



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE: INGENIERO DE SISTEMAS**

**CARRERA:  
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TEMA:  
“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA INFRAESTRUCTURA  
IOT PARA EL TRATAMIENTO EFICIENTE DE LOS DATOS EN LA  
ACUACULTURA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS”**

**AUTOR:  
SEBASTIAN ALBERTO PICO CALVA**

**TUTOR:  
ING. MIGUEL ÁNGEL QUIROZ MARTINEZ**

**JULIO 2021  
GUAYAQUIL-ECUADOR**

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, SEBASTIAN ALBERTO PICO CALVA, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del/los autor/es.

*Sebastian P*

**Firma Autor**



*Miguel A. Quiroz*  
**Firma:**  
**(Tutor): Miguel A. Quiroz Martínez**  
**C.I.: 0922798655**

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA INFRAESTRUCTURA IOT PARA EL TRATAMIENTO EFICIENTE DE LOS DATOS EN LA ACUACULTURA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS

Miguel Angel Quiroz Martinez<sup>1</sup> and Sebastián Alberto Pico Calva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, Chamber 227 y 5 de junio

mquiroz@ups.edu.ec, spicoc1@est.ups.edu.ec

**Resumen.** Lograr eficiencia en producciones de acuicultura representa una tarea de vital importancia para garantizar patrones de crecimientos adecuados. El monitoreo de los datos sobre el ambiente acuático permite incidir en las variables que son necesarias corregir. Los sistemas de IoT permiten la implementación de un monitoreo automatizado para identificar patrones de crecimiento a partir de las variables del entorno que inciden directamente en la producción acuícola. La investigación presentada tiene como objetivo desarrollar un análisis de factibilidad sobre la implementación de una infraestructura IoT para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura. Se obtuvo como resultado una representación del proceso de acuicultura mediante un modelo conceptual y la propuesta de arquitectura que satisface la implementación de una solución IoT para la acuicultura. Se realizó además un análisis de factibilidad basado en técnicas multicriterios con el empleo de expertos a partir del cual se obtuvo un índice de 0.88 considerado como muy factible la propuesta presentada.

**Palabras Claves:** acuicultura, IoT, análisis de factibilidad, ambiente acuático.

## Introducción

El cultivo de especies acuáticas, ya sean vegetales o animales, se realiza a partir de la implementación de diversas técnicas en entornos controlados; a esta práctica se le conoce como acuicultura, la cual ha emergido en Ecuador como una de las alternativas económicas y biológicamente viables para lograr la seguridad alimentaria e incrementar el desarrollo económico interno. Aunque actualmente se encuentra en alza su práctica en el territorio nacional, la acuicultura se ha desarrollado en Ecuador desde hace varias décadas.

El incremento de las actividades acuícolas en Ecuador contribuye a la generación de capital y al crecimiento económico. Como resultado de esta actividad son generados diversos productos alimenticios, materias primas destinadas al sector industrial y farmacéutico, y provee gran variedad de organismos vivos utilizados en la repoblación de especies en extinción o de alta demanda en el mercado [1].

Invertir en el desarrollo de la acuicultura no solo implica destinar el capital financiero, es necesario además transformar las estructuras acuícolas y los sistemas acuoindustriales indispensables para producir de manera armónica financiera y comercialmente. Las transformaciones en este sector deben ser sostenibles y bajo el asesoramiento de zootecnistas, ingenieros acuícolas, ingenieros pesqueros, investigadores ambientales, biólogos marinos y especialistas en innovación tecnológica [2].

Los centros acuícolas incluyen sistemas de cultivos muy diversos; pueden ser de agua dulce o agua de mar, y tienen como característica común la inclusión de instalaciones bajo parámetros totalmente controlados. En el entorno acuícola existen parámetros que varían la calidad del agua para el cultivo. Realizar un adecuado monitoreo y control del agua de cultivo garantiza un adecuado crecimiento y desarrollo de los organismos. Dentro de los parámetros estándar monitoreados en centros acuícolas se encuentra: nivel de temperatura, presencia de oxígeno disuelto, la salinidad, y el potencial de hidrogeno.

Una de las tendencias actuales en la producción a escala, es la instalación de sistemas de monitoreo automático, los cuales tienen gran aplicabilidad en el control de parámetros y estados ideales del ambiente, para desarrollar la acuicultura. El desarrollo tecnológico ha introducido una cantidad considerable de equipamiento de hardware, software y protocolos de comunicación que permiten identificar automáticamente la variabilidad de los parámetros de calidad del agua de cultivo y emite la correspondiente notificación para apoyar la toma de decisiones de los especialistas de las granjas de acuicultura [3].

Los sistemas de monitoreo integrados a los procesos acuícolas permiten identificar conductas de crecimiento, y los parámetros variables del entorno, que inciden directamente en la producción acuícola. Estos sistemas utilizan métodos automatizados continuos y no invasivos como la visión por ordenador [4]. Las infraestructuras IoT (Internet Of Things), se han introducido con éxito en entornos acuícolas como los descritos anteriormente, donde es necesario realizar una investigación exhaustiva sobre la selección y clasificación automatizada, comprender y optimizar los procesos, e introducir además, todo este procesamiento automatizado en las operaciones poscosecha, con el empleo de micro controladores integrados [5].

El IoT es una red de información global dinámica que consta de objetos conectados a Internet, como identificaciones de radiofrecuencia, sensores y actuadores, así como otros instrumentos y dispositivos inteligentes que conforman un componente integral de Internet [6, 7]. Las soluciones de IoT, se presentan como un mecanismo viable para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura en la provincia del Guayas, en Ecuador.

En este estudio se examina una variedad de soluciones de IoT populares e innovadoras en términos de perspectivas tecnológicas sensibles a la acuicultura; y se realiza una exploración sistemática de los productos de IoT existentes en el mercado que sean

potencialmente significativas para realizar un monitoreo constante de las condiciones acuícolas en la provincia de Guayas. Atendiendo a la situación antes descrita, se define objetivo de esta investigación realizar un análisis de factibilidad sobre la implementación de una infraestructura IoT para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura en la provincia del Guayas.

El estudio está estructurado en Introducción, Desarrollo y Resultados; al final se presentan las Conclusiones y las Referencias bibliográficas. En el Desarrollo se realiza un mapeo sistemático de las publicaciones científicas referentes al uso del método de trabajo mediante la innovación tecnológica de la IoT. En la sesión resultados se realiza el estudio de factibilidad para determinar si es viable la implementación de una infraestructura IoT para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura en la provincia del Guayas. Al finalizar, se presentan las discusiones y conclusiones del estudio realizado.

## **Materiales y métodos**

Con la evolución de las tecnologías, se han creado sistemas de monitoreo automático que permiten el control sistemático de los datos críticos del agua, y generan notificaciones de alerta cuando se identifican variaciones en los niveles de calidad preestablecidos. Problemas de este tipo han sido abortados a partir de las infraestructuras IoT, empleadas para encontrar condiciones ideales del agua donde las especies pueden ser reproducidas satisfactoriamente.

En la actualidad existen diferentes bases de datos de artículos científicos que agrupan temas relacionados con IoT. La presente investigación está orientada hacia el estudio de infraestructura de IoT para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura. Para el realizar el mapeo sistemático de la literatura científica sobre el objeto de estudio de la investigación se emplearon las fuentes de datos IEEE, Scielo, Scopus y la Thomson Reuters. Los buscadores utilizados fueron Science Research, Semantic Scholar, Google scholar, Science Direct e IEEE Xplore Digital Library.

Como parte de la definición del protocolo se determina la pregunta de investigación. El estudio se enfoca en responder la siguiente pregunta de investigación ¿Es viable la implementación de una infraestructura IoT para el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura?

Los criterios de inclusión o exclusión permiten extraer las posibles referencias de estudios primarios sobre el tema. Los criterios de selección definidos garantizan que exista una coherencia armónica entre el tema de estudio y la pregunta de investigación definida. El mapeo realizado permite la identificación de tendencias relacionadas sobre las investigaciones. El período de búsqueda estuvo comprendido en los últimos 5 años entre 2017-2021. Para la selección de estudios primarios se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Toda publicación científica relacionada con IoT en cuya estructura se realice análisis y discusiones en el tratamiento eficiente de los datos en la acuicultura.
- Se incluyeron estudios cuantitativos y cualitativos y por la comunidad científica.
- Se tomaron en cuenta fuentes de información en idiomas inglés y español.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de exclusión:

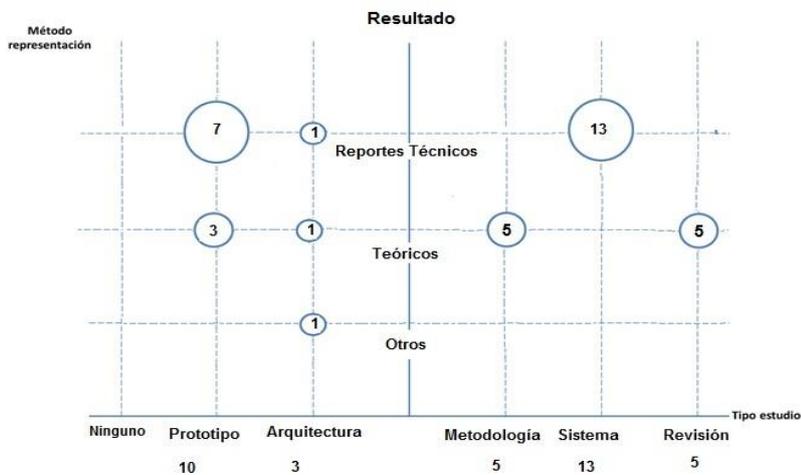
- Se excluyeron todos aquellos estudios sin revisiones por pares, los artículos sin diseño de investigación y opiniones de expertos (position paper) que no presentan evidencias.

La cadena fundamental de búsqueda utilizada en la base de datos fue: (IoT **OR** datos en la acuicultura **OR** aquaculture **OR** Internet of things).

Para identificar los trabajos primarios se realizaron filtros de: revisión de títulos, revisión de resumen o abstract. Las publicaciones que cumplieron con los criterios de filtrado se consideraron para su lectura y análisis de su contenido.

Una vez aplicado los criterios de exclusión e inclusión se realiza la concatenación de resultados de los posibles términos de búsquedas. Se obtiene un total de 206 trabajos de los cuales 36 cumple con los criterios de inclusión y exclusión definidos relacionados con el tema de investigación.

El mapeo sistemático permite obtener una vista de los estudios primarios. La Figura 1 muestra una vista completa del mapeo realizado en la forma de un gráfico de burbuja. Se clasifican los trabajos primarios según los criterios de análisis establecidos anteriormente.



**Figura 1.** Gráfico de burbujas mapeo sistemático.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra una aproximación con los trabajos identificados en el mapeo realizado. Se relaciona el origen de la información, el tipo de estudio y el resultado aportado con las referencias que avalan el aporte.

**Tabla 1:** Principales trabajos primarios identificados.

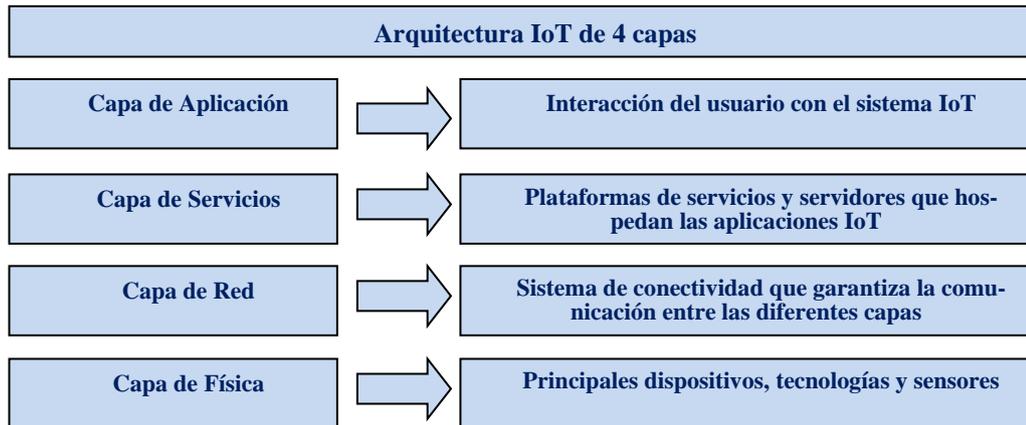
No	Autor	Año	Tipo de estudio	Resultado	Referencia
1	Manju, M	2017	Reporte técnico	Sistema	[8]
2	Sneha, PS	2017	Reporte técnico	Sistema	[9]
3	Encinas, C	2017	Reporte técnico	Sistema	[10]
4	Zhen, Zhumi	2017	Teórico	Metodología	[11]
5	Abraham, Shiny	2017	Teórico	Revisión	[12]
6	Valiente, F	2018	Reporte técnico	Prototipo	[13]
7	Dzulqornain, M	2018	Teórico	Metodología	[14]
8	Chen, Yingyi	2018	Teórico	Revisión	[15]
9	Dupont, C	2018	Teórico	Prototipo	[16]
10	Contreras, C	2018	Reporte técnico	Sistema	[17]
11	Ismail, W	2019	Reporte técnico	Sistema	[18]
12	Yongqiang, C	2019	Reporte técnico	Sistema	[19]
13	Yu, J	2019	Reporte técnico	Prototipo	[20]
14	Abinaya, M	2019	Teórico	Prototipo	[21]
15	Abinaya, T	2019	Teórico	Metodología	[22]
16	Abid, A	2019	Teórico	Metodología	[23]
17	Lafont, Maxime	2019	Reporte técnico	Prototipo	[24]
18	Bhawiyuga, A	2019	Reporte técnico	Sistema	[25]
19	Rosaline, N	2019	Reporte técnico	Sistema	[26]
20	Imai, T	2019	Reporte técnico	Sistema	[27]
21	Lou, Y	2019	Teórico	Revisión	[28]
22	Rohit, M	2019	Reporte técnico	Prototipo	[29]
23	Anand, R	2019	Reporte técnico	Prototipo	[30]
24	Huan, J	2020	Reporte técnico	Sistema	[31]
25	Shareef, Z	2020	Teórico	Arquitectura	[32]
26	Antonucci, F	2020	Teórico	Revisión	[33]
27	Wang, J	2020	Teórico	Metodología	[34]
28	Nguyen, Q	2020	Reporte técnico	Prototipo	[35]
29	Zhang, Z	2020	Reporte técnico	Sistema	[36]
30	Raju, K	2020	Reporte técnico	Sistema	[37]
31	Li, D	2020	Reporte técnico	Arquitectura	[38]
32	Hu, Zhuhua	2020	Reporte técnico	Prototipo	[39]
33	Javvaji, K	2020	Teórico	Prototipo	[40]
34	KP, R	2020	Reporte técnico	Sistema	[41]
35	Altoukhov, AV	2020	Reporte técnico	Sistema	[42]
36	Yang, Ling	2020	Teórico	Revisión	[43]

### Identificación de las principales arquitecturas IoT

La revisión bibliográfica evidencia que los avances en las tecnologías de la comunicación han allanado el camino para entornos ambientales donde la mayoría de los dispositivos electrónicos pueden conectarse a redes ubicuas para el monitoreo y recolección de datos. Las principales arquitecturas identificadas fueron:

- SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión [32]
- Plataforma inteligente para la acuicultura [39]

Las principales arquitecturas identificadas se estructuran en un modelo de referencia de 4 capas: Aplicación, Servicio, Red, Física. La figura 2 muestra una representación de la arquitectura en 4 capas analizada.



**Figura 2:** Arquitectura IoT de cuatro capas.

Fuente: Elaboración propia.

### Métodos

**Datos a evaluar:** Indicadores del ambiente acuático.

Indicadores del ambiente: Temperatura, humedad, nivel del agua, iluminación.

**Dispositivos a considerar:** Sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores iluminación, sensores de agua, sensores de luz, oxígeno disuelto.

**Alcance para la propuesta:**

- Encargado de la gestión de la información de un ambiente acuático y el proceso de reproducción de especies acuáticas.
- Medición de los parámetros del ambiente acuático.
- Proponer una infraestructura de IoT para el intercambio de datos acuáticos.
- Arquitectura de 4 capas.
- Se adopta la arquitectura propuesta por [32] y [38].
- Se visualizan las informaciones que apoyan a los usuarios en la toma de decisiones.
- Se utiliza proveedores para el almacenamiento en la nube que regulan la velocidad de procesamiento e intercambio de información.

**Características y consideraciones:**

- Dispositivos de bajo consumo de energía de 2.4 GHz
- Protocolo de comunicación: TCP / IP, la velocidad de transferencia de dato es 100 Mbps.

- Cada sensor no enviará una cantidad de información superior a los 8 bytes de datos por segundo.
- Se implementará un sistema de medición de las variables del ambiente acuáticas cada 10 minutos.

## Resultados

La presente sección realiza una descripción de los principales resultados obtenidos. Se realiza una representación de los diferentes conceptos que están presentes en el proceso que se modela a partir de un modelo conceptual. Se realiza una descripción de la propuesta de arquitectura IoT para el ambiente acuático y es realizado un análisis de factibilidad de la infraestructura tecnológica definida.

### Modelo Conceptual de IoT para la acuicultura

Un modelo conceptual ofrece una representación de los diferentes conceptos que intervienen en un proceso. La figura 3 muestra una representación del proceso productivo de acuicultura mediante un modelo.

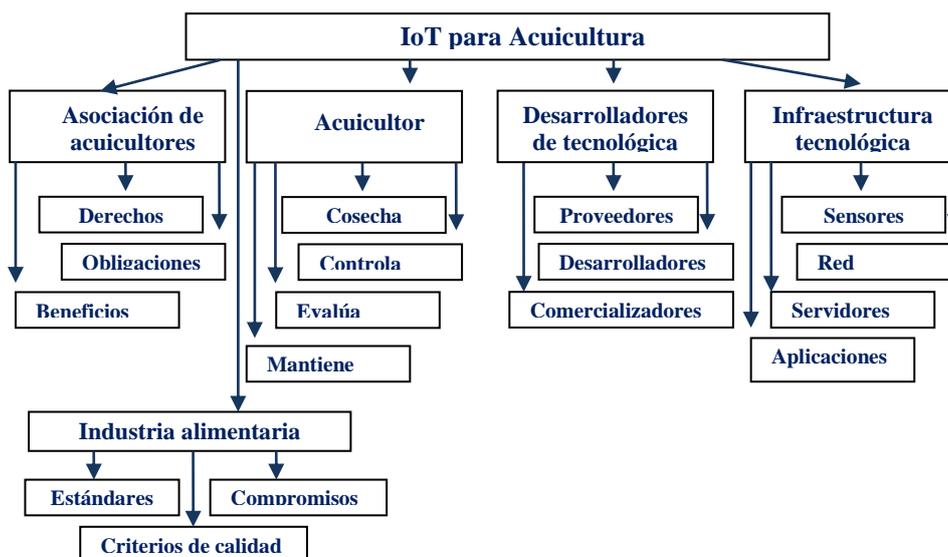


Figura 3: Representación del modelo conceptual en la acuicultura.

La figura 3 muestra una representación de los conceptos asociados al dominio del problema que se modela. El modelo presenta las principales entidades que interactúan en el en un proceso de acuicultura apoyado en IoT para la captura y procesamiento de los valores obtenidos.

El modelo conceptual inicia con la representación de la entidad asociación de acuicultores que son los que agrupan al conjunto de acuicultores. La entidad se encar-



Capa de Conexión: agrupa todos los dispositivos de interconexión físicos y lógicos que garanticen la transferencia de los datos obtenidos en el sistema de medición de los sensores hacia la capa de servicio utilizándose a internet.

Capa de servicios: ofrece los principales proveedores de servicio de IoT, sistemas gestores de bases de datos y servidores de aplicaciones dedicados. A partir de los datos generados en el sistema de medición de los sensores estos se envía hacia la capa de servicio mediante la capa de conexión. Cada dato es almacenado por los repositorios creados para este fin; esta capa facilita la información sobre las variables acuáticas. La capa de servicios permite el procesamiento de los datos a través de servicios web que actúan al momento que un acuicultor o cliente realice las solicitudes deseada.

Capa de aplicación: constituye la capa que interactúa directamente con los usuarios. Representa una interfaz web que puede ser visualizada mediante un ordenador o móvil para obtener los datos generados en el sistema de medición. En esta capa se generan informes, estadísticas y gráficas de comportamientos. El monitorio continuo garantiza las informaciones necesarias para apoyar la toma de decisiones referentes al proceso de producción. El usuario encargado del control del proceso puede tener el comportamiento en tiempo real de las variables ambientales: Temperatura, humedad, luz, sonido, agua.

#### **Análisis de eficiencia de la arquitectura de IoT propuesta**

Un indicador al que se le concede especial atención lo representa la eficiencia de la arquitectura. A partir de la ecuación (1) se determina el rendimiento promedio de la arquitectura a partir de un proceso de simulación.

$$P = 100 - \frac{1}{\frac{(Vt / bps) / 100000}{\sqrt{(St - Sn) * At * Su}}} \quad (1)$$

Donde:

- $P$  = la eficiencia o rendimiento de la arquitectura;
- $St$  = cantidad de sensores para recolección de datos;
- $Sn$  = cantidad de sensores no válidos;
- $At$  = cantidad de áreas donde se ubican los sensores;
- $Su$  = cantidad de sesiones de usuarios;
- $Vt$  = velocidad promedio de transmisión es 100 Mbps;
- $bps$  = 8 bytes por segundo

La simulación contó con 48 sensores a partir de la cual se logró un rendimiento para la arquitectura de un 95.25 %; el valor menos favorable determinado en la simulación correspondió con un 92.75 %. Los procesos de simulación garantizaron que la arquitectura mantiene estable y con buen rendimiento.

#### **Propuesta de factibilidad de la infraestructura**

**Económica:** son los costos que nos representará la elaboración del proyecto.

Tabla I. Hardware de conexión IoT

<b>Materiales</b>	<b>Precio</b>
Sensor de sonido	2.50
Sensor para oxígeno disuelto	42.00
Sensor para medir temperatura	25.00
Sensor para medir nivel	40.00
Sensor para medir humedad	40.00
Torre telescópica de aluminio, mástil de 10 metros	1097.00
Antena con Wifi de largo alcance	219.00
Punto de acceso de red	289.99
Router	194.99
Internet inalámbrico	30.00
Almacenamiento en la nube	59.99
Aplicación para dispositivos móviles	500.00
Sitio web	500.00
<b>Total</b>	<b>\$3040.47</b>

Los precios fueron tomados de alibaba.com el 20 de febrero del 2021.

#### **Requerimientos técnicos:**

- Especificaciones de Hardware: El servidor de aplicaciones en la nube debe tener: un Procesador con una velocidad de procesamiento igual o superior a 3 Ghz una memoria operativa destinada al proceso igual o superior a los 8 Gb, una capacidad de almacenamiento de 60 GB.
- Especificaciones del software: Sistema Operativo Linux Red Hat 4.2 (para el servidor), Java versión 8 o superior.

Para realizar el análisis de factibilidad se utiliza un enfoque multicriterio multiexperto. A partir del conjunto de criterios evaluativos se aplica una secuencia de tres actividades donde se establece un marco de evaluación, obteniendo información y se realiza la agregación. En la figura 5 se muestra un diagrama de flujo con las actividades definidas para el análisis de factibilidad.

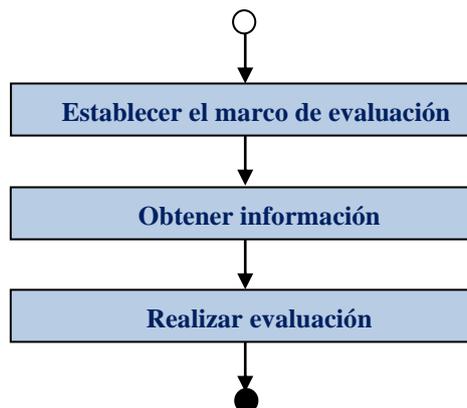


Figura 5: Actividades propuestas para la evaluación de factibilidad.

Formalización del marco de evaluación:

Selección de los criterios a tener en cuenta.

Donde  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$  con  $k \geq 2$  los criterios a ser evaluados,  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_j\}$  con  $j \geq 2$  los expertos.

A cada experto se le asignará un peso en dependencia de su grado de experticia y los criterios de acuerdo a su importancia.

La obtención de información se realiza según las preferencias definidas por los decisores. Con los datos se realiza la representación de la valoración de cada alternativa con respecto a los criterios. Al concluir, se construye el vector de utilidad [44]:

$V_j = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jn}\}$ , donde  $v_{jk}$  es la preferencia en relación al criterio  $c_k$  al experto  $E_j$ .

La valoración es representada mediante el conjunto de etiquetas lingüísticas representada mediante un modelo de 2-tuplas [45].

La evaluación parte de la función de agregación  $OAG: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$  que se obtiene a partir del proceso de agregación jerárquica. Se utiliza un modelo de puntuación lógica de preferencias [46].

La principal ventaja de implementar los operadores de agregación de forma jerárquica es elevar el grado de flexibilidad al método. En este tipo de modelo se obtienen directamente las preferencias del decisor y su expresión en los vectores de peso. Para el proceso de agregación se implementa el operador media potencia pesada lingüística (LWPM):

Dado  $X = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ , un conjunto de 2-tuplas lingüísticas, La  $r$ -ésima WPM lingüística (LWPM) es definida de la siguiente forma [47] :

$$M_n^{[r]}((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = (\sum_{i=1}^n \beta_i^r w_i)^{\frac{1}{r}} \quad (2)$$

donde  $w_i \in [0,1]$  y  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  y  $r$  puede ser seleccionadas para lograr propiedades lógicas deseadas [46]. Este proceso de evaluación ocurre en dos etapas en la primera se agregan las valoraciones de los expertos individuales y posteriormente se da una valoración colectiva. Finalmente se da una evaluación lingüística interpretable por los decisores en el modelo lingüístico de las 2 tuplas.

**Evaluación colectiva de factibilidad**

El proceso de evaluación colectiva de la propuesta por el grupo de experto de expertos utiliza el conjunto de etiquetas lingüísticas propuestas en la figura 6

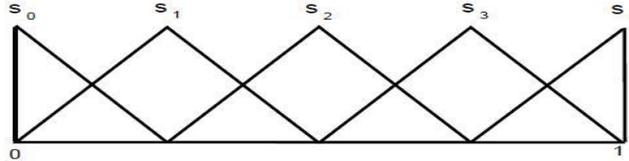


Figura 6: Conjunto de etiquetas utilizadas.

Los valores de las etiquetas lingüísticas se hacen corresponder con sus valores numéricos de pertenencia para poder realizar su procesamiento posteriormente. La tabla 2 muestra las etiquetas lingüísticas y sus correspondientes valores.

Tabla II: Conjunto de términos lingüísticos y sus valores numéricos.

No	Etiquetas	Valores numéricos
$s_0$	Muy bajo (MB)	(0.0,0.0,0.25)
$s_1$	Bajo (B)	(0.0,0.25,0.50)
$s_2$	Medio (M)	(0.25,0.50,0.75)
$s_3$	Alto(A)	(0.50,0.75,1)
$s_4$	Muy alto (MA)	(0.75,1,1)

Formalización del problema.

Sea E un conjunto de expertos que intervienen en el proceso representado por:

$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$

Sea C el conjunto de criterios evaluativos para realizar el análisis de factibilidad representado por:

$C = \{c_1, c_2, c_3\}$

Donde:

$c_1$  : Factibilidad Económica,

$c_2$  : Factibilidad Técnica,

$c_3$  : Factibilidad Social.

Cada experto realiza una valoración de cada criterio evaluativo. La tabla III muestra el resultado de los valores obtenidos.

Tabla III: Valoración de criterios por el grupo de experto.

Criterios	Grupo de expertos						
	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$

$C_1$	$S_3$	$S_2$	$S_3$	$S_3$	$S_4$	$S_3$	$S_2$
$C_2$	$S_3$	$S_3$	$S_4$	$S_4$	$S_4$	$S_3$	$S_4$
$C_3$	$S_4$						

A partir de los valores emitido por los expertos se realiza una representación a partir de la estructura de agregación jerárquica. El proceso se realiza a partir de un proceso de agregación de información. La agregación utilizada se basa en la propuesta de [48], [49].

La tabla IV muestra el resultado de la agregación en un proceso de dos etapas inicialmente de acuerdo con los criterios (TABLA III).

Tabla IV: Proceso de agregación individual.

Entradas iniciales	Operador	ID del bloque
$C1$	$0.71$	Evaluación de Factibilidad Individual
$C2$	$0.92$	
$C3$	$1$	

Finalmente se da una evaluación colectiva (Tabla V).

Tabla V: Proceso de agregación colectiva.

Entradas iniciales	Operador	ID del bloque
$e_1$	$0.91$	Evaluación de Factibilidad Colectiva
$e_2$	$0.75$	
$e_3$	$0.91$	
$e_4$	$0.91$	
$e_5$	$1$	
$e_6$	$0.83$	
$e_7$	$0.83$	
<b>Valor agregado</b>	<b><math>0.88</math></b>	

Después del realizar el proceso de agregación se obtiene como valores resultante de proceso de agregación una valoración de (0.88). El resultado expresado se corresponde con una alta factibilidad a partir del criterio emitido por los expertos.

## Conclusiones

En la provincia del Guayas, la acuicultura es una actividad económica asentada, sin embargo, existe un número importante de estanques de cultivos que necesitan automatizar parte de sus procesos, para aumentar su productividad, calidad, eficiencia y productividad.

Como alternativa de factibilidad para el monitoreo sistemático de los parámetros del agua de cultivo en la provincia del Guayas, se identificó la implementación de una infraestructura IoT, para la identificación de las condiciones idóneas para el cultivo. A través de la IoT se puede recolectar información que permite a los profesionales acuícolas conocer los datos concretos de parámetros como temperatura, humedad, nivel del agua y la intensidad de la luz, entre otros datos beneficiosos para estanques de pequeño y gran formato.

Para determinar la factibilidad de la propuesta de implementación de una alternativa de IoT para el control de producciones en acuicultura se realizó una valoración mediante el criterio de expertos donde se obtuvo después del proceso de evaluación un índice de factibilidad de un 0.88 considerado como altamente factible.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, por su contribución en el proceso de formación.

## Referencias

- [1] G. Barnabé, and E. C. Martínez, *Bases biológicas y ecológicas de la acuicultura*: Acribia Zaragoza, 1996.
- [2] M. d. P. VITERI, and M. C. TAPIA, "Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio," *Revista Espacios*, vol. 39, no. 32, 2018.
- [3] M. OLIVO GUTIÉRREZ, *Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón*, Instituto Tecnológico de Colima, 2018.
- [4] S. Xu, X. Wang, G. Yang, J. Ren, and S. Wang, "Routing optimization for cloud services in SDN-based Internet of Things with TCAM capacity constraint," *Journal of Communications and Networks*, vol. 22, no. 2, pp. 145-158, 2020.
- [5] M. M. Wang, J. Zhang, and X. You, "Machine-Type Communication for Maritime Internet of Things: A Design," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 4, pp. 2550-2585, 2020.
- [6] M. A. Bouras, F. Farha, and H. Ning, "Convergence of computing, communication, and caching in Internet of Things," *Intelligent and Converged Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 18-36, 2020.

- [7] M. A. Bhatti, R. Riaz, S. S. Rizvi, S. Shokat, F. Riaz, and S. J. Kwon, "Outlier detection in indoor localization and Internet of Things (IoT) using machine learning," *Journal of Communications and Networks*, vol. 22, no. 3, pp. 236-243, 2020.
- [8] M. Manju, V. Karthik, S. Hariharan, and B. Sreekar, "Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on Internet of Things," *2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM)*, pp. 943-948, 2017.
- [9] P. Sneha, and V. Rakesh, "Automatic monitoring and control of shrimp aquaculture and paddy field based on embedded system and IoT," *2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*, pp. 1085-1089, 2017.
- [10] C. Encinas, E. Ruiz, J. Cortez, and A. Espinoza, "Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture," *2017 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, pp. 1-7, 2017.
- [11] Z. Zhen, L. Wang, and Y. e. Zhang, "Aquaculture information recommendation based on collaborative filtering algorithm and web logs," *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 33, no. 1, pp. 260-265, 2017.
- [12] S. Abraham, A. Shahbazian, K. Dao, H. Tran, and P. Thompson, "An Internet of Things (IoT)-based aquaponics facility," *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 1-1, 2017.
- [13] F. L. Valiente, R. G. Garcia, E. J. A. Domingo, S. M. T. Estante, E. J. L. Ochaves, J. C. C. Villanueva, and J. R. Balbin, "Internet of things (IOT)-based mobile application for monitoring of automated aquaponics system," *2018 IEEE 10th international conference on humanoid, nanotechnology, information technology, communication and control, environment and management (HNICEM)*, pp. 1-6, 2018.
- [14] M. I. Dzulqornain, M. U. H. Al Rasyid, and S. Sukaridhoto, "Design and development of smart aquaculture system based on IFTTT model and cloud integration," *MATEC Web of Conferences*, vol. 164, pp. 01030, 2018.
- [15] Y. Chen, H. Yu, Y. Cheng, Q. Cheng, and D. Li, "A hybrid intelligent method for three-dimensional short-term prediction of dissolved oxygen content in aquaculture," *Plos one*, vol. 13, no. 2, pp. e0192456, 2018.
- [16] C. Dupont, P. Cousin, and S. Dupont, "IoT for aquaculture 4.0 smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT," *2018 Global Internet of Things Summit (GloTS)*, pp. 1-5, 2018.
- [17] C. Contreras, J. A. Molina, P. Osma, and D. Zambrano, "Development of a system for the acquisition and remote transmission of water quality based on the internet of things (iot) for aquaculture," 2018.
- [18] W. Ismail, N. Shinohara, S. Nameh, W. Boonsong, S. Alifah, K. H. Kamaludin, and T. Anwar, "Development of Smart Aquaculture Quality Monitoring (AQM) System with Internet of Things (IoT)," *Malaysia: IEEE*, 2019.
- [19] C. Yongqiang, L. Shaofang, L. Hongmei, T. Pin, and C. Yilin, "Application of Intelligent Technology in Animal Husbandry and Aquaculture Industry," *2019 14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, pp. 335-339, 2019.

- [20] J.-H. Yu, F.-Y. Chang, C.-H. Tseng, and C.-H. Wu, "Construction of Internet of Things System in Coastal Aquaculture Environment," *International Conference on Intelligent Computing and its Emerging Applications (ICEA)*, pp. 97-100, 2019
- [21] M. Abinaya, S. Survenya, R. Shalini, P. Sharmila, and J. Baskaran, "Design and Implementation of Aquaculture Monitoring and Controlling System," *2019 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, pp. 232-235, 2019.
- [22] T. Abinaya, J. Ishwarya, and M. Maheswari, "A Novel Methodology for Monitoring and Controlling of Water Quality in Aquaculture using Internet of Things (IoT)," *2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, pp. 1-4, 2019.
- [23] A. Abid, C. Dupont, F. Le Gall, A. Third, and F. Kane, "Modelling Data for A Sustainable Aquaculture," *2019 Global IoT Summit (GloTS)*, pp. 1-6, 2019.
- [24] M. Lafont, S. Dupont, P. Cousin, A. Vallauri, and C. Dupont, "Back to the future: IoT to improve aquaculture: Real-time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs," *2019 Global IoT Summit (GloTS)*, pp. 1-6, 2019.
- [25] A. Bhawiyuga, K. Amron, R. Pramanandha, D. P. Kartikasari, H. Arijudin, and D. A. Prabandari, "LoRa-MQTT gateway device for supporting sensor-to-cloud data transmission in smart aquaculture IoT application," *2019 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, pp. 187-190, 2019.
- [26] N. Rosaline, and S. Sathyalakshimi, "IoT Based Aquaculture Monitoring and Control System," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1362, no. 1, pp. 012071, 2019.
- [27] T. Imai, K. Arai, and T. Kobayashi, "Smart Aquaculture System: A Remote Feeding System with Smartphones," *2019 IEEE 23rd International Symposium on Consumer Technologies (ISCT)*, pp. 93-96, 2019.
- [28] Y. Lou, L. Chen, F. Ye, Y. Chen, and Z. Liu, "Research and Implementation of an Aquaculture Monitoring System Based on Flink, MongoDB and Kafka," *International Conference on Computational Science*, pp. 648-657, 2019.
- [29] M. H. Rohit, Z. T. Hoque, S. M. Karim, and S. Siddique, "Cost Efficient Automated Pisciculture Assistance System Using Internet of Things (IoT)," *2019 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Research & Practices for the Internet of Things (SERP4IoT)*, pp. 49-52, 2019.
- [30] R. Anand, and M. Choudhary, "Water Quality Monitoring for Horticulture and Aquaculture," *International Conference on Intelligent Computing, Information and Control Systems*, pp. 345-356, 2019.
- [31] J. Huan, H. Li, F. Wu, and W. Cao, "Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT," *Aquacultural Engineering*, vol. 90, pp. 102088, 2020.
- [32] Z. Shareef, and S. Reddy, "Design and development of IoT-based framework for indian aquaculture," *Intelligent Communication, Control and Devices*, pp. 195-201: Springer, 2020.
- [33] F. Antonucci, and C. Costa, "Precision aquaculture: a short review on engineering innovations," *Aquaculture International*, vol. 28, no. 1, pp. 41-57, 2020.

- [34] J. Wang, H. Cheng, S. Yuan, Q. Wang, L. Shu, and C. Zhang, "Design and Research of the Intelligent Aquaculture Monitoring System Based on the Internet of Things," *Data Processing Techniques and Applications for Cyber-Physical Systems (DPTA 2019)*, pp. 1439-1445: Springer, 2020.
- [35] Q. H. Nguyen, T. T. G. Vu, and Q. Le Vu, "Application of the Internet of Things technology (IoT) in designing an automatic water quality monitoring system for aquaculture ponds," *Tap chi Khoa hoc Nong nghiep Viet Nam/Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 624-635, 2020.
- [36] Z. Zhang, W. Mao, Z. Wang, X. Tan, F. Wu, D. Wang, and X. Fang, "Development of remote monitoring system for aquaculture water quality based on Internet of Things," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 768, no. 5, pp. 052033, 2020.
- [37] K. R. S. R. Raju, and G. H. K. Varma, "Knowledge based real time monitoring system for aquaculture using IoT," *2017 IEEE 7th international advance computing conference (IACC)*, pp. 318-321, 2017.
- [38] D. Li, Z. Miao, F. Peng, L. Wang, Y. Hao, Z. Wang, T. Chen, H. Li, and Y. Zheng, "Automatic counting methods in aquaculture: A review," *Journal of the World Aquaculture Society*, 2020.
- [39] Z. Hu, R. Li, X. Xia, C. Yu, X. Fan, and Y. Zhao, "A method overview in smart aquaculture," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 8, pp. 1-25, 2020.
- [40] K. S. S. Javvaji, and M. A. Hussain, "Prototype of Aquaculture using IoT Technologies," *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pp. 1-4, 2020.
- [41] R. A. H. KP, and V. Harigovindan, "Water Quality Monitoring and Reporting System for Aquaculture with Solar Energy Harvesting," *2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)*, pp. 66-70, 2020.
- [42] A. Altoukhov, "Industrial product platforms and blockchain in aquaculture," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 421, no. 4, pp. 042021, 2020.
- [43] L. Yang, Y. Liu, H. Yu, X. Fang, L. Song, D. Li, and Y. Chen, "Computer Vision Models in Intelligent Aquaculture with Emphasis on Fish Detection and Behavior Analysis: A Review," *Archives of Computational Methods in Engineering*, pp. 1-32, 2020.
- [44] M. Espinilla, R. de Andrés, F. J. Martínez, and L. Martínez, "A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria," *Information Sciences*, vol. 222, pp. 459-471, 2013.
- [45] D. F. Specht, "A general regression neural network," *IEEE transactions on neural networks*, vol. 2, no. 6, pp. 568-576, 1991.
- [46] J. J. Dujmović, and H. Nagashima, "LSP method and its use for evaluation of Java IDEs," *International journal of approximate reasoning*, vol. 41, no. 1, pp. 3-22, 2006.
- [47] S. H. S. Al-Subhi, G. S. S. Mahdi, M. V. Alava, M. P. Y. P. Pérez, and M. L. Vázquez, "Operador media potencia pesada lingüística y su aplicación en la toma de

- decisiones,” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 22, no. 1, pp. 38-43, 2017.
- [48] T. Gyorgy, G. Suciu, and T. L. Militaru, "Classification of on-line students using an expert system over open source, distributed cloud computing system." p. 566.
- [49] A. Tapia-Rosero, A. Bronselaer, R. De Mol, and G. De Tré, "Fusion of preferences from different perspectives in a decision-making context,” *Information Fusion*, vol. 29, pp. 120-131, 2016.