



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i2.4823>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Multitrophic culture of tilapia (*oreochromis sp*) and freshwater crayfish (*procambarus clarkii*), monitoring water parameters with IoT software

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp.*) e lagostim de água doce (*Procambarus clarkii*), com monitorização dos parâmetros da água através de software IoT.

Lorena Isabel Mejía Burgos ^I

lorena.mejiab@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3593-595X>

Jorge Eduardo Cevallos Zhunio ^{II}

jorge.cevallosz@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8976-2973>

Marcelo Erik Zambrano Alarcón ^{III}

marcelo.zambranoa@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8833-7190>

Rafael Fernando Montenegro Ramirez ^{IV}

rafael.montenegror@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4184-5862>

Aldo José Loqui Sánchez ^V

aldo.loquis@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8953-5105>

Correspondencia: lorena.mejiab@ug.edu.ec

***Recibido:** 20 de marzo de 2026 ***Aceptado:** 10 de abril de 2026 *** Publicado:** 07 de mayo de 2026

- I. Magister en Ciencias, Manejo Sustentable de Biorecursos y Medio Ambiente, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- II. Magister en Sistemas de Información mención en Inteligencia de Negocios, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- III. Magister en Educación Agropecuaria mención Desarrollo Sostenible, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- IV. Magister en Educación Superior Investigación E Innovaciones Pedagógicas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- V. Magister en Riego y Drenaje, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño productivo de un sistema de cultivo multitrófico integrado (IMTA) entre tilapia (*Oreochromis sp.*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), mediante el análisis de variables productivas y el monitoreo continuo de parámetros físico-químicos del agua, apoyado en tecnología basada en el Internet de las Cosas (IoT).

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, experimental y longitudinal, en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Se utilizaron cuatro tanques tipo IBC de 1000 L, equipados con sistemas independientes de aireación y drenaje, así como sensores para el registro en tiempo real de temperatura, pH y turbidez, integrados a la plataforma IoT ThingSpeak. El diseño experimental incluyó dos tratamientos testigo y dos tratamientos con inclusión de harina hidropónica de maíz al 5 % y 10 % en la dieta, durante un periodo de seis meses.

Se evaluaron variables productivas como peso, talla, tasa específica de crecimiento (TEC), factor de conversión alimenticia (FCA) y mortalidad. En tilapia, se detectaron diferencias significativas en el peso final entre tratamientos ($p < 0,05$), destacando el tratamiento con 10 % de inclusión, mientras que la talla final no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$). La TEC osciló entre 1,65 y 1,87 %/día, con una reducción del FCA desde valores cercanos a 1,95 en los testigos hasta 1,55 en el tratamiento al 10 %, acompañada de menor mortalidad. En langosta no se observaron diferencias significativas en peso ni talla, aunque se evidenció una tendencia a mejor desempeño en los tratamientos suplementados.

Se concluye que la integración de tecnología IoT y el uso de harina hidropónica de maíz contribuyen a mejorar la eficiencia productiva, especialmente en tilapia, fortaleciendo la sostenibilidad del sistema acuícola.

Palabras clave: acuicultura; IoT; cultivo multigráfico; calidad del agua; indicadores productivos.

Abstract

This study aimed to evaluate the productive performance of an integrated multitrophic aquaculture (IMTA) system for tilapia (*Oreochromis sp.*) and freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*) by analyzing production variables and continuously monitoring the water's physicochemical parameters, supported by Internet of Things (IoT) technology.

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software IoT

The research was conducted using a quantitative, experimental, and longitudinal approach at the Faculty of Natural Sciences of the University of Guayaquil. Four 1000 L IBC tanks were used, equipped with independent aeration and drainage systems, as well as sensors for real-time recording of temperature, pH, and turbidity, integrated with the ThingSpeak IoT platform. The experimental design included two control treatments and two treatments with the inclusion of hydroponic corn flour at 5% and 10% in the diet, over a period of six months.

Productive variables such as weight, size, specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), and mortality were evaluated. In tilapia, significant differences in final weight were detected between treatments ($p < 0.05$), with the 10% inclusion treatment showing the greatest difference, while final size did not show significant differences ($p > 0.05$). SGR ranged from 1.65 to 1.87%/day, with a reduction in FCR from values close to 1.95 in the control group to 1.55 in the 10% inclusion treatment, accompanied by lower mortality. In lobster, no significant differences in weight or size were observed, although a trend toward better performance was evident in the supplemented treatments.

It is concluded that the integration of IoT technology and the use of hydroponic corn flour contribute to improved production efficiency, especially in tilapia, strengthening the sustainability of the aquaculture system.

Keywords: aquaculture; IoT; multi-frame culture; water quality; production indicators.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo de um sistema integrado de aquacultura multitrófica (IMTA) para a tilápia (*Oreochromis sp.*) e lagostim de água doce (*Procambarus clarkii*) através da análise de variáveis de produção e monitorização contínua dos parâmetros físico-químicos da água, com o auxílio da tecnologia da Internet das Coisas (IoT).

A investigação foi conduzida utilizando uma abordagem quantitativa, experimental e longitudinal na Faculdade de Ciências Naturais da Universidade de Guayaquil. Foram utilizados quatro tanques IBC de 1000 L, equipados com sistemas de arejamento e drenagem independentes, bem como sensores para registo em tempo real da temperatura, pH e turbidez, integrados na plataforma IoT ThingSpeak. O desenho experimental incluiu dois tratamentos testemunha e dois tratamentos com a inclusão de farinha de milho hidropónica a 5% e 10% na dieta, durante um período de seis meses.

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Foram avaliadas variáveis produtivas como o peso, o tamanho, a taxa de crescimento específico (TCE), a taxa de conversão alimentar (TCA) e a mortalidade. Na tilápia foram detetadas diferenças significativas no peso final entre os tratamentos ($p < 0,05$), sendo que o tratamento com 10% de inclusão apresentou a maior diferença, enquanto o tamanho final não apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$). A taxa de crescimento específico (SGR) variou de 1,65 a 1,87%/dia, com uma redução da taxa de conversão alimentar (FCR) de valores próximos de 1,95 no grupo controle para 1,55 no tratamento com 10% de inclusão, acompanhada de menor mortalidade. Na lagosta não foram observadas diferenças significativas no peso ou no tamanho, embora tenha sido evidente uma tendência para um melhor desempenho nos tratamentos suplementados.

Conclui-se que a integração da tecnologia IoT e a utilização de farinha de milho hidropónica contribuem para a melhoria da eficiência da produção, especialmente na tilápia, fortalecendo a sustentabilidade do sistema de aquacultura.

Palavras-chave: aquacultura; IoT; cultivo multi-frame; qualidade da água; indicadores de produção.

Introducción

La acuicultura representa una de las principales alternativas para satisfacer la creciente demanda de alimentos a nivel mundial, permitiendo la producción controlada de organismos acuáticos bajo condiciones técnicas específicas (FAO, 2022). Dentro de este contexto, los sistemas de acuicultura multitrófica integrada han ganado relevancia debido a su capacidad para optimizar el uso de recursos y reducir impactos ambientales (Naspirán et al., 2022).

En estos sistemas, especies de diferentes niveles tróficos interactúan de manera complementaria, aprovechando los residuos generados en el sistema productivo. Sin embargo, la eficiencia de estos sistemas depende directamente de la estabilidad de la calidad del agua, ya que la acumulación de materia orgánica puede generar condiciones adversas como estrés, enfermedades y mortalidad.

Tradicionalmente, el mantenimiento de estanques acuícolas se ha basado en prácticas empíricas como el recambio de agua y la limpieza de sedimentos. No obstante, estas estrategias presentan limitaciones en la detección oportuna de cambios críticos. En este sentido, el uso de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) ha permitido mejorar significativamente el monitoreo acuícola mediante la medición en tiempo real de parámetros clave como pH, temperatura y turbidez.

El presente estudio tiene como objetivo analizar un cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), mediante el monitoreo de los parámetros del agua

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software IoT

utilizando software IoT, para lo cual se implementó la infraestructura (tuberías, tanques, cubierta, tecnologías, sistema eléctrico, entre otros), que permitió determinar la Tasa Específica de Crecimiento (TEC), el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) y el porcentaje de mortalidad en los organismos cultivados.

La tecnología IoT integra el desarrollo de componentes de hardware y software con el propósito de ejecutar funciones específicas dentro de un sistema interconectado. Cada dispositivo vinculado a Internet dispone de una dirección IP, lo que le permite recibir instrucciones y transmitir la información recopilada. Asimismo, la arquitectura de IoT, fundamentada en la norma ISO/IEC 30141:2018, contempla la interacción de entidades físicas y digitales, tableros de monitoreo y usuarios tanto internos como externos (Sugiharto & Kaburuan, 2023).

Métodos

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, longitudinal y completamente aleatorizado, en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, ubicada en la Avenida Las Aguas, Campus Norte, en las proximidades de la ciudadela Martha de Roldós.

Se llevaron a cabo dos ensayos consecutivos, cada uno con una duración de seis meses, con el propósito de evaluar el efecto de la inclusión de harina hidropónica de maíz en la dieta de un sistema de cultivo multitrófico conformado por tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*).

Infraestructura del sistema acuícola

Se implementaron cuatro unidades experimentales utilizando tanques tipo IBC, cada uno equipado con un sistema de aireación independiente, mecanismos de ingreso y drenaje de agua, sensores para monitoreo continuo y una estructura metálica de soporte que garantizó estabilidad y seguridad operativa. Cada tanque fue poblado con 60 tilapias (*Oreochromis sp*) y 10 langostas de agua dulce (*Procambarus clarkii*), manteniendo una biomasa inicial homogénea en todas las unidades experimentales con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados y la validez del diseño experimental.

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software IoT



Figura 1 Infraestructura del cultivo multitrófico

El sistema de monitoreo IoT estuvo conformado por componentes de hardware y software integrados. En cuanto al hardware, se utilizaron placas Arduino Uno, un microcontrolador ESP32 y sensores para la medición de pH, temperatura y turbidez. En el ámbito del software, se empleó el entorno de desarrollo Arduino IDE, la plataforma IoT ThingSpeak y el protocolo de comunicación MQTT. Este sistema permitió la recolección, transmisión y visualización de datos en tiempo real, facilitando una gestión eficiente del cultivo mediante la toma de decisiones basada en información continua y precisa.

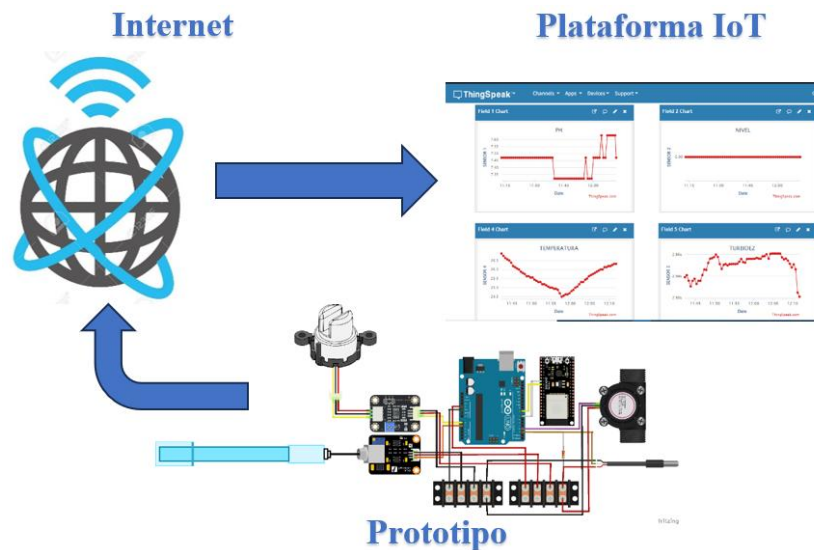


Figura 2 Arquitectura del Prototipo IoT

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis* sp) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Mantenimiento de los cultivos

Durante el desarrollo del estudio, la presencia de fitoplancton en el sistema fue evidente, manteniéndose dentro de niveles controlados y sin generar efectos negativos sobre la calidad del agua. Este comportamiento estuvo influenciado por el uso de tanques tipo IBC de material blanco traslúcido, los cuales permiten el paso de la luz solar, favoreciendo los procesos de fotosíntesis y el crecimiento de fitoplancton y algas. No obstante, su proliferación fue regulada eficazmente mediante la aplicación de estrategias de manejo que evitaron desequilibrios en el sistema, contribuyendo al mantenimiento de condiciones óptimas para el desarrollo de las especies cultivadas.

El mantenimiento del sistema se realizó mediante la integración de métodos tradicionales y modernos de forma complementaria. Entre las prácticas tradicionales se incluyeron el recambio parcial de agua en un rango del 10–20 % del volumen total, el sifoneo y la remoción de sedimentos acumulados, así como el control visual continuo del estado del cultivo. En este contexto, a pesar de que la langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*) es una especie bentónica que habita en el fondo de los tanques y genera procesos naturales de bioturbación, la remoción de sedimentos se realizó de manera parcial, selectiva y controlada, evitando alterar significativamente su hábitat y comportamiento. Por su parte, los métodos modernos consistieron en el monitoreo continuo de los parámetros físico-químicos mediante sensores IoT, el registro digital de datos y la generación de alertas tempranas. La combinación de estas estrategias permitió un control eficiente de variables como la turbidez y el oxígeno disuelto, evitando proliferaciones excesivas de fitoplancton y garantizando la estabilidad y sostenibilidad del sistema acuícola.



Figura 3 Recambio parcial de agua

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Diseño experimental

Para la implementación experimental se utilizaron cuatro unidades experimentales independientes, constituidas por tanques tipo IBC de 1000 L, cada uno equipado con sistemas de ingreso y drenaje para recambios parciales controlados, aireación independiente y sensores interconectados mediante tecnología basada en el Internet de las Cosas (IoT). Adicionalmente, se realizaron mediciones manuales periódicas con el fin de validar la precisión y correcto funcionamiento del sistema de monitoreo digital.

Con el objetivo de garantizar la validez interna del experimento, cada unidad experimental fue sembrada con una biomasa inicial homogénea, conformada por 60 individuos de tilapia y 10 individuos de langosta, todos en fases iniciales de desarrollo. En consecuencia, el sistema de cultivo estuvo conformado por un total de 240 tilapias y 40 langostas, distribuidas equitativamente entre las cuatro unidades experimentales.

La variable independiente del estudio estuvo determinada por el tipo de alimentación, mientras que las variables dependientes correspondieron a los indicadores productivos: peso, talla, tasa específica de crecimiento (TEC), factor de conversión alimenticia (FCA) y porcentaje de mortalidad.

El diseño experimental incluyó dos unidades testigo alimentadas con una dieta comercial y dos unidades con dietas suplementadas con harina hidropónica de maíz al 5 % y 10 %, respectivamente, lo que permitió evaluar el efecto de diferentes niveles de inclusión del suplemento sobre el desempeño productivo del sistema multitrófico durante el periodo experimental.

Los indicadores productivos fueron calculados mediante fórmulas estandarizadas.

Tasa Específica de Crecimiento (TEC)

$$TEC = \frac{\ln(Pf) - \ln(Pi)}{t} \times 100$$

La Tasa Específica de Crecimiento (TEC) se calculó como el incremento relativo del peso de los organismos en función del tiempo, utilizando logaritmos naturales para describir el crecimiento exponencial. Para su determinación se emplearon los pesos inicial y final expresados en gramos (g) y el tiempo en días, lo que permitió obtener un indicador porcentual diario del crecimiento. Este parámetro facilita la comparación del desempeño productivo entre tratamientos, al reflejar la velocidad de crecimiento de los organismos bajo diferentes condiciones experimentales. Pf corresponde al peso final, Pi al peso inicial y t al tiempo en días.

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis* sp) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Factor de Conversión Alimenticia (FCA)

$$FCA = \frac{\text{Alimento}}{\text{Ganancia biomasa}}$$

El Factor de Conversión Alimenticia (FCA) se calculó como la relación entre la cantidad total de alimento suministrado y la ganancia de biomasa, expresados en gramos, asegurando la homogeneidad de unidades para la correcta estimación del indicador.

Mortalidad

$$\text{Mortalidad} = \frac{Ni - Nf}{Ni} \times 100$$

El porcentaje de mortalidad se determinó como la proporción de organismos que no sobrevivieron durante el periodo experimental, en relación con el número inicial de individuos. Para su cálculo se utilizaron el número inicial (N_i) y el número final (N_f) de organismos, expresándose el resultado en porcentaje. Este indicador permitió evaluar la supervivencia de las especies bajo las condiciones del sistema multitrófico, así como la influencia de los tratamientos aplicados y la estabilidad de los parámetros de calidad del agua sobre la viabilidad biológica del cultivo.

El muestreo se realizó de forma bimensual, seleccionando aleatoriamente 22 tilapias y 5 langostas por unidad experimental, registrando variables como peso y talla bajo condiciones controladas durante horas de la mañana para minimizar el estrés de los organismos.



Figura 4 Toma de muestras

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software IoT

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico mediante análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (DMS), utilizando el software IBM SPSS Statistics. Los datos se expresaron como media \pm desviación estándar, estableciendo diferencias estadísticamente significativas cuando $P < 0,05$.

Tabla 1 Peso y talla finales de tilapia y langosta por tratamiento, con grupos estadísticos derivados de la prueba de Tukey ($P < 0,05$)

Especie	Tratamiento	Peso final (g)	Grupo (Tukey)	Talla final (cm)	Grupo (Tukey)
Tilapia	Testigo 1	143,5 \pm 21,0	a	17,25 \pm 1,16	a
Tilapia	Testigo 2	137,5 \pm 12,3	a	16,91 \pm 1,12	a
Tilapia	5%	159,4 \pm 13,2	ab	16,29 \pm 0,69	a
Tilapia	10%	180,5 \pm 15,5	b	17,60 \pm 1,01	a
Langosta	Testigo 1	28,5 \pm 3,6	a	8,08 \pm 1,04	a
Langosta	Testigo 2	29,0 \pm 4,3	a	8,51 \pm 1,36	a
Langosta	5%	32,3 \pm 3,5	a	9,11 \pm 1,22	a
Langosta	10%	31,9 \pm 3,0	a	8,94 \pm 1,43	a

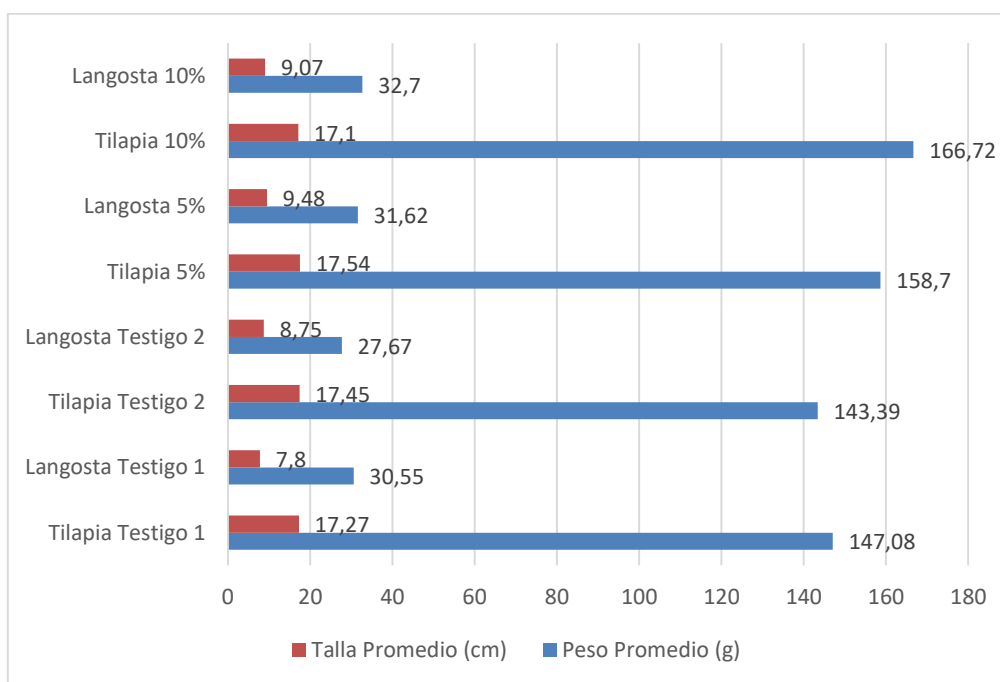


Figura 5 Talla y peso promedio de especie por tratamiento a los 6 meses

Cultivo multitrófico de tilapia (*Oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

Resultados

Calidad de agua

Los resultados del monitoreo de la calidad del agua evidencian que los parámetros físico-químicos se mantuvieron dentro de los rangos óptimos durante ambos ensayos experimentales. El pH presentó valores de $7,2 \pm 0,3$ en el ensayo 1 y $7,4 \pm 0,2$ en el ensayo 2, situándose dentro del rango adecuado para el desarrollo de organismos acuáticos (6,5–8,2). De manera similar, la temperatura se mantuvo estable, con promedios de $27,1 \pm 0,8$ °C y $27,5 \pm 0,6$ °C, respectivamente, valores que favorecen el metabolismo y crecimiento de especies tropicales como la tilapia (*Oreochromis sp*) y la langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*).

En cuanto al oxígeno disuelto, se registraron concentraciones de $5,8 \pm 0,5$ mg/L en el ensayo 1 y $6,1 \pm 0,4$ mg/L en el ensayo 2, manteniéndose por encima del umbral mínimo recomendado (> 5 mg/L), lo que garantiza condiciones adecuadas para la respiración y actividad fisiológica de los organismos. Por su parte, la turbidez presentó valores de $18,3 \pm 2,1$ NTU en el primer ensayo y $16,7 \pm 1,8$ NTU en el segundo, evidenciando una ligera mejora en la claridad del agua en el segundo periodo experimental.

En conjunto, estos resultados reflejan una adecuada estabilidad del sistema acuícola, con una tendencia a la optimización de las condiciones del agua en el segundo ensayo. Este comportamiento sugiere una mejora en la gestión del sistema, atribuible a la integración del monitoreo continuo mediante tecnología IoT y a la aplicación de estrategias de mantenimiento, lo que permitió mantener condiciones ambientales favorables para el desarrollo y supervivencia de las especies cultivadas.

Indicadores productivos

Los resultados presentados en la Tabla 2 evidencian el efecto de los tratamientos sobre los indicadores productivos de la tilapia (*Oreochromis sp.*) y la langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*). En el caso de la tilapia, el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas en la Tasa Específica de Crecimiento (TEC) entre tratamientos ($P < 0,05$). La prueba de comparación múltiple de Tukey indicó que los tratamientos con inclusión de harina hidropónica de maíz (5 % y 10 %) presentaron valores de TEC significativamente superiores a los tratamientos testigo, reflejando una mejora en la velocidad de crecimiento.

En cuanto al uso del alimento, se observó una relación inversa entre el nivel de inclusión de harina hidropónica y la cantidad de alimento suministrado para alcanzar mayores biomásas finales. El tratamiento testigo 1 registró el mayor consumo (5780,89 g) con una biomasa final de 3235,76 g,

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

mientras que el tratamiento al 10 % alcanzó la mayor biomasa (3667,94 g) con un menor suministro de alimento (5254,72 g). Este comportamiento se refleja directamente en la mejora del Factor de Conversión Alimenticia (FCA), el cual disminuyó progresivamente de 1,95 en el testigo 1 a 1,55 en el tratamiento al 10 %, evidenciando un uso más eficiente del alimento y una mayor productividad del sistema.

De manera complementaria, la mortalidad en tilapia mostró una tendencia decreciente con el aumento del nivel de inclusión dietaria, reduciéndose desde 13,3 % en el testigo 1 hasta 5 % en el tratamiento al 10 %, lo que sugiere un efecto positivo de la suplementación sobre la supervivencia y el bienestar de los organismos.

En la langosta de agua dulce, el ANOVA no evidenció diferencias estadísticamente significativas en TEC, FCA ni mortalidad entre tratamientos ($P > 0,05$). Sin embargo, se observó una tendencia consistente hacia una mejora en el desempeño productivo en los tratamientos con inclusión de harina hidropónica. En particular, el tratamiento al 10 % presentó la mayor biomasa final (163,48 g) con un menor requerimiento de alimento (278,72 g), en comparación con el testigo 1 (152,73 g y 314,64 g, respectivamente), lo que se traduce en una mejora del FCA de 2,22 a 1,84. Asimismo, la mortalidad disminuyó progresivamente desde 20 % en el testigo 1 hasta 5 % en el tratamiento al 10 %.

En conjunto, estos resultados evidencian que la inclusión de harina hidropónica de maíz no solo mejora el crecimiento de los organismos, sino que también optimiza el uso del alimento suministrado, reduciendo los requerimientos de insumo por unidad de biomasa producida y fortaleciendo la eficiencia productiva del sistema multitrófico.

Tabla 2 Indicadores productivos del sistema multitrófico

Especie	Tratamiento	TEC (%/día)	FCA	Mortalidad (%)
Tilapia	Testigo 1	1,65 ± 0,18	1,95 ± 0,11	13,3
Tilapia	Testigo 2	1,69 ± 0,17	1,88 ± 0,10	10
Tilapia	5%	1,79 ± 0,16	1,71 ± 0,09	8,3
Tilapia	10%	1,87 ± 0,17	1,55 ± 0,08	5
Langosta	Testigo 1	1,09 ± 0,13	2,22 ± 0,14	20
Langosta	Testigo 2	1,13 ± 0,12	2,14 ± 0,13	15
Langosta	5%	1,22 ± 0,12	1,98 ± 0,12	10
Langosta	10%	1,31 ± 0,14	1,84 ± 0,10	5

Conclusiones

La implementación de un sistema de cultivo multitrófico integrado de tilapia (*Oreochromis sp.*) y langosta de agua dulce (*Procambarus clarkii*), basado en tanques tipo IBC de 1000 L con aireación independiente y control hidráulico, demostró ser una alternativa técnica viable, funcional y replicable para el desarrollo de sistemas acuícolas bajo condiciones controladas. La infraestructura empleada permitió mantener condiciones operativas estables durante todo el periodo experimental, facilitando la correcta ejecución de los tratamientos y garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos. El monitoreo continuo de la calidad del agua mediante tecnología IoT se consolidó como una herramienta eficaz para la gestión del sistema, al permitir el seguimiento permanente de variables físico-químicas críticas y su mantenimiento dentro de rangos óptimos. La disponibilidad de información en tiempo real favoreció la toma de decisiones oportunas, contribuyendo a la estabilidad del sistema, al bienestar de los organismos y a la mitigación de riesgos asociados a variaciones ambientales.

En términos de desempeño productivo, los resultados evidenciaron que la inclusión de harina hidropónica de maíz en la dieta tuvo un efecto positivo y consistente sobre los indicadores evaluados. En tilapia, el tratamiento con 10 % de inclusión alcanzó los mejores resultados, con una biomasa final de 3667,94 g, una Tasa Específica de Crecimiento de 1,87 %/día, un Factor de Conversión Alimenticia de 1,55 y una mortalidad reducida al 5 %, superando a los tratamientos testigo tanto en eficiencia alimenticia como en crecimiento. Asimismo, el incremento de biomasa (3390,14 g) y la reducción progresiva del FCA desde 1,95 (testigo 1) hasta 1,55 evidencian una mejora sustancial en la eficiencia productiva del sistema.

En langosta, si bien no se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), se observó una tendencia clara hacia un mejor desempeño en los tratamientos con inclusión dietaria, destacándose el tratamiento al 10 % con una biomasa final de 163,48 g, un FCA de 1,84 y una mortalidad del 5 %, en comparación con el tratamiento testigo 1 (FCA = 2,22; mortalidad = 20 %). Estos resultados sugieren una mejora en la eficiencia de utilización del alimento y en la supervivencia bajo condiciones de suplementación.

En conjunto, los resultados confirman que la integración de estrategias alimenticias alternativas, como la harina hidropónica de maíz, junto con la incorporación de tecnologías IoT para el monitoreo de la calidad del agua, optimiza el desempeño productivo, mejora la eficiencia en el uso del alimento y reduce la mortalidad en sistemas multitróficos. Este enfoque fortalece la sostenibilidad del sistema

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot y lo posiciona como una alternativa prometedora para su escalamiento y aplicación en sistemas acuícolas semi-intensivos e intensivos.

Referencias

1. Canela, E. (22 de Septiembre de 2022). Haladjian Industrial Solutions. Obtenido de https://www.haladjian-industrial.es/que-es-un-contenedor-ibc-y-para-que-sirve#Ventajas_de_los_contenedores_IBC
2. Cardozo Ramirez, C. V. (2024). Monitoreo de la Calidad del Agua en Criaderos de Tilapias Mediante Tecnologías Lpwan y VPS. *Ciencia Latina*, 8(2), 5609-5629. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10975
3. Cevallos, J., Valle, C., Posligua, R., & Vera, M. (2023). El Internet de las Cosas (IoT) en la acuaponía: estándar, hardware y software. *Polo del Conocimiento*, 8(12), 166-182.
4. FAO. (2022). La acuicultura y las pesquerías basadas en el cultivo. Obtenido de www.fao.org: <https://www.fao.org/4/y5751s/y5751s08.htm>
5. Flores Mollo, S., & Aracena Pizarro, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 55-64. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Prevención y tratamiento de enfermedades de los peces [Capítulo 15]. En *Métodos sencillos para la acuicultura*. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s15.htm
7. Luna-Imbacuán, Mónica Alexandra, Campos-Bermúdez, Francisco, & Medina-Gutiérrez, Obeimar. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 191-202. Retrieved January 25, 2026, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062016000200004&lng=en&tlng=es.
8. Naspirán Jojoa, D. C., Fajardo Rosero, A. G., Ueno Fukura, M., & Collazos Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 75-97. doi:<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>

Cultivo multitrófico de tilapia (*oreochromis sp*) y langosta de agua dulce (*procambarus clarkii*), monitoreando los parámetros del agua con software iot

9. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2017). Manual de buenas prácticas acuícolas. <https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Acu%C3%ADcolas%20-%20OIRSA%20.pdf>
10. Sugiharto, F., & Kaburuan, E. (2023). Architecture design of IoT-based system using ISO/IEC 30141:2018 for indoor agriculture. *ICIC Express Letters Volume 17, Number 4*, 397–408. doi:10.24507/icicel.17.04.397
11. Universo de la Salud Animal. (2022, 3 de marzo). Guía para limpiar eficazmente un estanque acuícola. <https://www.universodelasaludanimal.com/acuicultura/limpieza-estanques-peces/>

©2026 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).