños acuicultores (50.7% del sector acuícola) son los más perjudicados,

ya que no se encuentran en la capacidad de innovar tecnológicamente debido a su informalidad, situación de trabajo y estabilidad financiera. (p.16)

A la fecha, se han desarrollado investigaciones sobre la implementación de sistemas basados en Internet de las Cosas e Inteligencia Artificial en otros países del mundo; sin embargo, dichos sistemas fueron desarrollados en ambientes de experimentación y no en campo. Asimismo, las investigaciones observadas únicamente contemplan los valores principales del agua, y no añaden más parámetros como Nitrato Amoniacal Total, turbidez en el agua, altitud, evaporación, entre otros (Encinas et al, 2017; Kang, Jung & Jang, 2017; Manoharan et al, 2019).

Asimismo, en los estudios revisados se pudo observar que no es común ver investigaciones que contemplen el desarrollo del sistema y el uso de Inteligencia Artificial de forma conjunta. Esto debido principalmente a que el trabajo de la data lo consideran como un estudio aparte debido a la escala de estas investigaciones (Prathibha et al., 2017; Shi et al., 2018; Zhu et al., 2010).

Debido a lo mencionado anteriormente, la presente investigación busca enfocarse en los pequeños y micros acuicultores de la parte oriental del Perú, desarrollando un sistema que permita monitorear su producción.

## **2. OBJETIVO**

### **Objetivo General**

Desarrollar el software y hardware de un sistema de monitoreo y control de ambiente que permita medir las condiciones ambientales de las granjas acuícolas de la zona oriental del Perú.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones ambientales y de red de la selva peruana para el correcto despliegue del sistema.
- Plantear un diseño del dispositivo acorde a las condiciones ambientales y de red de la selva peruana.
- Implementar el software y hardware del dispositivo considerando un ambiente de producción real ubicado la selva peruana.

## **3. JUSTIFICACIÓN**

La necesidad de proponer un sistema de monitoreo y control de ambiente que permita medir las condiciones ambientales de las granjas acuícolas recae en distintos ámbitos entre los que se encuentra el impacto en el ambiente marino, financiero, conocimiento técnico, y la innovación tecnológica sobre el sector.

Debido a que la pesca representa el 98.6% de la producción total de pescado en el Perú (FAO, 2020, P. 180), y debido al estancamiento que la pesca mundial ha tenido desde los años 90 (FAO, 2020, p. 193) es necesario potenciar el sector acuícola para continuar con el crecimiento en la producción de pescado a nivel nacional.

A causa de que ciertos acuicultores no cuentan con el conocimiento técnico o capital de trabajo necesario, reducen la cantidad de alimento de manera empírica, resultando en un proceso productivo más largo y un menor rendimiento en el peso corporal del animal (PROMPERU, 2005, 12). Por otro lado, si se añade más alimento de lo debido, este puede ser desperdiciado contaminando el agua ocasionando un mayor costo productivo. Con lo mencionado entendemos que es de crucial financieramente encontrar el balance para reducir costos y aumentar la productividad.

A nivel de innovación tecnológica en el sector, según el Plan Operativo Anual elaborado por PRODUCE, se tuvo presupuestada una inversión de S/ 75,198,200, de la cual el 46% fue dirigido al Fondo Concursable Acuicultura, indicando que el estado se encuentra apoyando dicho sector a través de financiamiento. Asimismo, el Ministerio de la Producción recomienda los concursos estatales como PENIPA, Pro Compite e Innóvate Perú; indicando que el Gobierno Peruano fomenta la innovación en el sector (2018, p. 6).

La producción acuícola peruana es bastante reducida en comparación a la pesca; lo cual, en conjunto con el alto desarrollo empírico que manejan ciertos acuicultores y la búsqueda continua de proyectos de innovación en el sector por parte del estado, genera una brecha bastante amplia de investigación. Adicionalmente, debido a los distintos concursos brindados por el estado, la posibilidad de desarrollar una investigación más efectiva en el sector aumenta, beneficiando al investigador y al sector acuícola (PRODUCE, 2018).

Adicionalmente, el sistema de monitoreo para granjas acuícolas puede apoyar varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. A continuación, se mencionan algunos ODS relevantes que podrían beneficiarse de este tipo de sistema:

**ODS 14: Vida submarina:** El sistema de monitoreo puede contribuir a la protección y conservación de los ecosistemas acuáticos, ayudando a controlar y minimizar los impactos negativos de las granjas acuícolas en la vida marina y los hábitats submarinos.

**ODS 2: Hambre cero:** El sistema de monitoreo puede mejorar la eficiencia de las granjas acuícolas al proporcionar datos precisos sobre las condiciones ambientales y el estado de los cultivos. Esto puede ayudar a optimizar la producción de alimentos acuáticos y garantizar una mayor seguridad alimentaria.

**ODS 6: Agua limpia y saneamiento:** El sistema de monitoreo puede ayudar a controlar y gestionar la calidad del agua utilizada en las granjas acuícolas. Esto es especialmente importante para evitar la contaminación y garantizar el acceso a agua limpia, tanto para las granjas como para las comunidades cercanas.

**ODS 9: Industria, innovación e infraestructura:** El sistema de monitoreo representa una innovación tecnológica que puede mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones en las granjas acuícolas. Además, puede contribuir al desarrollo de la infraestructura necesaria para implementar el sistema y optimizar las prácticas de producción.

#### 4. DISEÑO METODOLÓGICO

El objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema integral de monitoreo y control ambiental para las granjas acuícolas ubicadas en la zona oriental del Perú. Para lograrlo, se seguirá una metodología compuesta por distintas etapas, que se visualiza en la Figura 2.

En primer lugar, se identificarán los parámetros de calidad de agua más relevantes que deben ser medidos por el sistema, teniendo en cuenta las particularidades de las granjas acuícolas. Además, se analizarán las condiciones ambientales, geográficas y de red de la zona, con el fin de asegurar un despliegue adecuado del sistema.

A continuación, se diseñará una arquitectura de alto nivel para el sistema propuesto. Este diseño establecerá los elementos clave del sistema y las interacciones entre ellos. Posteriormente, se procederá al diseño de bajo nivel, donde se determinarán los componentes hardware, software y servicios en la nube necesarios para implementar el sistema.

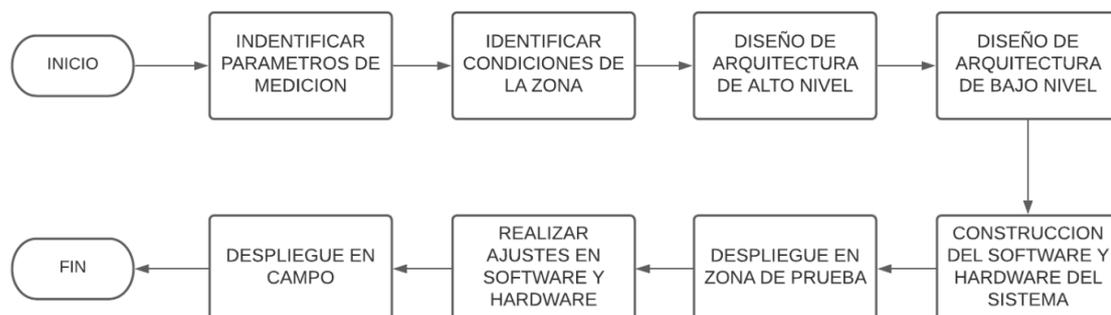
Una vez completados los diseños, se llevará a cabo la construcción y despliegue del sistema en dos fases. La primera fase consistirá en desarrollar y probar el sistema de forma parcial en un centro de investigación, sin considerar las condiciones ambientales, geográficas y de red específicas de la zona oriental del país. Esto se realizará en un entorno controlado con el objetivo de evaluar su desempeño inicial.

En la segunda fase, se desplegará el sistema completo en una zona de producción real, previo ajuste basado en los resultados obtenidos en la fase anterior. Esta etapa permitirá evaluar la eficacia y la capacidad del sistema para adaptarse a las condiciones reales de las granjas acuícolas en la zona oriental del Perú.

En resumen, el proceso de investigación se llevará a cabo siguiendo una metodología que abarca la identificación de parámetros de calidad de agua, el diseño de arquitectura, el diseño de bajo nivel, la construcción y despliegue en dos fases.

**Figura 2**

*Esquema Metodológico*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi asesor Pablo Alberto Rojas Jaen, quien me guió en el desarrollo; y a la Asociación de Productores Piscícolas de Campoverde, que puso a mi disposición sus instalaciones para la experimentación.

## REFERENCIAS

- Banco Central de Reserva del Perú. (2020). *BCRP - Series Trimestrales*. <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/trimestrales/pbi-millones-de-soles-constantes-de-2007>
- Encinas, C., Ruiz, E., Cortez, J., & Espinoza, A. (2017). Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture. *2017 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*. doi: 10.1109/wts.2017.7943540
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2020. Producto Bruto Interno Trimestral. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_pbi\\_trimestral\\_iit\\_2020.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_pbi_trimestral_iit_2020.pdf).
- Kang, M., Jung, Y., & Jang, D. (2017). A Study on the Search of Optimal Aquaculture farm condition based on Machine Learning. *The Journal Of The Institute Of Internet Broadcasting And Communication*, 17(2), 135-140. doi: 10.7236/jiibc.2017.17.2.135
- Manoharan, H., Teekaraman, Y., Kshirsagar, P., Sundaramurthy, S., & Manoharan, A. (2020). Examining the effect of aquaculture using sensor-based technology with machine learning algorithm. *Aquaculture Research*. doi: 10.1111/are.14821
- Ministerio de la Producción. PRODUCE. (2018). Sistema Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura, fundamentos y propuesta 2017-2022. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/ReporteInflacion/2019/diciembre/reporte-de-inflación-diciembre-2019.pdf>
- Ministerio de La Producción. PRODUCE. (2018). Plan Operativo Anual 2019. [http://www.pnipa.gob.pe/PDF/Plan\\_Operativo\\_Anual\\_2019.pdf](http://www.pnipa.gob.pe/PDF/Plan_Operativo_Anual_2019.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. s.f. *Los Pequeños Estanques*. Consultado el 10 October 2020. <http://www.fao.org/3/x7156s/x7156s02.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. 2020. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Prathibha, S. R., Hongal, A., & Jyothi, M. P. (2017). IOT Based Monitoring System in Smart Agriculture. 2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT). <https://doi.org/10.1109/icraect.2017.52>
- PROMPERU. (2005). Diagnóstico Del Sector Acuicultura Para El Desarrollo De Bionegocios En El Perú – Programa BTFP. Lima. Retrieved from [http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1445/Diagnostico\\_sector\\_acuicultura\\_desarrollo\\_bionegocios\\_Per%C3%BA\\_2005\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1445/Diagnostico_sector_acuicultura_desarrollo_bionegocios_Per%C3%BA_2005_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Shi, B., Sreeram, V., Zhao, D., Duan, S., & Jiang, J. (2018). A wireless sensor network-based monitoring system for freshwater fishpond aquaculture. *Biosystems Engineering*, 172, 57–66.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.05.016>

Zhu, X., Li, D., He, D., Wang, J., Ma, D., & Li, F. (2010). A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71, S3–S9.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.10.004>

## ANEXOS

### Datos del artículo publicado

- Nombre del artículo: SISTEMA DE MONITOREO DE AMBIENTE PARA EL CONTROL DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE LAS GRANJAS ACUÍCOLAS DE LA SELVA DEL PERÚ BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS
- Autores: ADRIAN ERNESTO LINO VILLARAN
- Co autor(es): -

### Publicación en revista

- Nombre de la revista: INTERFASES
- Volumen: -
- Número: 16
- Año: 2022
- Pp: 138 - 165
- Enlace web: <https://doi.org/10.26439/interfases2022.n016.6026>

## Art. Pub - Tesis

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[doaj.org](http://doaj.org)

Fuente de Internet

17%

2

[repositorio.upeu.edu.pe](http://repositorio.upeu.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[www.unv.org](http://www.unv.org)

Fuente de Internet

1%

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 15 words