

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Influencia del cocultivo de *Oreochromis niloticus* con *Macrobrachium caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, desempeño productivo y económico

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BÍOLOGO ACUICULTOR**

Autores:

Bach. Rojas Cano, Sharold Karol

Bach. Maza Flores, Victor Orlando

Asesor:

Dr. Blgo. Reyes Avalos, Walter Eduardo

ORCID: 0000-0002-4277-9521

Nuevo Chimbote – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Influencia del cocultivo de *Oreochromis niloticus* con *Macrobrachium caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, desempeño productivo y económico

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BÍOLOGO ACUICULTOR**

Autores:

Bach. Sharold Karol Rojas Cano

Bach. Victor Orlando Maza Flores

REVISADO Y APROBADO POR EL ASESOR



Dr. Blgo. Walter Eduardo Reyes Avalos
DNI: 17878579
ORCID: 0000-0002-4277-9521

Nuevo Chimbote – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Influencia del cocultivo de *Oreochromis niloticus* con *Macrobrachium caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, desempeño productivo y económico

Evaluado y Aprobado por el Jurado

Dr. Saldaña Rojas, Guillermo Belisario
DNI: 18114311
ORCID: 0000-0003-4877-1165

Mg. Carhuapoma Garay, Juan Miguel
DNI: 33264920
ORCID: 0000-0002-2708-8140

Dr. Reyes Avilos, Walter Eduardo
DNI: 17878579
ORCID: 0000-0002-4277-9521

Nuevo Chimbote – Perú

2025

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Laboratorio de Biología Agrícola, siendo las 11:30 horas del día 11.05.2023, dando cumplimiento a la Resolución N° 278-UN.S-F.C., se reunió el Jurado Evaluador presidido por Guillermo Solís Rojas, teniendo como miembros a Juan Carlos Gómez (secretario) (a), y Walter Regi Arbelo (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Agrícola, realizado por el, (la), (los) tesista (as) SHAROLD KAROL ROJAS CANO.

Quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada:
"Influencia del cultivo de *Oreochromis niloticus* con *Morochichium coementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, desempeño productivo y económico".

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Excelente, asignándole un calificativo de 2 P puntos, según artículo 112º del Reglamento General de Grados y Títulos vigente (Resolución N° 337-2024-CU-R-UNS).

Siendo las 12:15 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

Nombre: Guillermo Solís Rojas
Presidente

Nombre: Juan Carlos Gómez
Secretario

Nombre: Walter Regi Arbelo
Integrante

Distribución: Integrantes (1), tesistas (1) y archivo (02).



ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

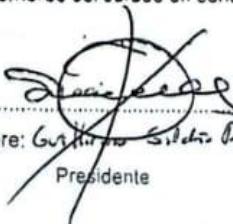
En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Laboratorio de Biología Avanzada, siendo las 11:00 horas del dia 11 setiembre del 2025, dando cumplimiento a la Resolución N° 228-UNSA-FC, se reunió el Jurado Evaluador presidido por Guillermo Soldán Rojas, teniendo como miembros a Juan Carlos Poma Gómez (secretario) (a), y Walter Reyes Avila (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biol. En. Alivichinter, realizado por el, (la), (los) tesista (as) Victor Orlando Maza Flores.

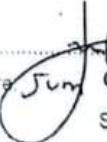
..... quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada:
INFLUENCIA DEL CACULTIVO DE Orocachanis n. 107-01
CON Macrobrachium concentricum EN UN SISTEMA DE
RECICLACION SOBRE EL CRECIMIENTO, SUPERVIVENCIA, PARASITISMO,
HEMATOLOGIA, DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y ECONOMICO

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (eron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Excellente, asignándole un calificativo de 29 puntos, según artículo 112º del Reglamento General de Grados y Títulos vigente (Resolución N° 337-2024-CU-R-UNSA).

Siendo las 12:45 horas del mismo dia se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad


Nombre: Guillermo Soldán Rojas
Presidente


Nombre: Juan Carlos Poma Gómez
Secretario


Nombre: Walter Reyes Avila
Integrante

Distribución: Integrantes (1), tesistas (1) y archivo (02).





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Sharold Karol Rojas Cano Victor Orlando Maza Flores
Título del ejercicio: Tesis de pregrado 2
Título de la entrega: TESIS_SHAROLD_Y_VICTOR_RAS CORREGIDO 6.0.docx
Nombre del archivo: TESIS_SHAROLD_Y_VICTOR_RAS_CORREGIDO_6.0.docx
Tamaño del archivo: 11.52M
Total páginas: 54
Total de palabras: 14,505
Total de caracteres: 82,241
Fecha de entrega: 01-dic-2025 11:18a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2653895275



Derechos de autor 2025 Turnitin. Todos los derechos reservados.

TESIS_SHAROLD_Y_VICTOR_RAS CORREGIDO 6.0.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

9%

★ repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

DEDICATORIA

A mi madre Delia Cano, por enseñarme que el amor y la perseverancia pueden conquistar todo. También a mi hermana Melany que fue mi soporte y me guio con fortaleza, resiliencia, determinación y firmeza; a mi hermano y familia, por creer en mí. Y a aquellos que me motivaron a alcanzar mis metas. Todo esto se los debo a ustedes.

Sharold Rojas C.

A mis padres Felicita y Orlando, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y perseverancia sin límites. Sus sacrificios y su amor incondicional han sido la luz que guió mi camino durante estos años de estudio, también a mi hermana Cynthia que estuvo presente siempre cuando la necesité. Este trabajo de investigación es dedicado a ustedes, porque sin ustedes no hubiera sido posible este logro.

Victor Maza F.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Walter Reyes por su orientación, dedicación y apoyo invaluable en nuestra investigación; a la profesora Gladis Melgarejo por sus valiosas enseñanzas; a Jimmy, Gustavo, Brian, Lise, Rodolfo, Karla y Raquel por su colaboración; a nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional del Santa y su Escuela de Biología en Acuicultura especialmente a los profesores: Luis Campoverde, Luis Torres, Eliana Zelada, Juan Carhuapoma, Rómulo Loayza y Guillermo Saldaña por la formación académica recibida y por los valores que nos inculcaron.

INDICE GENERAL

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
Problema de investigación	17
Hipótesis de investigación	17
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
II. MARCO TEÓRICO	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
IV. RESULTADOS	27
V. DISCUSIÓN	31
VI. CONCLUSIONES	42
VII. RECOMENDACIONES	42
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros zootécnicos (media ± desviación estándar) de tilapia <i>O. niloticus</i> en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón <i>M. caementarius</i> , durante 75 días.	28
Tabla 2. Costos identificados de tilapia <i>O. niloticus</i> en monocultivo y de tilapia en cocultivo con camarón <i>M. caementarius</i> , durante 75 días.	29
Tabla 3. Relación Beneficio y costos de tilapia <i>O. niloticus</i> en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón <i>M. caementarius</i> , durante 75 días.	29
Tabla 4. Parámetros físicos y químicos (media ± desviación estándar) del agua de tilapia <i>O. niloticus</i> en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón <i>M. caementarius</i> , durante 75 días.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Sistema de recirculación en acuicultura. B) Sistema columnar de recipientes individuales para cultivo de camarones.

23

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Sistema de Recirculación	53
Anexo 2. Toma de datos biométricos de <i>M. caementarius</i> y <i>O. niloticus</i>	54
Anexo 3. Muestras para determinar el rendimiento en peso de filete, índice hepatosomático y gonadosomático de <i>O. niloticus</i> .	55
Anexo 4. Individuos de <i>M. caementarius</i> durante los muestreos presentando problemas de autotomía.	56
Anexo 5. Preparación de muestras para análisis sanguíneo de <i>O. niloticus</i> .	57
Anexo 6. Esquema del sistema de recirculación acuícola donde se realizó la experiencia.	58

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia del cocultivo de *Oreochromis niloticus* con *Macrobrachium caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, desempeño productivo y económico. El diseño experimental clásico consistió en el monocultivo de tilapia y el cocultivo de tilapia con camarón, cada uno con su repetición. La densidad de tilapia fue de 50 juveniles/m³ en ambas modalidades de cultivo, y la de camarón fue de 20 camarones/m³ en cocultivo. En el cocultivo, los camarones fueron mantenidos en recipientes plásticos individuales y en el agua restante se sembraron las tilapias. El crecimiento en peso de la tilapia fue significativamente mayor (220.72 g) en el tratamiento de cocultivo respecto a del monocultivo (176.86 g), en cambio, el crecimiento en longitud, la supervivencia, rendimiento de filete y rendimiento productivo, fueron similares entre tratamientos. En tilapia el recuento de glóbulos rojos, glóbulos blancos, y el hematocrito, fueron similares entre tratamientos. El cultivo de camarón en cocultivo se vio afectado por la autotomía de quelípodos y la muerte por ecdisis incompleta, lo que afectó su rendimiento productivo y económico por la muerte total de los individuos. El rendimiento económico no produjo rentabilidad en los tratamientos debido a que los costos fueron mayores a los beneficios mostrando una relación beneficio-costo de 0.09 y 0.11 en el monocultivo y cocultivo respectivamente.

Palabras clave: cocultivo, tilapia, camarón, autotomía, ecdisis incompleta.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of coculture of *Oreochromis niloticus* with *Macrobrachium caementarius* in a recirculating system on the growth, survival, hematological parameters, productive and economic performance. The classic experimental design consisted of tilapia monoculture and tilapia coculture with prawn, each replicated. The tilapia density was 50 juveniles/m³ in both culture modalities, and the prawn density was 20 shrimp/m³ in coculture. In coculture, prawn was maintained in individual plastic containers, and the tilapia were stocked in the remaining water. The weight growth of tilapia was significantly greater (220.72 g) in the coculture treatment compared to the monoculture treatment (176.86 g); however, growth in length, survival, fillet yield, and productive performance were similar between treatments. In tilapia, the red blood cell count, white blood cell count, and hematocrit were similar between treatments. Prawn coculture was affected by chelipeds autotomy and incomplete ecdysis death, which affected its productive and economic performance due to the total death of individuals. The economic performance was not profitable in the treatments because the costs were greater than the benefits, showing a benefit-cost ratio of 0.09 and 0.11 in monoculture and coculture, respectively.

Keywords: co-culture, tilapia, prawn, autotomy, incomplete ecdysis.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2022, la producción mundial pesquera y acuícola alcanzó 223,2 millones de toneladas (mt), donde la producción acuícola alcanzó un máximo histórico de 130.9 mt y la producción de especies animales procedentes de acuicultura (51%), superó a la pesca de captura (FAO, 2024). En los últimos años, el Gobierno Peruano en el marco del enfoque del desarrollo nacional ha impulsado la innovación y el avance tecnológico y científico en el sector acuícola orientadas a superar las limitaciones del sector (Berger, 2020).

La acuicultura comercial precisa de factores clave como el rendimiento de la biomasa por unidad de espacio, la rentabilidad económica, el impacto ambiental y la aceptabilidad social; estos elementos están estrechamente ligados a la estrategia de producción, la cual puede verse afectada significativamente por variables ambientales (Suárez-Puerto et al., 2021). Factores como la calidad del agua, la densidad de cultivo, la manipulación de los organismos y la presencia de depredadores, entre otros que pueden inducir estrés y alterar la homeostasis de las especies en cultivo. En este contexto la adopción de nuevas tecnologías y estrategias de producción para impulsar el crecimiento de la industria acuícola está condicionada por múltiples factores interrelacionados (King et al., 2018). Así parámetros esenciales, como la temperatura del agua, la disponibilidad de oxígeno, y el control de sustancias nitrogenadas, junto con otros factores físicos y químicos deben gestionarse cuidadosamente para mantener un ambiente de cultivo óptimo para que promueva el bienestar y salud de los organismos en cultivo que se traducirá en una mayor producción y beneficio económico.

Así mismo, las investigaciones acuícolas se han centrado en maximizar la productividad, optimizar la calidad del agua en los sistemas de cultivo, promover el desarrollo sostenible (Jamal et al., 2020) y garantizar el bienestar animal (Giménez-Candela, 2020; Osman, 2021; Hisano, 2021). El enfoque ecosistémico para intensificar el crecimiento de la acuicultura contribuye a reducir los impactos ambientales y garantizar la salud animal y la inocuidad de los alimentos, mediante el uso eficiente y sostenible de recursos como el agua, espacio y piensos, para mejorar el rendimiento productivo (FAO, 2024). Además, resulta necesario optimizar el diseño y el funcionamiento de los sistemas acuícolas para incrementar tanto la producción y los beneficios económicos (Obirikorang et al., 2019). En ese sentido, se han desarrollado sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) que reprocesan el agua utilizada para restablecer sus características físicas y químicas iniciales mediante filtración mecánica, biológica (Osman et al., 2021; Timmons et al., 2009), además de la aplicación de luz ultravioleta y ozonización para reducir la carga microbiana y compuestos orgánicos (Timmons et al., 2009; Spiliotopoulou et al., 2018). Aunque los RAS permiten

cultivar a organismos a altas densidades con un mínimo empleo de agua y de espacio, los costos asociados a la restauración de las características físicas, químicas y microbiológicas pueden encarecer la producción, lo que destaca la necesidad de utilizar de manera eficiente los recursos disponibles.

El Perú es uno de los países que cultiva tilapia y registra cosechas en diversos departamentos; las principales regiones productoras son San Martín, Piura, Amazonas, Cajamarca, Lambayeque y Tumbes (Gomez et al., 2024), *Oreochromis niloticus* fue introducida en la década de los 70 con fines de investigación y cultivo en las zonas de selva, siendo de fácil reproducción y adaptabilidad presenta una madurez sexual temprana (30 – 50 g) por lo que se recurre a la masculinización de los alevines para evitar una reproducción descontrolada y para que la energía se destine a su crecimiento y engorde (Baltazar, 2007)

El camarón *Macrobrachium caementarius*, habita los ríos de la costa desde Lambayeque en Perú hasta Valparaíso en Chile, pero los lugares de mayor extracción comercial se dan en los ríos de la costa central y sur del Perú, donde forma parte de tradición culinaria local (Moscoso, 2012). En el 2019, se trajeron 1122 t (PRODUCE, 2020) y en el 2023 solo 694 t (PRODUCE, 2024), destinadas principalmente al mercado interno. Sin embargo, esta especie presenta dificultades para recuperar las poblaciones naturales, por lo que urgen estrategias para evitar la disminución de las poblaciones naturales, esto aunado a otras condiciones antropogénicas que afectan significativamente su recuperación (Reyes, 2012). Por lo antes mencionado se hace necesario la implementación de tecnologías de alto rendimiento productivo por unidad de espacio y volumen de agua como los sistemas de recirculación en acuicultura (RAS) para maximizar la producción en el menor tiempo posible con un mínimo de recursos y obtener el mayor rendimiento económico. En este contexto se diseñó el presente estudio.

Problema de investigación

¿Cómo influye el cocultivo de *O. niloticus* con *M. caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, supervivencia, parámetros hematológicos, rendimiento productivo y económico?

Hipótesis de investigación

El cocultivo de *O. niloticus* con *M. caementarius* en un sistema de recirculación mejora el crecimiento, la supervivencia, los parámetros hematológicos, el rendimiento productivo y económico, en comparación con el monocultivo de tilapia.

Objetivo general

Evaluar la influencia del cocultivo de *O. niloticus* con *M. caementarius* en un sistema de recirculación sobre el crecimiento, la supervivencia, los parámetros hematológicos, rendimiento productivo y económico.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia del cocultivo sobre la tasa de crecimiento de *O. niloticus* y *M. caementarius*.
- Determinar la influencia del cocultivo sobre la supervivencia de *O. niloticus* y *M. caementarius*.
- Evaluar los cambios en los parámetros hematológicos de *O. niloticus* bajo condiciones de cocultivo y monocultivo.
- Analizar el rendimiento productivo de *O. niloticus* y *M. caementarius* en cocultivo en comparación con el monocultivo.
- Estimar el rendimiento económico del sistema de cocultivo frente al sistema de monocultivo.

II. MARCO TEÓRICO

La acuicultura tradicional enfrenta serios desafíos medioambientales, como el alto consumo de agua, transferencia de nutrientes inorgánicos y partículas orgánicas a los ecosistemas cercanos lo que genera deterioro ambiental, competencia por recursos hídricos y tierras, y la propagación de patógenos (Naspirán-Jojoa et al., 2022; Martínez et al., 2022). Una alternativa prometedora es la acuicultura multitrófica integrada (IMTA) (Naspirán- Jojoa et al., 2022), también conocida como policultivo (Juárez-Rosales et al., 2022) o cocultivo (Peña-Rodríguez et al., 2015), que integra diferentes niveles tróficos en un mismo sistema, utilizan los residuos generados por una especie como nutrientes o insumos para otras (Naspirán-Jojoa et al., 2022). La producción IMTA puede mejorar la sostenibilidad de la acuicultura al reducir los efluentes, aumentar la rentabilidad económica y favorecer su aceptación social (Naspirán-Jojoa et al., 2022; Martínez et al., 2022).

En el policultivo se cultivan dos o más organismos de hábitos alimenticios, distribución espacial y requerimientos ecológicos distintos, para maximizar la producción en el mismo estanque, siendo una la especie principal, pero ambas contribuyen al rendimiento final (Fitzsimmons & Shahkar, 2016). En el cocultivo, por otro lado, las especies se mantienen separadas físicamente dentro del mismo cuerpo de agua siendo ambas igualmente importantes en la gestión productiva (New & Valenti, 2016).

Una tecnología innovadora para mitigar los principales desafíos de la acuicultura tradicional es el empleo de los sistemas de recirculación en acuicultura, que reutilizan el uso de agua al someterla a diversos tratamientos físicos, químicos y biológicos; así mismo brinda otras ventajas como el control ambiental, limpieza sencilla y ahorro de agua (Amin et al., 2020; Timmons et al., 2009). Sin embargo, presenta algunas limitaciones como elevada inversión para su diseño e implementación, así como los costos operativos asociados a su puesta en marcha (Amin et al., 2020). En consecuencia, se hace necesario la adaptación y manejo de la tecnología RAS y el cocultivo con las especies en estudio *O. niloticus* y *M. caementarius* para aprovechar al máximo los recursos disponibles y obtener el máximo beneficio productivo, económico y social.

La tilapia del Nilo *O. niloticus*, es un pez africano de aguas cálidas y continentales importante para la producción acuícola mundial y cuya producción se lleva a cabo en más de 140 países (Munguti et al., 2022; Hisano et al., 2021). El cultivo de tilapia es posible gracias a la adaptabilidad, tolerancia a diversas condiciones ambientales, facilidad para la reproducción en cautiverio, corto tiempo generacional, resistencia al estrés y enfermedades, eficiente

alimentación en niveles tróficos bajos, aceptación de alimentos artificiales inmediatamente y rápido crecimiento ((Munguti et al., 2022). Estas características hacen posible su cultivo en diversos ambientes, desde agua dulce hasta en agua de mar (Amin et al., 2020), y en diversos sistemas de cultivo como estanques, jaulas (Méndez-Martínez et al., 2018), sistemas de biofloc (Hisano et al., 2019), sistemas de recirculación de agua (Amin et al., 2020) y sistemas acuapónicos (Osman et al., 2021).

La tilapia *O. niloticus* requiere temperaturas entre los 28-32°C (Timmons et al., 2009; Pandit & Nakamura, 2011; Mengistu et al., 2020), un pH entre 7 y 8 (Mengistu et al., 2020). Sin embargo, es importante monitorear el amoníaco no ionizado, cuya concentración aumenta con el incremento del pH y la temperatura del agua, y termina siendo tóxica para los peces, el mantenimiento del pH y temperatura en rangos óptimos es determinante para un buen crecimiento de los peces (Timmons et al., 2009; Mengistu et al., 2020). Asimismo la concentración de oxígeno disuelto debe ser superior a 5 mg/L (Timmons et al., 2009; Mengistu et al., 2020; Leyva-Hernández et al., 2024), el amonio no ionizado NH₃ debe mantenerse <0.06 mg/L en exposiciones prolongadas debido a su influencia directa en la salud y el crecimiento de los peces (Timmons et al., 2009), de igual manera se recomienda que las concentraciones de nitrito se mantengan <1.0 mg/L para el cultivo de tilapia en RAS debido al efecto tóxico de este compuesto en afectar la capacidad de transportar oxígeno a través de la hemoglobina (Timmons et al., 2009; Leyva-Hernández et al., 2024)

El camarón *M. caementarius*, se distribuye desde el río Taymi en Lambayeque de Perú, hasta el río Maipo en Valparaíso de Chile. Sin embargo, mayor densidad poblacional se reporta para los ríos de Arequipa-Perú (16°23'S) el cual representa el 80% del recurso existente en la costa peruana (Zacarías & Yépez, 2015) esta especie es muy apreciada con un gran comercial (Pinazo et al., 2021). Debido a la agresividad de los organismos machos que conduce al canibalismo, el cultivo comercial no se ha establecido; y una alternativa es mediante la utilización de recipientes individuales donde se evita la interacción, el canibalismo, se mantiene la supervivencia y se puede cultivar a alta densidad (32 camarones/m²) (Reyes, 2016; Acosta et al., 2018; Ramírez et al., 2018). El camarón *M. caementarius* frecuenta ríos con temperaturas entre 16.4 y 29.2 °C (Zacarías & Yepez, 2015), por lo que se viene cultivando en laboratorio a temperaturas 21 °C y 23 °C (Reyes, 2012; Mogollón- Calderon & Reyes-Avalos, 2021) con buenos resultados en crecimiento y supervivencia. Sin embargo, tiene preferencia termal por los 24.5 °C (Reyes-Avalos et al., 2020).

El rendimiento productivo es la eficiencia y los resultados obtenidos en la producción acuícola, considera factores como crecimiento, supervivencia, aprovechamiento de los recursos; su evaluación incluye parámetros como, tasa de conversión alimenticia, eficiencia del alimento, tasa de crecimiento específico, supervivencia, biomasa final (Timmons et al., 2009; Chareo-Benítez et al., 2023; Delgado-Santillán et al., 2025), relación peso longitud, factor de condición (Timmons et al., 2009), asimismo el rendimiento productivo depende de factores como la calidad del alimento, la calidad del agua y la gestión general del sistema de cultivo (Timmons et al., 2009; Delgado-Santillán et al., 2025).

Los principales factores que influyen en el rendimiento productivo son la calidad del agua (Timmons et al., 2009; Delgado-Santillán et al., 2025), la densidad de cultivo (Nugroho et al., 2024), y el manejo alimenticio (Hernández-Vidal, 2024; (Timmons et al., 2009). Abd El-Hack et al. (2022) mencionan que la densidad de población, la calidad del alimento, el sistema de cultivo, frecuencia y tasas de alimentación y parámetros de calidad del agua como el oxígeno disuelto, la salinidad, la temperatura, el pH y las concentraciones de amoníaco, nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) pueden afectar el crecimiento y la rentabilidad económica del cultivo de tilapia.

El rendimiento económico del cultivo de tilapia debe tener en cuenta la identificación de los costos fijos, costos variables y costos indirectos (Camaño et al., 2021). Yuan et al (2017) mencionan que debe realizarse un análisis de sensibilidad para distinguir el impacto de los factores de incertidumbre en la ganancia neta del cultivo de tilapia, identificando los detalles de los costos y beneficios del cultivo de tilapia que serán de gran utilidad para respaldar la planificación financiera de los piscicultores. El resultado del perfil económico permite tomar decisiones financieras correctas, con ello también se pueden hacer estimaciones a gran escala para respaldar decisiones de inversión (Benítez et al., 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Población

Los alevines de tilapia ($n = 1000$) procedieron de la empresa Fish & Aquaculture E.I.R.L (Moyobamba, Perú) y fueron precriados hasta preadultos durante 60 días. En cambio, los camarones ($n = 250$) fueron colectados del río Pativilca ($10^{\circ}39'50''S - 77^{\circ}40'02''W$).

3.2. Muestra

La muestra de 200 tilapias seleccionados al azar (17.47 ± 2.14 cm de longitud total y de 107.63 ± 46.28 g de peso total). La muestra de *M. caementarius* fue de 40 organismos (machos adultos) seleccionados al azar (4.99 ± 0.74 cm de longitud total y de 4.67 ± 1.95 g de peso total) y tuvieron apéndicescefalotorácicos completos.

3.3. Transporte y acondicionamiento

Las tilapias fueron aclimatadas durante dos semanas en tanque de fibra de vidrio (1000 L) a 50 org/m^3 y se alimentaron con dieta balanceada de 45 % de proteína bruta (AquaTech). La tilapia fue reconocida según Al-Faisal y Mutlak (2015).

Los camarones fueron transportados individualmente en vasos de plástico (200 mL) y colocados dentro de contenedores plásticos (45 L) con agua del río y aireación. Cada contenedor albergó 60 camarones/caja y transportados vía terrestre durante 5 h. En laboratorio los camarones fueron aclimatados durante 10 días en los mismos vasos de transporte, pero fueron acondicionados en acuarios (55 L) y alimentados con dieta balanceada (35 % proteína bruta). Los recambios de agua del 20-30 %, y el retiro de los restos de alimento y desechos sólidos de excreción se realizaron cada tres días. Los camarones fueron identificados según Méndez (1981) el sexo del camarón macho se reconoció por poseer un gonópodo en cada coxa del quinto par de periódodos. *Sistema de cultivo*

El sistema de acuicultura de recirculación (Figura 1A) estuvo conformado por cuatro tanques de fibra de vidrio (1 m^3), cada uno tenía un sedimentador externo (0.25 m^3), que desembocaba en un mineralizador anaeróbico (0.94 m^3), luego a un desgasificador (0.24 m^3), seguido hacia un biofiltro (0.24 m^3) y finalmente el agua tratada se almacenaba en un tanque sumidero (2.06 m^3), desde donde se conducía a los cuatro tanques de cultivo experimentales mediante una electrobomba (0.50 HP) con un caudal de 84 L/min (21 L/min o 1260 L/hora). El flujo de aire (7.28 cfm) fue generado por un blower (1 HP) y en los tanques de cultivo, el desgasificador y el biofiltro se dispuso de un difusor de disco (9" de Ø) de burbuja fina ($0.1 \mu\text{m}$).



Figura 1. A) Sistema de acuicultura de recirculación. B) Sistema columnar de recipientes individuales para cultivo de camarones.

3.4. Diseño experimental

El experimento fue configurado en un diseño clásico que consistió en dos modalidades de cultivo (tilapia en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón), cada uno con sus repeticiones. La densidad de tilapia fue de 50 juveniles/m³ en ambas modalidades de cultivo, y la densidad de camarón fue de 20 camarones/m³ solo en la modalidad de cocultivo. El cultivo de camarón se realizó en recipientes individuales (284 cm², 19 cm de diámetro y 8 cm de altura) según lo experimentado previamente (Reyes-Avalos, 2016), pero los recipientes se dispusieron en dos columnas de 10 pisos cada una, y el volumen de cada columna fue de 0.023 m³ (Figura 1A). Las tilapias fueron sembradas en el volumen de agua restante de los tanques de cultivo (Figura 1A). El alimento comercial para peces fue de la empresa Aquatech Tilapia de 4 × 4 mm (32 % proteína MIN, 4 % grasa MIN, 6.0 % fibra MAX, 1.2 calcio MIN, 0.8 % fosforo MIN, 12 % ceniza MAX, con 2900 de ED en kcal/kg). El alimento para camarones se elaboró con la formulación de Reyes-Avalos (2016), cuya composición proximal fue de 30 % de proteína total, 8.1 % de lípidos y 4.6 % de fibra, con 2,600 kcal/kg). La ración alimenticia se ajustó quincenalmente luego de cada muestreo y en base a la tabla de alimentación de la empresa Aquatech. Los camarones fueron alimentados dos veces al día (07:00 y 18:00 h) y las tilapias tres veces al día (07:00, 12:00 y 18:00 h).

3.5. Crecimiento y supervivencia

Los muestreos de los animales se realizaron cada 15 días durante 75 días. El peso (g) se determinó con una balanza digital (Adam AQT600, ± 0.1 g). La longitud total de los peces se midió con un ictiómetro (± 1.0 mm). La longitud total (escotadura postorbital hasta el extremo posterior del telson) de los camarones se determinó con un vernier (± 1.0 mm). El cálculo de los parámetros zootécnicos se determinó con las siguientes fórmulas:

Parámetros de crecimiento y supervivencia

Tasa de crecimiento absoluto (TCA) = $(X_2 - X_1) / t_2 - t_1$

Tasa de crecimiento específico (TCE, % /día) = $[\ln X_2 - \ln X_1] / t_2 - t_1 \times 100$

Ganancia en longitud o peso (GL o GP, %) = $[(X_2 - X_1) / X_1] \times 100$

Coeficiente de variación del peso (CV, %) = $(DE / PT) \times 100$

Coeficiente de asimetría de Fisher (CAF) = $\sum_{i=1}^n [(X_i - PT) / DE]^3$

Tasa de supervivencia (TS, %) = $(N_i \times 100) / N_0$

Donde X_1 y X_2 es la longitud o peso inicial y final, PT es el peso total, DE es la desviación estándar, N_i y N_0 es el número de peces al inicio y final, $t_2 - t_1$ es la duración del cultivo.

Eficiencia de utilización de alimento

Consumo de alimento total (CAT, g) = Cantidad de alimento diario (g) \times días de alimentación

Tasa de consumo de alimento (TC, %/día) = Alimento entregado (g) / Biomasa total (g)

Factor de conversión alimenticia (FCA) = Alimento entregado (g) / Peso ganado (g)

Eficiencia de conversión alimenticia (ECA, %) = $(1/FCA) \times 100$

Tasa de eficiencia proteica (TEP) = GP / ingesta proteica

Índices organosomáticos

Índice hepatosomático (IHS, %) = $100 \times [\text{Peso del tejido hepático (g)} / \text{Peso del cuerpo (g)}]$

Índice gonadosomático (IGS, %) = $[\text{Peso de la gónada (g)} / \text{peso del cuerpo (g)}] \times 100$

Factor de condición de Fulton (K) = $[\text{Peso (g)} / \text{Longitud (cm)}^3] \times 100$

3.6. Hematología en tilapia

Al final de la experiencia, de tres peces de cada tratamiento fueron seleccionados para colectar sangre de los vasos sanguíneos caudales mediante una aguja calibre 21 y aspirando 1.0 ml de sangre con una jeringa heparinizada para su posterior análisis. El recuento de glóbulos rojos (RGR) se estimó diluyendo 0.5 ml de la muestra en suero fisiológico normal (NaCl al 0.85%) hasta la marca 101 quedando una dilución igual a 1/200 y se utilizó un hemocitómetro Neubauer. El cálculo de RGR fue realizado con la siguiente fórmula:

RGR ($\times 10^6$ eritrocitos / mm^3) = $N \times 4000 / 800 \times 200$

Donde N es el número de hematíes en los 80 cuadraditos contados, 4000 es producto de la superficie de cada cuadricula por la altura y 200 es el grado de dilución de la sangre.

El recuento de glóbulos blancos (RGB) se realizó aspirando 0.5 ml de la muestra y diluyéndola con solución de Natt y Henrik hasta la marca 11, la dilución resultó de 1/20; luego el conteo se hizo utilizando la cámara Neubauer contando solo los glóbulos blancos presentes (N) en los cuatro cuadrados de 1.0 mm que se encuentran en las cuatro esquinas de la cámara y mediante el siguiente cálculo:

$$\text{RGB} (\times 10^5 \text{ glóbulos blancos / mm}^3) = N \times 10 / 4 \times 100$$

La estimación del hematocrito, se hizo llenando capilares para hematocrito con sangre de la muestra hasta tres cuartas partes, cerrando los capilares con plastilina formando tapones de 2 – 3 mm aproximadamente; luego se centrifugó por 5 min a 1000 rpm para separar los componentes de la sangre, luego se retiró y se lee tomando en cuenta la altura de la capa de los eritrocitos (capa inferior), en la tablilla correspondiente. El hematocrito se mide como el porcentaje de glóbulos rojos en relación con el volumen total de la sangre.

La velocidad de sedimentación globular (VSG), se estimó llenando capilares de hematocrito con muestras de sangre con anticoagulante y poniéndolo en reposo en forma vertical durante una hora, luego del cual se observó que en el límite inferior se forma una columna clara de plasma en milímetros

3.7. Biomasa y Rendimiento productivo

$$\text{Biomasa ganada (kg)} = \text{Biomasa final} - \text{Biomasa inicial}$$

$$\text{Rendimiento en peso (kg/m}^3) = (\text{Peso final} \times \text{Densidad final}) / 1000$$

$$\text{Rendimiento del filete (\%)} = [\text{Peso del filete (g)} / \text{peso del cuerpo (g)}] \times 100$$

Para obtener el rendimiento del filete, primero se retiró la piel del pez; luego mediante un corte limpio y paralelo a la columna vertebral, se extrajo el filete, eliminando las espinas (Benítez, 2014). Finalmente, el filete fue pesado y el valor obtenido se utilizó en la fórmula para calcular el rendimiento del filete.

3.8. Rendimiento económico

El análisis del rendimiento económico se realizó con el fin de comparar al monocultivo y cocultivo identificando los costos de la producción y los beneficios en la cosecha y venta. La relación entre los beneficios y los costos RB/C se halló mediante la siguiente fórmula:

$$RB/C = \Sigma B_t / \Sigma C_t$$

Donde, RB/C es la relación beneficios entre costos, ΣB_t es la sumatoria de los beneficios totales y ΣC_t es la sumatoria de los costos totales. Para interpretar los resultados del RB/C utilizamos la siguiente escala:

$RB/C > 1$ indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente, el rendimiento económico fue bueno o rentable.

$RB/C = 1$ Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.

$RB/C < 1$, muestra que los costes son mayores que los beneficios, por consiguiente, no hubo rentabilidad.

3.9. Calidad de agua

La calidad de agua fue monitoreada cada 15 días, determinando con un sensor digital (Lutron YK-2005WA) la temperatura (± 0.01 °C), pH (± 0.01 unidades), oxígeno disuelto (± 0.01 mg/L). El amonio total, nitrito, nitrato, dureza total y dureza carbonatada se determinaron con test colorimétrico Nutrafin (± 0.1 mg/L) los desechos sólidos se extrajeron diariamente.

3.10. Análisis estadístico

La normalidad de los datos se determinó con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) y todos cumplieron con la distribución normal. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se realizaron con la prueba t Student, con significancia ($p < 0.05$). El análisis estadístico se realizó con el software SPSS 25.0 para Windows.

IV. RESULTADOS

4.1. Crecimiento y supervivencia de tilapia

En la Tabla 1, se muestran los parámetros de crecimiento en longitud y peso de tilapia en monocultivo y cocultivo. Los parámetros de crecimiento en longitud de la tilapia fueron similares ($p > 0.05$) en monocultivo y cocultivo, aunque ligeramente mayor en cocultivo. El peso final de la tilapia en cocultivo fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que en el monocultivo; sin embargo, los demás parámetros fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos, aunque numéricamente mayor en el cocultivo. Todas las tilapias supervivieron en ambas modalidades de cultivo. El coeficiente de variación en peso fue similar entre tratamientos, aunque numéricamente mayor en cocultivo. El coeficiente de asimetría de Fisher fue menor en cocultivo que en monocultivo.

4.2. Utilización de alimento de tilapia

La tasa de consumo de alimento y el factor de conversión alimenticia fueron similares entre tratamientos, aunque ligeramente menor en cocultivo. En cambio, la eficiencia de conversión alimenticia y la tasa de eficiencia proteica fueron similares entre las modalidades de cultivo, aunque numéricamente mayor en cocultivo (Tabla 1).

Durante el periodo de cultivo, se observó que las tilapias consumían normalmente el alimento balanceado proporcionado, además, del alimento del camarón y también se alimentaban de los camarones muertos que salían por las rendijas de los recipientes del cultivo individual. No hubo comportamiento agresivo entre tilapias durante las horas de alimentación ni durante toda la experiencia de cultivo.

Además, los peces grandes mostraron un comportamiento jerárquico, posicionándose en la parte superior de la columna de agua para aprovechar el caudal del agua, que retorna de mejor calidad y la ubicación también les brindó mejores oportunidades de alimentación, desplazando a los más pequeños.

Cabe resaltar que durante la experiencia la alimentación se proporcionó con el sistema RAS en funcionamiento continuo, lo que pudo ocasionó que una pequeña porción de alimento no sea consumido por los peces y conducido a las áreas de tratamiento del sistema RAS.

4.3. Índices organosomáticos de tilapia

Los índices hepatosomático y gonadosomático fueron similares ($p > 0.05$) en ambos sistemas de cultivo, sin embargo, un ligero incremento se obtuvo en monocultivo. En cambio, el factor de condición fue similar ($p > 0.05$) entre tratamientos, pero el cocultivo fue

ligeramente mayor (Tabla 1).

4.4. Biomasa y rendimiento de tilapia

La biomasa y el rendimiento total y de filete de tilapia fue similar ($p > 0.05$) entre tratamientos, aunque ligeramente superior en cocultivo (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros zootécnicos (media ± desviación estándar) de tilapia *O. niloticus* en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón *M. caementarius*, durante 75 días.

Parámetros	Monocultivo de tilapia	Cocultivo tilapia con camarón	
		Tilapia	Camarón
Longitud			
Longitud inicial (cm)	17.59 ± 1.90 ^a	17.35 ± 2.40 ^a	5.12 ± 0.18
Longitud final (cm)	21.60 ± 1.20 ^a	22.32 ± 2.70 ^a	5.49 ± 0.09
Crecimiento absoluto (CA, cm)	4.01 ± 0.37 ^a	4.97 ± 2.43 ^a	0.37
Tasa de crecimiento absoluto (TCA, cm/día)	0.05 ± 0.005 ^a	0.07 ± 0.00	
Ganancia en longitud (GL, %)	22.78 ± 1.35 ^a	28.40 ± 12.9 ^a	
Tasa de crecimiento específico (TCE, %/día)	0.27 ± 0.015 ^a	0.33 ± 0.134 ^a	
Peso			
Peso inicial (g)	105.53 ± 34.85 ^a	109.73 ± 56.31 ^a	4.67 ± 0.32
Peso final (g)	176.86 ± 32.28 ^b	220.72 ± 81.20 ^a	4.35 ± 0.77
Crecimiento absoluto (CA, g)	71.33 ± 18.33 ^a	110.99 ± 70.05 ^a	-0.32
Tasa de crecimiento absoluto (TCA, g/día)	0.95 ± 0.24 ^a	1.48 ± 0.93 ^a	-0.005 ± 0.012
Ganancia en peso (GP, %)	67.18 ± 13.16 ^a	97.11 ± 47.28 ^a	-0.134 ± 0.260
Tasa de crecimiento específico (TCE, %/día)	0.68 ± 0.105 ^a	0.89 ± 0.323 ^a	-6.80 ± 15.20
Coeficiente de variación del peso (CV, %)	18.25	36.79	
Coeficiente de asimetría de Fisher (CAF)	1.68	0.67	
Tasa de supervivencia (TS, %)	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	17.50 ± 0.00
Utilización de alimento			
Consumo de alimento total (CAT, kg)	41.91 ± 1.27 ^a	42.33 ± 2.34 ^a	-
Tasa de consumo de alimento (TC, %/día)	2.37 ± 0.55 ^a	1.92 ± 0.65 ^a	-
Factor de conversión alimenticia (FCA)	6.0 ± 1.19 ^a	4.6 ± 2.48 ^a	-
Eficiencia de conversión alimenticia (ECA, %)	16.59 ± 3.35 ^a	21.75 ± 13.73 ^a	
Tasa de eficiencia proteica (TEP)	0.159 ± 0.020 ^a	0.247 ± 0.078 ^a	
Índices organosomáticos			
Índice hepatosomático (IHS, %)	2.20 ± 0.34 ^a	1.96 ± 0.43 ^a	-
Índice gonadosomático (IGS, %)	0.91 ± 0.83 ^a	0.36 ± 0.01 ^a	-
Factor de condición (K)	1.74 ± 0.12 ^b	1.91 ± 0.16 ^a	-
Biomasa			
Biomasa inicial (kg)	10.56 ± 0.330 ^a	10.97 ± 0.94 ^a	0.187 ± 0.020
Biomasa final (kg)	17.70 ± 1.25 ^a	22.07 ± 4.44 ^a	0.029 ± 0.068
Biomasa ganada (kg)	7.13 ± 0.92 ^a	11.10 ± 3.50 ^a	
Rendimiento			
Rendimiento total (kg/m ³)	8.84 ± 1.25 ^a	11.04 ± 4.44 ^a	0.015 ± 0.005
Rendimiento de filete (%)	38.61 ± 1.98 ^a	40.74 ± 3.40 ^a	

Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

4.5. Parámetros hematológicos de tilapia

Los parámetros hematológicos fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 2), siendo ligeramente superior en tilapia en cocultivo con camarón, excepto en el RGR.

Tabla 2. Parámetros hematológicos (media ± desviación estándar) de tilapia *O. niloticus* en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón *M. caementarius*, durante 75 días.

Parámetros	Tilapia en monocultivo	Tilapia en cocultivo
RGR ($\times 10^6$ eritrocitos/mm 3)	5.48 ± 3.28 ^a	3.20 ± 0.97 ^a
Hematocrito (%)	21.00 ± 8.19 ^a	33.33 ± 3.06 ^a
RGB ($\times 10^5$ leucocitos/mm 3)	1.07 ± 0.131 ^a	1.30 ± 0.135 ^a
VSG (mm/h)	2.92 ± 2.47 ^a	5.28 ± 3.82 ^a

RGR: recuento de glóbulos rojos. RGB: Recuento de glóbulos blancos. VSG: Velocidad de sedimentación globular. Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ($p < 0.05$).

4.6. Crecimiento y supervivencia de camarón

El crecimiento en longitud del camarón fue similar ($p > 0.05$) entre tratamientos. La GP, TCA y TCE muestran valores negativos (Tabla 1). La baja supervivencia de camarones (17.50 %) se debió a la muerte por el síndrome de la ecdisis incompleta cuya exuvia quedó atrapada en los periódodos. También fue observado algunos camarones con autotomía de quelípodos. Los pellets proporcionados a los camarones no eran consumidos en su totalidad y se acumulaba junto a heces en el fondo de los compartimientos individuales y muchos tardaron entre 5 a 10 min en caer a los recipientes.

4.7. Biomasa y rendimiento productivo de camarón

La biomasa de camarón disminuyó durante el periodo de cultivo y el rendimiento total fue 0.015 kg/m 3 al final de la experiencia (Tabla 1).

4.8. Rendimiento económico del monocultivo y cocultivo

Los costos fueron identificados (Tabla 3) y los costos fueron mayores que los beneficios en el monocultivo y cocultivo (Tabla 4).

Tabla 3. Costos identificados de tilapia *O. niloticus* en monocultivo y de tilapia en cocultivo con camarón *M. caementarius*, durante 75 días.

Tipo de costo	Costo (S/)	Costo (S/)
	Tilapia en monocultivo	Tilapia en cocultivo
Electricidad	725.50	725.50
Agua	10.60	10.60
Tilapia	80.00	80.00
Camarón	0.00	48.00
Alimento de tilapia	314.32	317.50
Alimento de camarón	0.00	10.00
Test de calidad de agua	65.00	65.00
Personal de trabajo	1 629.00	1629.00
Σ costos	2 824.42	2 885.60

Tabla 4. Relación beneficio y costos de tilapia *O. niloticus* en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón *M. caementarius*, durante 75 días.

Modalidad de cultivo	Rendimiento total (kg)	Beneficio (S/)(S/13.90/kg)	Costo (S/)	Relación Beneficio/costo
Monocultivo				
Tilapia	17.686	245.8354	2 824.42	0.09
Cocultivo				
Tilapia	22.072	306.8008	2 885.60	0.11
Camarón	0.029	2.61		

4.9. Calidad del agua

Los parámetros físicos y químicos del agua fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 5) y durante toda la experiencia se trató de mantener la calidad del agua dentro de los rangos adecuados para cada especie cultivada. Se removieron en promedio 50 L de agua diarios en las labores de mantenimiento de sedimentadores y quincenalmente 100 L de agua para mantenimiento de los biofiltros.

Tabla 5. Parámetros físicos y químicos (media \pm desviación estándar) del agua de tilapia *O. niloticus* en monocultivo y tilapia en cocultivo con camarón *M. caementarius*, durante 75 días.

Parámetros	Tilapia en monocultivo	Tilapia en cocultivo con camarón
Temperatura (°C)	26.15 ± 1.95^a	26.14 ± 1.94^a
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.55 ± 0.31^a	5.58 ± 0.28^a
pH (unidades)	6.89 ± 0.27^a	6.94 ± 0.28^a
Amonio total (mg/L)	0.16 ± 0.12^a	0.15 ± 0.12^a
Nitrito (mg/L)	0.30 ± 0.20^a	0.28 ± 0.20^a
Nitrato (mg/L)	12.71 ± 3.90^a	12.92 ± 4.15^a
Dureza total (mg/L)	185.42 ± 19.33^a	193.33 ± 17.86^a
Alcalinidad total (mg/L)	45.21 ± 10.78^a	49.58 ± 7.36^a

Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ($p < 0.05$).

V. DISCUSIÓN

5.1. Crecimiento y supervivencia de tilapia

Las tilapias sobrevivieron en todos los tratamientos, lo que sugiere que ambas modalidades no afectan negativamente al cultivo de esta especie. En una investigación previa en cocultivo, todas las tilapias sobrevivieron (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021), lo que corrobora el sistema de cultivo empleado. El cultivo de tilapia con agua de reúso de sistemas BFT no impacta negativamente la supervivencia del animal y la supervivencia fue alta (> 98%) (Gallardo-Collí et al., 2019).

El peso de la tilapia en cocultivo fue mayor ($p < 0.05$) que en monocultivo lo que probablemente sea consecuencia de que los peces además del alimento proporcionado, lo complementaron con el alimento no consumido que salieron de los recipientes de cultivo individual de los camarones. Esta situación alimentaria podría explicar la mayor ECA y TEP, así como la mayor GP, TCA y TCE en peso de la tilapia en cocultivo en relación con el monocultivo, aunque fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos. En una investigación previa en acuarios, se determinó que el alimento que sale de los recipientes de cultivo de camarón es consumido por la tilapia, pero no es suficiente para incrementar el crecimiento de tilapia (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021). En la investigación de cocultivo, el coeficiente de variación (36.79%) fue el doble respecto al monocultivo (18.25%), lo que indica una marcada variabilidad de los pesos de tilapia en cocultivo, donde los peces más grandes accedieron fácilmente al alimento. Similar comportamiento es reportado en el cultivo de tilapia en sistema biofloc cuando el CV aumenta de 17 a 23% (Gallardo-Collí et al., 2019). Además, en cocultivo el CAF de los peces fue menor que en monocultivo, lo que significa que hubo una moderada asimetría en relación con los peces del monocultivo. Estos resultados sustentan los resultados de los mayores parámetros de crecimiento en peso de tilapia en cocultivo. En cambio, en monocultivo, el CAF de los peces fue pronunciada, lo que indica que hubo peces con pesos mayores que el promedio, lo que probablemente ocasionó jerarquización, y explicaría los menores parámetros de crecimiento. La jerarquización de dominancia en tilapia es evidenciada por los aumentos progresivos de los CV de los pesos y también por los coeficientes de asimetría positivos de acuerdo con el incremento de la densidad, que se traduce en una tasa de crecimiento más lenta y, por tanto, una menor producción de peces (Azaza et al., 2013).

En la investigación el FCA fue similar entre tratamientos ($p < 0.05$), aunque fue ligeramente elevado con la tilapia en monocultivo que en cocultivo (6.0 y 4.6 respectivamente), pero aun ambos fueron altos, probablemente como consecuencia de la baja temperatura del agua

(26 °C). Mengistu et al., (2020) señalaron que la temperatura para el cultivo de tilapia debe estar entre 27 °C y 32 °C para lograr mayor crecimiento y bajo FCA. El elevado FCA también podría deberse a que el cálculo de la ración alimenticia se realizó cada 15 días, tiempo considerablemente muy largo para ajustar la ración del alimento ya que los organismos crecen diariamente, por lo que se sugiere proporcionar alimento a saciedad. Otro factor que pudo influenciar en el elevado FCA es el trabajo ininterrumpido del sistema RAS que transportaba una pequeña parte del alimento fuera del tanque antes que los peces alcancen a consumirlo. Timmons et al., 2009, mencionan que en los RAS se puede alimentar más lentamente, durante un periodo más largo de tiempo, o depositar el alimento lo más lejos del drenaje para que el alimento se demore más en salir de él, otra opción es alimentar en más raciones al día. Bahnasawy et al. (2009) cultivaron alevines de tilapia en RAS obteniendo un FCA de 2.05 alimentándolos hasta la saciedad durante seis días a la semana. Además, el FCA en las tilapias del presente estudio probablemente fue alterado por el caudal del agua del sistema de cultivo que fue de 1260 L/h (1.26 volúmenes de recambio por hora). Obirikorang et al. (2022) reportaron un FCA de 1.43 en tilapias cultivadas en RAS con caudal de intercambio de agua de 150 L/h (1.0 volumen de recambio por hora) y alimentados dos veces al día hasta la saciedad. Obirikorang et al. (2019) reportaron en tilapias cultivadas en RAS un FCA de 1.33, alimentadas dos veces al día a una tasa del 3% de su biomasa, pero deteniendo la alimentación en los casos en que los peces parecían saciados y el caudal de recambio de agua fue de 360 L/h (6.0 volúmenes de recambio por hora). Rodde et al. (2020) obtuvieron un FCA de 1.76 en tilapias cultivadas en RAS con el 90% de la ración calculada con entregas de alimento cerca a saciedad y con 240% de tasa de renovación de agua por hora.

El estrés ambiental influye de manera significativa en la utilización y flujo de energía en los organismos, debido a su efecto directo sobre los procesos metabólicos (Abd El-Hack et al. 2022). Este fenómeno es frecuente en sistemas de cultivo, donde los organismos están sometidos a condiciones variables o incluso adversas, tanto en parámetros fisicoquímicos como temperatura, oxígeno disuelto, metabolitos tóxicos, entre otros (Abd El-Hack et al. 2022); como factores de interacción tales como densidad poblacional (Mengistu et al., 2020; Aketch et al., 2014; Azaza et al., 2013), manipulación (Upton y Riley, 2013), limpieza de los sistemas y recambios de agua, que generan un estrés adicional comprometiendo el equilibrio fisiológico y rendimiento productivo de los organismos, como se observó en ambos tratamientos de nuestra experiencia.

5.2. Índices organosomáticos de tilapia

El índice hepatosomático fue similar ($p > 0.05$) entre tratamientos, pero fue ligeramente mayor en la tilapia en monocultivo (2.20 %) que en cocultivo (1.96 %), lo que sugiere que los peces en monocultivo estuvieron en mejor condición nutricional. Gallardo-Collí et al. (2019) reportaron índice hepatosomático de 2.64% y 3.12% para tilapias machos. Obirikorang et al. (2019) reportaron entre 3.11% y 3.87% para el índice hepatosomático en *O. niloticus* sometido a diferentes volúmenes de recambio de agua. Aunque, Hisano et al. (2021) mostraron 1.66% y 1.38% como índice hepatosomático en *O. niloticus* cultivada en sistema biofloc y en recirculación de agua, respectivamente, sin diferencias entre tratamientos siendo el biofloc el alimento natural y complemento como componente único.

Los índices gonadosomáticos de tilapia también fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos, siendo mayor en monocultivo (0.91%) que en cocultivo (0.36%), los que son menores a los reportados en otras investigaciones, lo que sugiere que los peces en monocultivo estuvieron en proceso inicial de maduración gonadal. Gallardo-Collí et al. (2019), informaron de índices gonadosomáticos de 1.34% y 1.57% en tilapias machos. De acuerdo a los índices gonadosomáticos analizados y la edad de las tilapias (mayores a cuatro meses) en la experiencia, se observa que la energía obtenida de los alimentos se empezó a destinar al crecimiento de las gónadas o a su maduración, como se evidencia en los resultados del monocultivo; esta asignación energética limita el crecimiento de la biomasa de los animales, ya que se prioriza la maduración sexual. Saavedra, (2006); menciona que la madurez sexual en tilapias sin revertir se da entre el segundo a tercer mes de edad. Arboleda (2005), menciona que la tilapia puede empezar su madurez sexual entre el tercer y cuarto mes de edad invirtiendo energía en los productos sexuales y no en crecimiento en peso lo que ocasiona menor rendimiento productivo.

El-Nahal et al. (2019) mencionan que tilapias masculinizadas empiezan la madurez sexual entre el cuarto al quinto mes de edad y la madurez completa se alcanza entre el quinto y sexto mes de edad. Estas referencias nos indican que parte de la energía de los alimentos se destinó a la maduración gonadal siendo limitada para el crecimiento de la biomasa.

En relación con el factor K, Agumassie (2018) indica que las variaciones estacionales en la cantidad y calidad de los alimentos, el nivel del agua, el caudal y la temperatura afectan el factor de condición de los peces. Asimismo, Bonilla-Flórez et al. (2017) consideran que el factor K es utilizado para tener una estimación del estado nutricional del pez, de su grado de engorde, para predecir el crecimiento en sistemas de producción intensivos, estado de salud, madurez

sexual entre otras. En la presente investigación, el factor K de la tilapia en cocultivo (1.91) fue mayor ($p < 0.05$) que en monocultivo (1.74), lo que corrobora que el uso de excedente de alimento fue aprovechado para incrementar el grado de bienestar de las tilapias. Por otro lado, el bajo valor del factor K de las tilapias en monocultivo podría deberse a alguna alteración nutricional toda vez que fueron observados peces con signos de vientre hundido que podría indicar alteraciones orgánicas u otras afecciones. En tilapia cultivada en RAS, la densidad de población junto a la presencia de ectoparásitos monogeneos en los peces ocasionaron bajo factor de condición (1.85 y 1.79) (Stallbohm et al., 2024). En otros estudios con tilapia cultivadas con biofloc, el factor de condición a baja temperatura (18°C) fue de 2.2 (Crab et al., 2009), y de 4.01 y 3.99 en tilapia cultivado en agua reutilizada de biofloc (Gallardo-Collí et al., 2019).

5.3. Parámetros hematológicos de tilapia

El RGR depende de la edad, el sexo, estado nutricional y reproductivo y puede diferir entre poblaciones de la misma especie por lo general oscila entre 0.5 y $1.5 \times 10^6/\text{mm}^3$ en las especies menos activas y entre $3.0 - 4.2 \times 10^6/\text{mm}^3$ en las más activas (Arnaudov & Arnaudova, 2023). En el presente estudio, los componentes hematológicos fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos. El RGR de las tilapias en monocultivo fue ligeramente mayor ($5.48 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$) que la tilapia en cocultivo ($3.20 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$). Estos resultados fueron superiores a lo reportado en otros trabajos, lo que podría indicar alguna condición de estrés ambiental de las tilapias. La función de los eritrocitos (glóbulos rojos maduros) es el transporte de oxígeno (Walker-Vergara et al., 2020; Arnaudov & Arnaudova 2023; Alderman et al., 2024), y su aumento está relacionado con las bajas concentraciones de oxígeno en el ambiente acuático (Walker-Vergara et al., 2020; Suárez-Puerto et al., 2021). Stallbohm et al. (2024) mostraron en el RGR ($2.13 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$) para tilapias cultivadas en RAS encontrando un rango esperado para tilapia. Suárez-Puerto et al., (2021) reportaron que en temporada lluviosa y sistema de cultivo biofloc el RGR fue $2.02 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$ y en sistema de agua verde $2.34 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$, mientras que en temporada seca con temperaturas entre 31.24 y 31.41°C en sistema Biofloc el RGR fue $3.05 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$ y sistema agua verde $3.45 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$, lo que demuestra una relación en el aumento de células eritrocitarias cuando la temperatura se eleva y la disponibilidad de oxígeno disminuye. Obirikoran et al. (2022) informaron que al incrementarse el caudal de agua de 50 L/h a 150 L/h el RGR disminuía de $1.87 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$ a $1.59 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$, respectivamente, lo que evidencia la relación de la concentración de oxígeno con el número de glóbulos rojos. Hisano et al. (2021) comparó parámetros hematológicos de tilapia nilótica en sistema biofloc y RAS reportando un RGR de $2.73 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$ y $2.88 \times 10^6 \text{ cel/mm}^3$,

respectivamente, sin encontrar diferencias entre tratamientos lo que indica que los diferentes sistemas no influyeron en la salud de los peces.

El Hematocrito fue similar entre tratamientos, siendo ligeramente menor en la tilapia en monocultivo (21%) y mayor en la tilapia en cocultivo (33%), aunque en ambos casos estuvieron dentro de lo reportado para la especie. Stallbohm et al. (2024) determinaron el hematocrito de tilapia en 31.33% siendo normal en tilapias de 211 g de peso y cultivadas en RAS. Baquero et al. (2017) reportaron tanto para tilapias enjauladas (35.25%) como libres (32.75%) valores similares a nuestro tratamiento de cocultivo mencionando que un mayor valor podría ser atribuido a la respuesta del pez a condiciones deficitarias de oxígeno o en condiciones de alta densidad. Walker-Vergara et al. (2020) mencionan que peces con hematocrito < 20% están pasando por periodos de anemia y peces con resultados > 60% se pueden considerar en estado de deshidratación. Hahn-von- Hessberg et al. (2014) consideraron que las tilapias de 150 a 250 g son utilizadas como referentes para medir los parámetros hematológicos y el valor del hematocrito fue de 33.56% similares a la tilapia en cocultivo. Hahn-von-Hessberg et al. (2011) obtuvieron hematocrito entre 27% a 43% en machos revertidos de tilapia, pero concluyeron que las variaciones se deben a estados de anemia, hemoconcentración y a la madurez sexual de los machos. Cabe recalcar que los parámetros sanguíneos como recuento de eritrocitos, el contenido de hemoglobina y el porcentaje de hematocrito se utilizan como alarma de advertencia de calidad de agua adversa (Osman et al. 2021), situación que no sucedió en la presente investigación.

El RGB fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos, siendo ligeramente mayor en cocultivo (1.30×10^5 leucocitos/ mm^3) que en monocultivo (1.07×10^5 leucocitos/ mm^3), pero difiere de lo reportado por otros trabajos en la misma especie, probablemente debido a otras condiciones ambientales y de cultivo. Stallbohm et al. (2024) cultivan *O. niloticus* en RAS y anestesiándolos con eugenol mostraron un RGB de 0.1040×10^5 cel/ μL indicando que las respuestas hematológicas pueden variar según la condición que enfrentan los animales en ambientes sujetos a estrés como la densidad de población, la presencia de parásitos monogeneos y el RAS que moldean la respuesta hematológica a pesar de tener buenos resultados en los índices zootécnicos y parámetros de calidad del agua. Hisano et al. (2021) comparan el sistema de cultivo biofloc y el RAS con tilapias revertidas y reportaron para el RGB 54 871.92 cel/ μL y 54 795.67 cel/ μL respectivamente, sin diferencias entre tratamientos, pero con mejor desempeño en crecimiento corporal con el sistema biofloc. Osman et al. (2021) compararon un sistema acuapónico y de estanques de tierra con flujo continuo para cultivo y reportaron en el RGB 75 500 cel/ μL y 58 200 cel/ μL , respectivamente, y concluyeron que el estado de salud de los peces

en el sistema acuapónico fue mejor siendo el reflejo a los cambios relacionados a los parámetros de calidad de agua. Hahn-von-Hessberg et al. (2014) emplearon tilapias revertidas de 50, 150, 150 y 250 g y el RGB fue de 2.11 y 2.18×10^5 células/mm³, respectivamente, considerado dentro de los rangos normales para esta especie. Hahn-Von-Hessberg et al. (2011) para tilapia revertida de 250 g y 350 g mostraron valores mínimos y máximos de RGB de 0.18 y 2.17×10^5 células/mm³, cuyo aumento puede deberse a las condiciones medioambientales. También se ha reportado que el estrés crónico puede producir leucopenia, y cambios en la cantidad leucocitaria (Walker-Vergara et al., 2020; Alderman et al., 2024).

El VSG de tilapia en monocultivo (2.92 mm/h) fue menor que en cocultivo (5.28 mm/h), aunque similar entre tratamientos ($p > 0.05$). Estos resultados fueron menores a lo reportado para la misma especie de tilapia, donde la adaptación de tilapia al cautiverio provoca aumento de la VSG (6.52 a 9.33 mm/h) entre adultos y juveniles (Gabriel et al., 2011). Además, La VSG es una prueba hematológica común cuyo incremento (5.61 a 8.68 mm/h) indica aumento de la actividad inflamatoria bacteriana (Ergena et al., 2023), situación que no se presentó en la presente investigación.

5.4. Rendimiento productivo de tilapia

El rendimiento productivo de tilapia fue similar entre tratamientos; sin embargo, ambos tratamientos no pudieron cubrir los costos de producción debido a los resultados del manejo de la tilapia en el RAS, así como la interpretación a destiempo de parámetros como conversión alimenticia, factor de condición, coeficiente de variación y calidad de agua influyeron en el bajo rendimiento productivo de tilapia. La densidad (Long et al., 2019; Dara et al., 2023), jerarquización (Dara et al., 2023), y calidad del agua (Obirikorang et al., 2019; Dara et al., 2023) son factores que encaminan al estrés crónico de los peces (Long et al., 2019; Stallbohm et al., 2024). Los muestreos para las medidas biométricas ocasionan un estrés agudo que pueden afectar la homeostasis de los peces (Long et al., 2019; Alderman et al., 2024). Dara et al. (2023) sugirieron que los peces deben de someterse a una clasificación por pesos y/o alimentar adecuadamente para reducir el estrés por jerarquización y densidad, Jerez-Cepa et al. (2019) mencionan que antes de la manipulación de peces para tomar medidas biométricas es necesario anestesiarlos, con el fin de lograr el bienestar animal y reducir al mínimo el estrés y no afectar el rendimiento productivo y económico.

El rendimiento de filete de tilapia no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de monocultivo (38.61%) y cocultivo (40.74%), lo que sugiere que el sistema de cultivo no afectó dicho rendimiento, aunque fue mayor a lo reportado por Gallardo- Collí et al. (2019)

quienes observaron 21.83% y 22.39 % para juveniles de tilapia sin selección sexual de 163.09 g y 159.23 g respectivamente. Calzada-Ruiz et al. (2020) indicaron para tilapias revertidas y de peso promedio de 361.3 g logran un rendimiento de filete de 30.6 %. Rojas-Runjaic et al. (2011) reportaron para tilapias revertidas de 250-300 g una media de rendimiento de filete de 59.92 % cultivadas en estanques con flujo continuo. García et al., (2017) analizaron 1198 de *O. niloticus* machos y el rendimiento de filete fue entre 25.30-42.70 % con una media de 33.76 % para individuos de 647.45 g de peso promedio con 320 días de edad.

5.5. Crecimiento y supervivencia del camarón

Los camarones *M. caementarius* tuvieron una disminución en el peso durante el cultivo atribuida a la autotomía de quelípodos como mecanismo de liberación frente a las exuvias retenidas en los apéndices. Esta condición comprometió la estabilidad locomotora de los ejemplares, dificultando su capacidad de alimentación y derivando en un crecimiento retardado o nulo, evidenciado por la acumulación de alimento no consumido en los recipientes de cultivo. Según lo observado en la experiencia la pérdida de un apéndice cambia la morfología de un animal y pone restricciones en la fisiología y la biomecánica, lo que en última instancia conduce a cambios en el rendimiento y el comportamiento (Gillis & Highham 2016). Además, la pérdida de quelípodos del camarón ocasiona disminución del peso del camarón en 2 % si se pierde el quelípodo menor, del 11 % si es del quelípodo mayor y hasta 22 % si es de ambos quelípodos (Reyes et al., 2017) e incluso hay la reducción de hasta 40% del peso (Reyes-Avalos, 2016). Además, estos resultados están de acuerdo con lo reportado por Prestholdt et al. (2022) quienes mencionan que *Hemigrapsus nudus* recurrieron a la autotomía y mostraron disminución en la locomoción y en la alimentación. En *M. caementarius* cultivados en compartimientos individuales, pero en acuarios tuvieron resultados semejantes con la perdida de quelípodos por autotomía que afectaron la supervivencia, el crecimiento y el rendimiento productivo (Mogollón-Calderón & Reyes- Avalos, 2021). La autotomía es un rasgo anti-depredador extremo (Emberts et al., 2019), utilizado también con la intención de escapar de una trampa no depredadora (Maginnis 2008), tal como se observó los camarones recurrentemente sacaban sus quelípodos por las rendijas del contenedor posiblemente con la intención de escapar y al hacerlo pudo haber una sensación de atrapamiento o lesión en el forcejeo. Reyes et al. (2017) mencionaron que la regeneración de quelípodos se vuelve una carga en el presupuesto ordinario de energía del animal que afecta otros procesos somáticos y reproductivos regulares. Esta energía adicional explica la reducción del tamaño de los quelípodos regenerados de *M. caementarius* en la primera muda post autotomía lo que lleva a una perdida en crecimiento en peso individual y menor biomasa al final de la experiencia.

Además, la muerte por muda que también se evidenció en los camarones *M. caementarius* ocurrió porque la exuvia quedó atrapada en los periódodos, lo que produjo probablemente infección, y que está de acuerdo con lo reportado por Reyes (2012) quien reportó que la mayor frecuencia de mortalidad es por causa de la ecdisis incompleta pudiendo ocurrir al inicio, a la mitad o al final de la ecdisis. Finalmente, todos los camarones murieron antes del cuarto muestreo. La muda es un proceso fisiológico continuo con etapas de postmuda, intermuda y premuda culminando con la ecdisis, necesarios para continuar con el desarrollo, reproducción y crecimiento de los crustáceos (Reyes, 2012; Emberts et al., 2019). Sin embargo, a veces pueden ocurrir dificultades en este proceso fisiológico pudiéndose presentar ecdisis incompleta, autotomía de quelípodos e incluso muerte del camarón (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021; Reyes-Avalos et al., 2023). Las dificultades del proceso de la ecdisis necesitan ser estudiado para emplear nuevas estrategias de cultivo o de uso de un alimento reformulado para el camarón. Gallardo-Carril & Reyes-Avalos (2020), no reportan el síndrome de ecdisis incompleta y obtienen 100% de supervivencia en *M. caementarius* al incrementar el porcentaje emplear ensilado de harina de maíz en la dieta mencionando que las bacterias del ensilado mejoran la flora microbiana y con ello la asimilación de nutrientes.

5.6. Rendimiento productivo del camarón

El rendimiento de *M. caementarius* fue afectado por la autotomía de quelípodos y por la muerte por muda, resultando en solo 0.015 kg/m³. En una investigación con la misma especie de camarón se obtuvieron 0.308 kg/m² al cultivarlos en cocultivo con alevines de tilapia (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021). La muerte por ecdisis incompleta, así como la perdida de quelípodos durante la muda afectan también el rendimiento productivo (Reyes, 2016; Mogollón & Reyes, 2021). Este síndrome es frecuente en *M. caementarius* debido a deficiencias nutricionales (Acosta et al., 2018), y en el presente estudio, los camarones tuvieron dificultades para consumir los pellets y esto aunado al comportamiento alimenticio que debe haber coadyuvado con la aparición del síndrome. Guo et al. (2020) mencionan que los crustáceos se alimentan con los apéndices delanteros y sus piezas bucales antes de ingerir, y esta trituración externa de los alimentos provoca graves pérdidas de nutrientes solubles en agua, sumado a los hábitos alimenticios lentos del camarón (Guo et al., 2020).

5.7. Rendimiento económico

En el experimento, el rendimiento económico en ambos sistemas de cultivo no llegó, alcanzar la rentabilidad siendo la relación Beneficio y Costo < 1. Estos resultados permiten detectar los factores que limitan la rentabilidad, pudiendo ser un problema de altos costos de

producción, limitada eficiencia en la producción y bajos precios de venta o la combinación de estos. Respecto a los costos de producción observamos que el costo energético y costo de personal son los que tuvieron mayor impacto en la rentabilidad. Timmons et al. (2009), mencionan que la mano de obra juega en contra de los pequeños productores, ya que se ocupa el mismo recurso humano, tiempo y verificación de la seguridad para la operación de dos o veinte estanques de cultivo, aspecto que grandes productores tienen a su favor al reducir costos de producción favoreciendo la rentabilidad. El consumo de energía eléctrica fue otra variable que incremento los costos de producción debido al empleo en el funcionamiento continuo de bombas elevadoras de agua y blowers para la aireación de los sistemas de cultivo. Wambua et al. (2021), concuerdan que para reducir el consumo energético destinado al control ambiental (energía consumida por bombas y aireadores), es necesario encontrar las combinaciones adecuadas de densidades de siembra y caudales lo que conlleva un menor costo de producción y un entorno favorable para el desarrollo de la tilapia.

La limitada eficiencia en la producción fue otro factor en contra para obtener rentabilidad en la experiencia; siendo la baja sobrevivencia de los camarones y la biomasa final obtenida en los peces lo que limito el beneficio económico. Abd El-Hack et al. (2022) mencionan que las variables que afectan el crecimiento y la rentabilidad en el cultivo de tilapia son la densidad de población, la calidad del alimento, el sistema de cultivo, la frecuencia y tasa de alimentación, y parámetros de calidad del agua. Además, durante la experiencia se vieron parámetros productivos como factor de conversión alimenticia, factor de condición y coeficiente de variación que nos divisaban una limitada eficiencia productiva, como señales de alerta durante el proceso que se deben de tener en cuenta y luego poner en marcha estrategias que permitan corregir el desarrollo productivo para no perjudicar la producción y rentabilidad esperada.

La pérdida de alimento solo se pudo evidenciarse durante la limpieza de los sedimentadores, a diferencia del cultivo en acuarios, donde es notoria cuando el pez deja de consumir alimento gracias a la transparencia de los vidrios. En el sistema RAS, el manejo de los contenedores con camarones resulto más complejo por lo que deben retirarse fuera del agua para poder observar a los animales lo que puede generar estrés. En contraste en los cultivos en acuarios la visualización es continua por la transparencia de los vidrios, lo que permite monitorear sin necesidad de extraerlos fuera del medio acuático, evitando así el estrés.

Según la literatura revisada, los cultivos en acuario emplearon columnas de recipientes de hasta tres niveles (Mogollón- Calderon & Reyes-Avalos, 2021), mientras que en nuestra experiencia se utilizaron de hasta diez niveles, Esta diferencia estructural influye significativamente en el tiempo de hundimiento del alimento suministrado a los camarones, lo

que provoca perdida de palatabilidad, disminución de la hidroestabilidad y deterioro de sus componentes nutricionales. Estos factores afectaron de manera considerable el rendimiento productivo y económico de nuestra experiencia en comparación con los trabajos realizados en sistemas de cultivo en acuarios.

5.8. *Calidad del agua*

Los valores de oscilación en cada parámetro de calidad de agua medido en nuestra experiencia tuvieron repercusiones en los resultados hematológicos y de rendimiento productivo de la especie en cultivo mostrándonos un panorama general de la interrelación de los parámetros físicos y químicos con cada parte del sistema RAS. La concentración de oxígeno disuelto en el agua fue similar (5.55 y 5.58 mg/L) entre sistema de cultivo, estando dentro de lo recomendado para los RAS (Timmons et al., 2009). Los parámetros de calidad de agua no tuvieron diferencias entre las modalidades de cultivo, sin embargo, la temperatura de 26.15 °C, no es la ideal para óptimo desarrollo de *O. niloticus* lo que debe haber afectado el rendimiento productivo. Abd El-Hack et al. (2022) indican que para el crecimiento de tilapia se requiere entre 29 °C y 31°C. Por otro lado, las temperaturas mayores a 27°C pudieron afectar el crecimiento y supervivencia de *M. caementarius* cuando interactúan con otros parámetros químicos como pH, alcalinidad, dureza, concentración de oxígeno o sustancias nitrogenadas. Zacarías y Yepez (2015) observaron que *M. caementarius* habita ríos con temperaturas entre 16,4 °C y 29,2°C, teniendo una preferencia termal por los 24.5°C (Reyes-Avalos et al., 2020).

Los compuestos nitrogenados no tuvieron influencia en el sistema de cultivo y fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos. El amonio total presentó una media de 0.16 mg/L, el cual es menor a lo recomendado por Timmons et al. (2009) quien considera para tilapia en un RAS valores < 3.0 mg/L de nitrógeno amoniacal total. De igual manera sucedió con los nitritos cuya media de 0.30 y 0.28 ± 0.20 mg/L en el monocultivo y cocultivo respectivamente fue menor a lo recomendado por Timmons et al. (2009) que consideran mantener valores < 1.0 mg/L de nitrito para el cultivo de tilapia en RAS. Las concentraciones de nitrato (12.71 y 12.92 mg/L) en los tratamientos control y experimental respectivamente fueron menores lo recomendado < 500 mg/L, (Timmons et al., 2009) y < 90 mg/L (Osman et al., 2021). El pH (6.89 y 6.94) en los sistemas de cultivo fueron similares debido a los recambios de agua o reposición durante las labores de mantenimiento de los sistemas. Siendo el pH óptimo para el crecimiento y salud de la mayoría de animales acuáticos de agua dulce entre 6.5 - 9.0 pudiendo ser los extremos estresantes o letales y lo más importante son los efectos indirectos resultantes de las interacciones del pH con otras variables físicas y químicas (Timmons et al., 2009).

La dureza total (185.42 y 193.33 mg/L) del sistema de cultivo se mantuvo dentro de lo reportado en el medio natural de *M. caementarius* se ha encontrado en aguas con dureza entre 224.2 y 250.8 mg/L del río Cañete (Wasiw & Yépez, 2017) y en aguas duras > 400 mg/L como en el caso del río Tambo (Arequipa) (Wasiw & Yépez, 2015). La alcalinidad total (45.21 y 49.58 mg/L) se encuentra dentro de lo recomendado para *M. caementarius* (Wasiw & Yépez, 2017) y puede estar en un rango de 50 – 300 mg/L prestando atención a los límites para cada especie y a la relación que tiene este parámetro con el pH y el CO₂ (Timmons et al., 2009). Gallardo-Collí et al. (2019) cultivaron tilapia en biofloc con alcalinidades de 42.96 y 65.99 mg/L.

VI. CONCLUSIONES

- El crecimiento en peso de *O. niloticus* en cocultivo con *M. caementarius* fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que, en el monocultivo, cuyos valores fueron de 220.72 g y 176.86 g, respectivamente.
- La supervivencia de *O. niloticus* no se vio afectada en ambos tratamientos ($p > 0.05$), pero *M. caementarius* mostró una mortalidad total en cocultivo ocasionado por la ecdisis incompleta y la autotomía de quelípodos.
- Los parámetros hematológicos de *O. niloticus* fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos sin embargo el monocultivo presentó parámetros que indican un posible estrés ambiental.
- El rendimiento productivo de *O. niloticus* se incrementó de 5.28 kg/m³ a 8.84 kg/m³ y de 5.49 kg/m³ a 11.04 kg/m³ para monocultivo y cocultivo, respectivamente, pero fueron similares ($p > 0.05$).
- El rendimiento en filete fue similar entre tratamientos ($p > 0.05$) y el rendimiento económico en ambos tratamientos no tuvo rentabilidad debido a que los costos fueron mayores a los beneficios.

VII. RECOMENDACIONES

- Se deben tener estrategias correctivas durante el proceso productivo en caso de resultados no adecuados en conversión alimenticia, factor de condición y coeficiente de variación para no perjudicar la producción y la rentabilidad.
- Se deben establecer metodologías de buenas prácticas acuáticas a la hora de realizar los muestreos biométricos y la obtención de muestras de sangre para su posterior análisis con el empleo de anestésicos o medidas que no alteren el bienestar de los organismos en cultivo para que los resultados no se alteren por estrés.
- Se debe establecer metodologías de alimentación como alimentar mas lentamente a saciedad, o incrementar las frecuencias de alimentación para obtener el mejor resultado en el factor de conversión alimenticia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., & Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183-2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Acosta, A., Quiñones, D., & Reyes, W. (2018). Efecto de dietas con lecitina de soya en el crecimiento, muda y supervivencia de machos del camarón de río *Cryphiopt caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 143-151. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.15>
- Alderman, S., Gillis, T., Farrell, A., Jonz, M., Bernier, N., Sloman, K., Kraak, G., & Hwang, P. (2024). *Encyclopedia of fish physiology*. Academic Press (Elsevier). Second edition.
- Amaya, J. y A. Guerra. 1976. Especies de camarones de los ríos norteños del Perú y su distribución. Ministerio de Pesquería. Dirección General Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Lima. Perú. 29 p.
- Amin, M., Musdalifah, L. y Ali, M. (2020). Growth performances of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, reared in recirculating aquaculture and active suspension systems. En *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441(1), 012135. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/441/1/012135>
- Agumassie, T. (2018). Overview of length-weight relationship, condition factor and size at first maturity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in different water bodies of Ethiopia: A Review. *Greener Journal of Biological Sciences*, 8 (3), 21-28. <https://doi.org/10.15580/GJBS.2018.3.060618077>
- Aketch, B. O., Ang'ienda, P. O., Radull, J. O., & Waindi, E. N. (2014). Effect of stocking density on the expression of glucose transporter protein 1 and other physiological factors in the Lake Victoria Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *International Aquatic Research*, 6(2), 69. DOI <https://doi.org/10.1007/s40071-014-0069-3>
- Arboleda O. D. A. (2005). Reversión sexual de las Tilapias Roja (*Oreochromis* Sp), una guía básica para el acuicultor. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(12), 1-5. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617178008.pdf>
- Arnaudov, A., & Arnaudova, D. (2023). Erythrocytes and hemoglobin of fish: Potential indicators of ecological biomonitoring. IntechOpen. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.107053>

- Azaza, M. S., Assad, A., Maghrbi, W., & El-Cafsi, M. (2013). The effects of rearing density on growth, size heterogeneity and inter-individual variation of feed intake in monosex male Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Animal*, 7(11), 1865-1874. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001493>
- Bahnasawy, M., El-Ghobashy, A., & Abdel-Hakim, N. (2009). Culture of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating water system using different protein levels. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 13(2), 1-15. <https://dx.doi.org/10.21608/ejabf.2009.2029>
- Baltazar, Paúl M. (2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista Peruana de Biología*, 13(3), 267-273.
- Baquero, C. M. R., Caviedes, A. J. P., & Pérez, A. P. (2017). Respuestas hematológicas, hepáticas y esplénicas al estrés de tilapias en jaulas y libres en el embalse de Betania, Colombia. *AquaTIC*, 49, 8-20.
- Benitez, J.M., Rebollar-Rebollar, S., de Jesús González-Razo, F., Hernández-Martínez, J., & Gómez-Tenorio, G. (2015). Viabilidad económica para la producción y venta de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Amatepec, estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 37, 147-158.
- Benitez, A. (2014). Preparación y venta de pescados INAJ0109. IC Editorial. Primera edición. Antequera, Málaga.
- Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), e003. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-003>
- Bonilla-Flórez, J. A., Mayer, P., Estruch-Fuster, V. D., & Jover-Cerdá, M. (2017). Cambios en el índice de condición y relación longitud-peso durante el ciclo de crecimiento de la dorada (*Sparus aurata* L.) en jaulas marinas. *AquaTIC*, 47, 20-31.
- Calzada-Ruiz, D., Álvarez-González, C. A., Peña, E., Juárez-Barrientos, J. M., Aguilera-Morales, M. E., Alcántar-Vázquez, J. P., & Moreno-de la Torre, R. (2020). Desempeño productivo bajo condiciones comerciales de cultivo de la progenie de machos YY de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3095>
- Camaño, J. A., Londoño, L. F., & Zapata, J. E. (2021). Análisis técnico-económico del sistema integrado por la producción de peces y la alimentación de aves con dietas elaboradas a partir de ensilado piscícolas. *Información tecnológica*, 32(5), 167-180. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500167>

- Chareo-Benítez, B., Juárez-Barrientos, J. M., Álvarez-González, C. A., Kido-Cruz, M. T., & Alcántar-Vázquez, J. P. (2023). Desempeño productivo, económico y composición química de la tilapia del Nilo bajo diferentes regímenes alimenticios. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3): e3779. <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3779>
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., & Avnimelech, Y. (2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural engineering*, 40(3), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>
- Dara, M., Carbonara, P., La Corte, C., Parrinello, D., Cammarata, M., & Parisi, M. G. (2023). Fish welfare in aquaculture: Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress on Mediterranean aqua cultured species. *Fishes*, 8(8), 414. <https://doi.org/10.3390/fishes8080414>
- Delgado-Santillán, L. Y., Trigoso, M., Mamani, G. C., Mendoza, L., & De La Cruz, R. (2025). Calidad de agua y parámetros productivos del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) gris en estanque de tierra. *AgroScience Research*, 3(1), 27-38. <http://doi.org/10.17268/agrosci.2025.003>
- El-Nahal, S. S., Amer, M. A., Osman, M. F., & Ali, T. A. (2019). An assessment study of growth performance and gonads development of mono sex nile tilapia in different age stages during the production period. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 395-404. DOI: [10.21608/ajs.2019.43578](https://doi.org/10.21608/ajs.2019.43578)
- Embets, Z., Escalante, I., & Bateman, P. W. (2019). The ecology and evolution of autotomy. *Biological Reviews*, 94(6), 1881-1896. <https://doi.org/10.1111/brv.12539>
- Ergena, A., Natarajan, P., Bedewi, Z. (2023). Determination of some haematological parameters and disease resistance capacity to *Aeromonas hydrophila* infection in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. fed dietary supplementation of ginger (Zingiber Officinale). *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 27(3), 551-568. <http://doi.org/10.21608/ejabf.2023.303992>
- FAO. 2024. Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- Fitzsimmons, K. M., & Shahkar, E. (2016). Tilapia-Shrimp polyculture. En P. W. Perschbacher & R. R. Stickney (Eds.), Tilapia in intensive co-culture. (pp. 94-113). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch7>

Gabriel, U. U., Akinrotimi, O. A., & Eseimokumo, F. (2011). Haematological responses of wild Nile tilapia *Oreochromis niloticus* after acclimation to captivity. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 4(4).
https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/78103940/Paper_20Number_206-libre.pdf?1641375397

Gallardo-Carril, J., & Reyes-Avalos, WE (2020). Dietas con ensilado biológico de harina de maíz mejoran el desempeño productivo del camarón de río *Cryphiope caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria*, 11 (3), 409-417.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.13>

Gallardo-Collí, A., Pérez-Rostro, C. I., & Hernández-Vergara, M. P. (2019). Reuse of water from biofloc technology for intensive culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): effects on productive performance, organosomatic indices and body composition. *International Aquatic Research*, 11(1), 43-55.
<https://doi.org/10.1007/s40071-019-0218-9>

Garcia, A. L. S., de Oliveira, C. A. L., Karim, H. M., Sary, C., Todesco, H., & Ribeiro, R. P. (2017). Genetic parameters for growth performance, fillet traits, and fat percentage of male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Genetics*, 58, 527-533.

<https://doi.org/10.1007/s13353-017-0413-6>

Gillis, G., & Higham, T. E. (2016). Consequences of lost endings: caudal autotomy as a lens for focusing attention on tail function during locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 219(16), 2416-2422. <https://doi.org/10.1242/jeb.124024>

Giménez-Candela, M., Saraiva, J. L., & Bauer, H. (2020). The legal protection of farmed fish in Europe: analysing the range of EU legislation and the impact of international animal welfare standards for the fishes in European aquaculture. In *Derecho Animal: Forum of Animal Law Studies*, 11(1), 65-118. <https://doi.org/10.5565/rev/da.460>

Gómez, A. M. G., Davila, C. E. S., & Gonzales, S. (2024). Brechas en la implementación de protocolos de bioseguridad en centros de producción de tilapia en Perú: un sistema de vigilancia epidemiológica a medida. *South Sustainability*, 5(2), e114-e114.
<https://doi.org/10.21142/SS-0502-2024-e114>

Guo, J., Davis, R., Starkey, C., & Davis, D. A. (2020). Efficacy of various coated materials to prevent nutrient leaching for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* commercial

diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(1), 195-203.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12732>

Hahn von Hessberg, C. M., Quiroz Bucheli, A., y Grajales Quintero, A. (2014). Caracteres hematológicos en individuos de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Trewavas 1983) con pesos entre 50-150 g y 150-250 g, estación piscícola, Universidad de Caldas, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 18(1), 142–157. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/4467>

Hahn-Von-Hessberg, C. M., Grajales-Quintero, A. y Gutiérrez-Jaramillo, A. V. (2011). Parámetros hematológicos de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1757) con peso entre 250 g y 350 g, en el Centro Experimental Piscícola de la Universidad de Caldas. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 5(1), 47–61.
<https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4500>

Hernández-Vidal U. (2024) An overview of feeding strategies and challenges in tropical aquaculture. *Trop. Aquac.* 2(2): e5740.
<https://tropicalaquaculture.ujat.mx/index.php/ta/article/view/5740/4263>

Hisano, H., Barbosa, P. T., Hayd, L. A., & Mattioli, C. C. (2019). Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *International Aquatic Research*, 11(4), 335-346.
<https://doi.org/10.1007/s40071-019-00242-2>

Hisano, H., Barbosa, P. T. L., de Arruda Hayd, L., & Mattioli, C. C. (2021). Comparative study of growth, feed efficiency, and hematological profile of Nile tilapia fingerlings in biofloc technology and recirculating aquaculture system. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 60. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02523-z>

Jamal, M. T., Broom, M., Al-Mur, B. A., Al Harbi, M., Ghandourah, M., Al Otaibi, A., & Haque, M. F. (2020). Biofloc technology: Emerging microbial biotechnology for the improvement of aquaculture productivity. *Polish journal of microbiology*, 69(4), 401-409.
<https://doi.org/10.33073/pjm-2020-049>

Jara, C. G. (1997). Antecedentes sobre el desarrollo de la carcinología en Chile. *Investigaciones Marinas*, 25, 245-254. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71781997002500017>

Jerez-Cepa, I., Fernández-Castro, M., Del Santo O'Neill, T. J., Martos-Sitcha, J. A., Martínez-Rodríguez, G., Mancera, J. M., & Ruiz-Jarabo, I. (2019). Transport and recovery of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) sedated with clove oil and MS-222: effects on stress

axis regulation and intermediary metabolism. *Frontiers in Physiology*, 10, 612. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00612>

Kaushik, S. (2019). Factores que afectan la excreción nitrogenada en teleósteos y crustáceos. *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S.*, México. Recuperado de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/299/297>

King, A.S., Elliott, N.G., Macleod, C.K., James, M.A. & Dambacher, J.M. (2018). Toma de mejores decisiones: utilización de modelos de dígrafos con signo cualitativos para mejorar la selección de tecnologías de producción acuícola. *Marine Policy*, 91, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.032>

Leyva-Hernández, H. A., Romero-Salazar, J. C., Espinoza-Villegas, C. A., García, P. V., Arciniega-Galaviz, M. A., Luna-Valdez, J. G., & Hernández-Sandoval, P. (2024). Evaluación de variables productivas de *Oreochromis niloticus* en sistema de recirculación acuícola y acuícola tradicional. *Revista Ciencias del Mar*, 1(3), 7-29. <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/CIMAR/article/view/587/479>

Long, L., Zhang, H., Ni, Q., Liu, H., Wu, F., & Wang, X. (2019). Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 219, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.02.002>

Maginnis, T. L. (2008). Autotomy in a stick insect (Insecta: Phasmida): predation versus molting. *Florida Entomologist*, 91(1), 126-127. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)091\[0126:AIASII\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)091[0126:AIASII]2.0.CO;2)

Martínez, L. R., Porchas, M. M. P. M., Porchas, G. R. R., & Valdez, E. G. (2022). Alternativas de acuacultura sostenible: Aspectos nutricionales. *Avances en Nutrición Acuicola*, 1(1), 245-262. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/369/363>

Méndez, M. (1981). Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 5(1), 1-170. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/234>

Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Torres-Navarrete, Y., & Reyes-Pérez, J. J. (2018). Estado del arte del cultivo de tilapia roja en la mayor de las Antillas. *Bioteecnia*, 20(2), 15-24. <https://doi.org/10.18633/bioteecnia.v20i2.593>

- Mengistu, S. B., Mulder, H. A., Benzie, J. A., & Komen, H. (2020). A systematic literature review of the major factors causing yield gap by affecting growth, feed conversion ratio and survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 524-541. <https://doi.org/10.1111/raq.12331>
- Mogollón-Calderón, A., & Reyes-Avalos, W. (2021). Crecimiento y supervivencia de *Cryphiopt caementarius* en cocultivo con *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades. *Revista MVZ Córdoba*, 26(2), e1952. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1952>
- Munguti, J. M., Nairuti, R., Iteba, J. O., Obiero, K. O., Kyule, D., Opiyo, M. A., ... & Ogello, E. O. (2022). Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) culture in Kenya: Emerging production technologies and socio-economic impacts on local livelihoods. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(4), 265-276. <https://doi.org/10.1002/aff2.58>
- 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): Una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 75-97. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- New, M. B., & Valenti, W. C. (2016). *Tilapia-Macrobrachium Polyculture. Tilapia in Intensive Co-Culture*, 156–185. <https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch11>
- Nugroho, K. C., Rizky, P. N., Harijono, T., Halim, A. M., & Ritonga, L. B. (2024). Comparative study of growth performance of three tilapia strain in intensive culture system. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1328, No. 1, p. 012011). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1328, 012011. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1328/1/012011/pdf>
- Obirikorang, K. A., Agbo, N. W., Obirikorang, C., Adjei-Boateng, D., Ahiave, S. E., & Skov, P. V. (2019). Effects of water flow rates on growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture International*, 27, 449-462. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00342-0>
- Obirikorang, K.A., Opoku, E.N., Gyampoh, B.A. (2022). Feed digestion, growth and disease prevalence in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured at different water exchange rates in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture Studies*, 22(3), AQUAST565. <https://doi.org/10.4194/AQUAST565>

Osman, G. M., Mahmoud, M. S. Ahmed, E. A., Zohier, M. A. & Khedr, W. K.. (2021). Water quality and health status of the monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system (ASTAF-PRO). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(2), 785-802. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2021.169899>

Pandit, N., & Nakamura, M. (2011). Effect of High Temperature on survival, growth and feed conversion ratio of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Our Nature*, 8(1), 219–224. <https://doi.org/10.3126/on.v8i1.4331>

Peña-Rodríguez, A., Magallón-Barajas, F. J., Cruz-Suárez, L. E., Moll, B., Elizondo-González, R., & León, A. (2015). Avances en el cocultivo de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la macroalga *Ulva clathrata* en la costa occidental de Baja California. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), *Nutrición Acuícola: Investigación y Desarrollo*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/39>

Pinazo, K.F.P., Berrú, J.M.A., Bocardo, E.F. (2021). Economic-fishing analysis of the prawn *Cryphios caementarius* (Molina, 1782) in the Majes-Camaná river Arequipa- Perú (2019). Bol. Inst. Pesca 47, e627. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e627>

Prestholdt, T., White-Toney, T., Bates, K., Termulo, K., Reid, S., Kennedy, K., & Isikbay, M. (2022). Tradeoffs associated with autotomy and regeneration and their potential role in the evolution of regenerative abilities. *Behavioral Ecology*, 33(3), 518-525. <https://doi.org/10.1093/beheco/arac004>

PRODUCE, 2020. Anuario Estadístico Pesquero Y Acuícola 2019. Ministerio de la Producción del Perú. <https://n9.cl/uy6jp>

Ramírez León, M., Cántaro Álvarez, R., & Reyes Ávalos, W. (2018). Crecimiento y supervivencia de machos de *Cryphios caementarius* (Palaemonidae) con dietas suplementadas con sal común. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46 (2), 469-474. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue2-fulltext-22>

Reyes-Avalos, W., Díaz, C. A., Melgarejo-Velásquez, G., Calvo, B. A., & Salazar, R. L. (2023). Effect of dietary chitosan on the growth, survival, and prophenoloxidase of male freshwater prawns *Cryphios* (*Cryphios*) *caementarius*. *Aquaculture Reports*, 33, 101840. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101840>

Reyes-Avalos, W., Velásquez, G. M., Barrera, C. Y., & Chujutalli, K. F. (2020). Preferencia termal de machos adultos de *Cryphiopt caementarius* previamente aclimatados a diferentes temperaturas. *Revista peruana de biología*, 27(3), 375-383. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i3.17262>

Reyes-Avalos, W., Terrones, S., & Baltodano, I. (2017). Efectos de la regeneración de quelípodos en la muda y crecimiento de machos de *Cryphiopt caementarius* Molina, 1782 (Decapoda, Palaemonidae). *Revista Bio Ciencias*, 4(4), 18, doi: <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.04.05>

Reyes-Avalos, W. (2016). Effect of culture container on the survival and growth of male *Cryphiopt caementarius* in individualized systems. *Revista Bio Ciencias*. 3(4):311- 325. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.03.04.06>

Reyes, W. E. (2012). *Crecimiento y supervivencia de adultos del camarón de río Cryphiopt caementarius criados en sistema de recipientes individuales con recirculación de agua*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/b9b0c4fb-966c-4b1c-9763-c805ce62f55c>

Rodde, C., Chatain, B., Vandeputte, M., Trinh, T. Q., Benzie, J. A., & De Verdal, H. (2020). Can individual feed conversion ratio at commercial size be predicted from juvenile performance in individually reared Nile tilapia *Oreochromis niloticus*? *Aquaculture Reports*, 17, 100349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100349>

Rojas-Runjaic, B., Perdomo, D. A., García, D. E., González-Estopiñán, M., Corredor, Z., Moratinos, P., & Santos, O. (2011). Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitalada producida en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 29(1), 113-126.

https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692011000100010&script=sci_arttext

Saavedra, M. M., A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. *Nicaragua, BIDEAUSAID*, p22. <https://core.ac.uk/download/pdf/35144428.pdf>

Spiliotopoulou, A., Rojas-Tirado, P., Chhetri, R. K., Kaarsholm, K. M. S., Martin, R., Pedersen, P. B., Lars-Flemming, P. & Andersen, H. R. (2018). Ozonation control and effects of ozone on water quality in recirculating aquaculture systems. *Water Research*, 133, 289–298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.032>

Suárez-Puerto, B., Delgadillo-Díaz, M., Sánchez-Solís, MJ y Gullian-Klanian, M. (2021). Analysis of the cost-effectiveness and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in

biofloc and green water technologies during two seasons. *Aquaculture*, 538, 736534. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736534>

Stallbohm, R., Owatari, M. S., Zaniboni-Filho, E., & Martins, M. L. (2024). Recirculating aquaculture systems affects hematological parameters and increases ectoparasite susceptibility in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Marine and Fishery Sciences*, 37(4). <https://doi.org/10.47193/mafis.3742024010708>

Timmons, M., Ebeling, J., Piedrahita, R., Hevia, M., Parada, G., y Labatut, R. (2009). Acuicultura en sistemas de recirculación. Cayuga Aqua Ventures LLC. Ithaca, NY. 14850. Primera Edición en español Fundación Chile.

Walker-Vergara, R., Müller A., Arnés V., Jaramillo V., & Ildefonso R. (2020). Manual patología clínica en salmonidos. Proyecto FIE 2020. Programa para gestión sanitaria en la acuicultura. 2da. Edición. Disponible en https://bioblood.pathovet.cl/wp-content/uploads/2022/12/Manual_de_Patologia_Clinica_en_Salmonidos_2da_Ed.pdf

Wambua, D. M., Home, P. G., Raude, J. M., & Ondimu, S. (2021). Environmental and energy requirements for different production biomass of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in recirculating aquaculture systems (RAS) in Kenya. *Aquaculture and fisheries*, 6(6), 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.019>

Wasiw G., J., & Yépez P., V. (2017). Evolución de la condición poblacional del camarón *Cryphios caementarius* en el Río Cañete (2000-2015). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(1), 13. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i1.12942>

Wasiw, J., & Yépez, V. (2015). Evaluación poblacional del camarón *Cryphios caementarius* en ríos de la costa sur del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(2), 166-181. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11103>

Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., y Gong, Y. (2017). Rentabilidad económica del cultivo de tilapia en China. *Aquaculture International*, 25, 1253-1264. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0111-8>

Zacarías, S., & Yépez, V. (2015). Camarón de río *Cryphios caementarius* (Molina, 1782) en la costa centro-sur del Perú, 2007. *Instituto del Mar del Perú. Inf Inst Mar Perú* 42(3), 398-415. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2989>

ANEXOS

Anexo 1. Sistema de Recirculación

- A) Tanques de cultivo
- B) Sedimentadores
- C) Mineralizador anaeróbico
- D) Mineralizador aeróbico
- E) Biofiltro
- F) Sumidero
- G) Sistema de ingreso de agua



Anexo 2. Toma de datos biométricos de *C. caementarius* y *O. niloticus*

A) Captura de *O. niloticus* y *C. caementarius*

B) Medición de los camarones

C) Peso de los peces

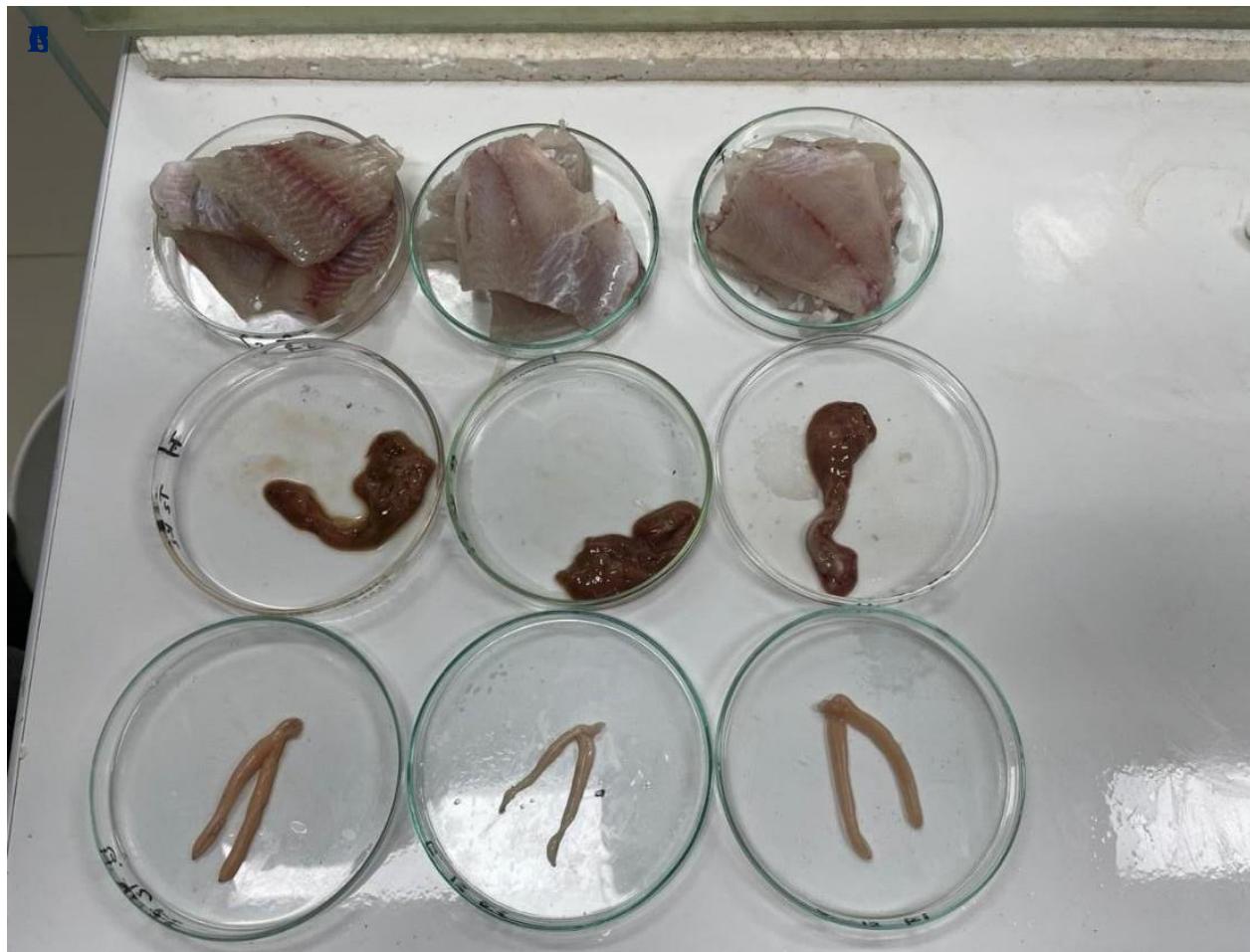


Anexo 3. Muestras para determinar el rendimiento en peso de filete, índice hepatosomático y gonadosomático de *O. niloticus*.

A) Filete lateral o longitudinal, corte a lo largo de los lados del pescado.

B) Muestra hepática

C) Muestra gonadal



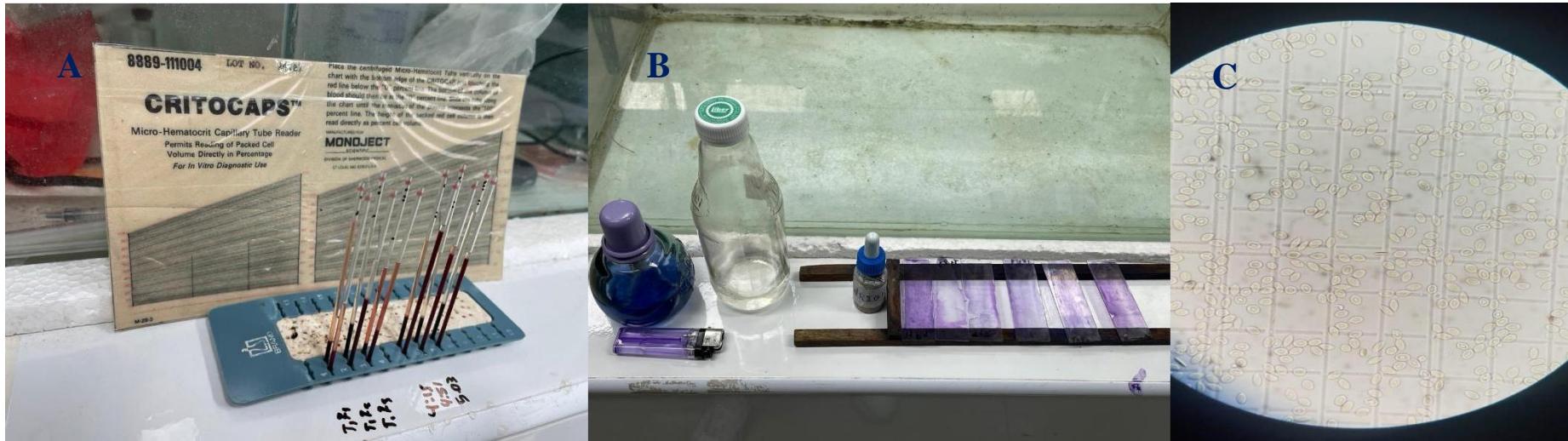
Anexo 4. Individuos de *C. caementarius* durante los muestreos presentando problemas de autotomía.

- A) Autotomía antes de la muda.
- B) Camarón completo de muda normal
- C) Autotomía antes de la muda
- D) Camarón completo de muda normal
- E) Camarón con autotomía total



Anexo 5. Preparación de muestras para análisis sanguíneo de *O. niloticus*.

- A) Muestras sanguíneas para análisis de hematocrito.
- B) Preparación de muestras sanguíneas para su observación al microscopio.
- C) Células sanguíneas vistas al microscopio.



Anexo 6. Esquema del sistema de recirculación acuícola donde se realizó la experiencia.

