

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la densidad de *Cryphiops (Cryphiops) caementarius* en  
cocultivo con alevines de *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y  
supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de  
recirculación**

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

**Autores**

Bach. Terreros Gómez, Jimmy Steve

Bach. Yarlequé Sánchez, Milagros Abigail

**Asesor**

Dr. Blgo. Reyes Avalos, Walter Eduardo

DNI: 17878579

ORCID: 0000-0002-4277-9521

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2024**

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

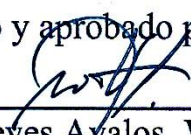
**Efecto de la densidad de *Cryphiops (Cryphiops) caementarius* en  
cocultivo con alevines de *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y  
supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de  
recirculación**

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

Bach. Terreros Gómez, Jimmy Steve

Bach. Yarlequé Sánchez, Milagros Abigail

Revisado y aprobado por el asesor

  
Dr. Blgo. Reyes Ayalos, Walter Eduardo

DNI: 17878579

ORCID: 0000-0002-4277-9521

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2024**

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



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

Efecto de la densidad de *Cryphiops (Cryphiops) caementarius* en cocultivo con alevines de *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de recirculación

**Evaluado y Aprobado por el Jurado**

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

Dr. Blgo. Rómulo Loayza Aguilar  
DNI: 32813194  
ORCID: 0000-0002-1247-8277

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

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2024**



## ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Laboratorio de Acuicultura Continental y Nutrición, siendo las 12:00 horas del día jueves 19 de diciembre 2024, dando cumplimiento a la Resolución N° 350-2024-UNS-FC se reunió el Jurado Evaluador presidido por Guillermo Saldaña Rojas, teniendo como miembros a Rómulo Loayza Aguilar (secretario) (a), y Walter Reyes Ávalos (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de BIOLOGO ACUICULTOR, realizado por el, (la), (los) tesista (as) Jimmy Steve Terreros Gómez Milagros Abigail Yarleque Sánchez, quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada: "Efecto de la densidad de Cryphiops (Cryphiops) caementarius en acultivo con Oreochromis niloticus sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema acuicola de recirculación"

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 19 puntos, según artículo 112° del Reglamento General de Grados y Títulos vigente (Resolución N° 337-2024-CU.-R-UNS)

Siendo las 13:26 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

  
Nombre: Guillermo Saldaña Rojas  
Presidente

  
Nombre: Rómulo Loayza Aguilar  
Secretario

  
Nombre: Walter Reyes Ávalos  
Integrante

Distribución: Integrantes J.E (3), tesistas (2) y archivo (02).



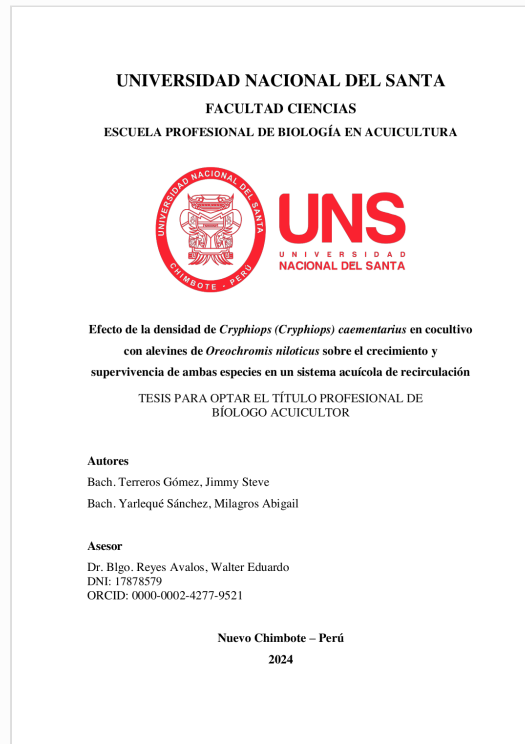


## Recibo digital

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: Jimmy Terreros Gómez Milagros Yarlequé Sánchez  
Título del ejercicio: Tesis de pregrado  
Título de la entrega: Efecto de la densidad de *Cryphiops* (*Cryphiops*) caementariu...  
Nombre del archivo: TESIS\_de\_Terreros\_y\_Yarleque.docx  
Tamaño del archivo: 15.04M  
Total páginas: 47  
Total de palabras: 10,607  
Total de caracteres: 59,050  
Fecha de entrega: 02-ene.-2025 04:49p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2559407042



# Efecto de la densidad de *Cryphiops* (*Cryphiops*) *caementarius* en cocultivo con alevines de *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de recircul

## INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://revistamvz.unicordoba.edu.co">revistamvz.unicordoba.edu.co</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://revistabiociencias.uan.mx">revistabiociencias.uan.mx</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://ri-ng.uaq.mx">ri-ng.uaq.mx</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.scielo.org.co">www.scielo.org.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://www.scielo.org.pe">www.scielo.org.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	D Arrieche, A N Maeda-Martínez, J A Farías-Sánchez, P E Saucedo. "Biological	<1%

## **DEDICATORIA**

A Dios, luz en mi vida, mi fortaleza y guía en mi camino. A mis padres Regina Sánchez y Augusto Yarlequé. A mi familia y mascotas aquí y en el cielo, por acompañarme e inspirarme. A mí, por seguir adelante.

Yarlequé M.

A Dios, con mucha gratitud ya que es testigo de mis logros. A mis padres, Juan Bernal y Karin Gómez, con mucho amor, por inculcarme; perseverancia y esfuerzo, para no rendirme ante cualquier obstáculo. A mis hermanos, Jesús y Pedro. Este trabajo de investigación, se la dedicado a ustedes, porque son mi fuerza, motor y motivo, y mi pilar para seguir adelante.

Terreros J.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Walter Reyes, por brindarnos la oportunidad de realizar el trabajo de investigación, brindarnos su tiempo, enseñanzas, consejos y recomendaciones.

A la profesora Gladis Melgarejo, le agradecemos por sus enseñanzas y orientaciones para encaminar este trabajo.

A nuestros compañeros que fueron partícipes de la ejecución de este proyecto y su apoyo con la investigación, Milagros, Angie, Brian, Franco, Mayte, Víctor, Lise y a quien nos apoyó en el proceso y culminación.

Agradecemos a cada una de las personas que fueron de gran apoyo en todo este tiempo, familiares y amigos.

Así mismo, nuestro agradecimiento a nuestra casa de estudios, la Universidad Nacional del Santa, en especial a la Escuela Académico Profesional de Biología en Acuicultura, por todos los conocimientos brindados a través de los docentes que nos acompañaron durante nuestros años de estudio.



## INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
Problema de investigación	4
Hipótesis de investigación	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
II. MARCO TEÓRICO	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	9
IV. RESULTADOS	14
V. DISCUSIÓN	18
VI. CONCLUSIONES	23
VII. RECOMENDACIONES	23
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	24
ANEXOS	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo de la densidad de siembra del camarón <i>C. (C.) caementarius</i> en sistema de recipientes de cultivo individual.	12
Tabla 2. Parámetros zootécnicos (media $\pm$ desviación estándar) de <i>C. (C.) caementarius</i> a diferentes densidades, en cocultivo con <i>O. niloticus</i> , durante 90 días.	14
Tabla 3. Parámetros zootécnicos (media $\pm$ desviación estándar) de <i>O. niloticus</i> a 100 tilapias/m <sup>3</sup> en cocultivo con <i>C. (C.) caementarius</i> a diferentes densidades, durante 90 días.	15
Tabla 4. Parámetros físicos y químicos (media $\pm$ desviación estándar) del agua de cocultivo de <i>C. (C.) caementarius</i> a diferentes densidades con <i>O. niloticus</i> , durante 90 días.	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del sistema de acuicultura de recirculación	10
Figura 2. A) Columna de recipientes para cultivo individual de camarón. B) Sistema de cultivo peces y camarones.	11
Figura 3. Crecimiento en longitud a) y en peso b) de <i>C. (C.) caementarius</i> a dos densidades de siembra y en cocultivo con <i>O. niloticus</i> , durante, durante tres meses.	14
Figura 4. Crecimiento en longitud A) y en peso B) de <i>O. niloticus</i> en cocultivo con <i>C. (C.) caementarius</i> a dos densidades de siembra, durante tres meses. C10 = 10 camarones/m <sup>3</sup> . C20 = 20 camarones/m <sup>3</sup> . Columnas con diferentes letras en un mismo mes de cultivo indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).	15
Figura 5. Variación de la temperatura del agua de los tanques de cultivo del sistema acuícola de recirculación del cocultivo de <i>C. (C.) caementarius</i> a dos densidades con <i>O. niloticus</i> , según semanas de muestreo. C10 = 10 camarones/m <sup>3</sup> . C20 = 20 camarones/m <sup>3</sup> .	16
Figura 6. Comparación de la temperatura del agua de los tanques de cultivo del sistema acuícola de recirculación del cocultivo de <i>C. (C.) caementarius</i> con el peso de <i>O. niloticus</i> con diferentes densidades C10 = 10 camarones/m <sup>3</sup> . C20 = 20 camarones/m <sup>3</sup> .	17

## ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Sistema de Recirculación.	33
Anexo 2. Acondicionamiento de los organismos y aclimatación del sistema para el estudio.	34
Anexo 3. Sistemas de cocultivo <i>C. (C.) caementarius</i> y <i>O. niloticus</i> .	35
Anexo 4. Toma de datos biométricos de <i>C. (C.) caementarius</i> y <i>O. niloticus</i> .	36

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la densidad de *Cryphiops (C.) caementarius* en cocultivo con *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies, en un sistema acuícola de recirculación. Los camarones machos (10.33 g y 6.5 cm de longitud total) y juveniles de tilapia (5.6 g y 7.3 cm longitud total) fueron sembrados en cuatro tanques de 1 m<sup>3</sup> dentro de un sistema de recirculación acuícola, donde se instalaron recipientes de plástico para la siembra de un camarón por recipiente (10 y 20 camarones/m<sup>3</sup>) y en el agua restante se sembraron tilapias a 100 juveniles/m<sup>3</sup>. Se proporcionó alimento balanceado para camarones y tilapia, durante tres meses. El crecimiento del camarón fue afectado por la aparición del síndrome de la ecdisis incompleta y la autotomía de quelípodos, lo que resultó en una pobre supervivencia (25 % y 37 %). La densidad de camarón no afectó el crecimiento de tilapia. Los parámetros de crecimiento en peso de tilapia fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, cuya TCE (2.36 y 2.28 %/día, respectivamente) y la GP (714.20 y 664.10%, respectivamente) fueron afectados por la amplia variación de la temperatura del agua (23 °C a 28 °C) y no por las columnas de recipientes de cultivo individual del camarón. No hubo mortalidad de tilapia en ningún tratamiento de densidad de camarón, durante el periodo de cultivo. Se requiere investigar la hidrodinámica dentro de los tanques de cultivo para mejorar el rendimiento de camarón y tilapia.

**Palabras clave:** camarón, muda, sistemas acuícolas, tilapia

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of *Cryphiops (C.) caementarius* density in coculture with *Oreochromis niloticus* on the productive performance of both species in a recirculating aquaculture system. Male prawn (10.33 g and 6.5 cm total length) and juvenile tilapia (5.6 g and 7.3 cm total length) were stocked in four 1 m<sup>3</sup> tanks within a recirculating aquaculture system, where plastic containers were installed for stocking one prawn per container (10 and 20 prawn/m<sup>3</sup>) and in the remaining water tilapia were stocked at 100 juveniles/m<sup>3</sup>. Balanced feed was provided for shrimp and tilapia for three months. Prawn growth was affected by the occurrence of incomplete ecdysis syndrome and cheliped autotomy, resulting in poor survival (25% and 37%). Prawn stocking density did not affect tilapia growth. Weight growth parameters of tilapia were similar ( $P > 0.05$ ) among treatments, with specific growth rate (2.36 and 2.28%/day, respectively) and weight gain (714.20 and 664.10%, respectively) being affected by the wide variation in water temperature (23°C to 28°C) and not by the individual prawn culture vessel columns. There was no tilapia mortality in any shrimp density treatment during the culture period. Hydrodynamics within culture tanks needs to be investigated to improve shrimp and tilapia performance.

**Keywords:** prawn, molting, aquaculture systems, tilapia.



## I. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos acuáticos se prevé que aumente un 13 % para el 2030, por la intensificación y expansión de la producción acuícola sostenible (FAO, 2022), por lo que resulta necesario generar estrategias para cubrir la demanda de alimento. La pesca y la acuicultura son un medio para obtener alimentos, trabajo y mejorar la economía de los países (Crespo y Jiménez, 2021); sin embargo, la pesca de captura ha llegado a niveles donde las áreas de pesca presentan insostenibilidad biológica (FAO, 2022). La acuicultura creció a un ritmo del 5.3 % anual entre los años 2001 – 2018 (Rocha et al., 2022) y es fuente de suplemento proteico (Boyd et al., 2022); además, se estima que para el año 2030 la acuicultura contribuirá con el 62 % de la demanda de pescado en el mundo (Kobayashi et al., 2015). Este escenario plantea nuevos desafíos para mejorar la producción acuícola, asegurar productos de calidad y desarrollar la acuicultura de manera sostenible.

Los cultivos integrados, donde se consideran a los cocultivos y policultivos, disminuyen los desechos que irían directamente al medio ambiente (Pardo et al., 2006) así, se logra mantener la calidad del agua (Yuan et al., 2010; An y Anh, 2020). Los policultivos tienen grandes ventajas sobre la producción total ya que mejoran la calidad del agua, reducen la materia orgánica en los efluentes y controla brotes de enfermedades tanto en tilapias como en camarones (Juárez-Rosales et al., 2019). El cocultivo, en particular, se caracteriza por la separación física de las especies dentro del ambiente, para maximizar la producción (Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021), donde se maneja especies territoriales y agresivas, donde no interaccionan ni compiten por el espacio o la comida (Reyes, 2020). Uno de los cocultivos más empleados es el de tilapia-camarón (Fitzsimmons y Shahkar, 2016; Perschbacher, 2017; Terrones y Reyes, 2018; Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021; Romana-Eguia et al., 2021). No obstante, también se ha cultivado en contenedores individuales (Reyes, 2020).

En el monocultivo de camarones peneidos en estacas de tierra, el exceso de nutrientes incrementa el fitoplancton, la concentración de amonio y la dinámica del oxígeno disuelto (Juárez-Rosales et al., 2019), el exceso de población en cultivo de tilapia disminuye la supervivencia (Costa et al., 2017). Por ello, se necesita conocer la adaptabilidad, en cuanto a las densidades, de *Oreochromis niloticus* y *Cryphiops (Cryphiops) caementarius* para mejorar el manejo del cocultivo y aprovechar el cuerpo de agua (Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021).

El uso de un sistema de acuicultura de recirculación (SAR) es beneficioso por que puede aumentar la producción, reducir las descargas de efluentes y la dependencia de recursos limitados como espacio y agua (Gichana et al., 2019). Es por ello que, se necesitan más investigaciones con innovaciones tecnológicas para establecer SAR de bajo costo y energéticamente eficientes para intensificar la producción, reducir las emisiones de efecto invernadero y adaptarse al cambio climático (Ahmed & Turchini, 2021). En el SAR se puede mantener la calidad del agua con el 2.1 % del reemplazo diario, además, la tasa de crecimiento individual de los organismos es afectada con el aumento de la densidad de población de tilapia (Gullian-Klanian y Arámburu-Adame, 2013). Bajo este panorama, se diseñó el presente estudio.

### **Problema de investigación**

¿Cuál es el efecto de la densidad de *C. (C.) caementarius* en cocultivo con alevines de *O. niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de recirculación?

### **Hipótesis de investigación**

Si, en un sistema de acuicultura de recirculación realizamos el cocultivo de *C. (C.) caementarius* en recipientes individuales a las densidades de 10 y 20 camarones/m<sup>3</sup>, con *O. niloticus* a la densidad de 100 alevines/m<sup>3</sup>, entonces se logra mayor crecimiento y supervivencia de las especies con la densidad de 20 camarones/m<sup>3</sup>.

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la densidad de *C. (C.) caementarius* en cocultivo con alevines de *O. niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia de ambas especies en un sistema acuícola de recirculación.

### **Objetivos específicos**

- Cuantificar el crecimiento y supervivencia de *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades (10 y 20 camarones/m<sup>3</sup>) en cocultivo con alevines de *O. niloticus* en sistema acuícola de recirculación.

- Cuantificar el crecimiento y supervivencia de alevines de *O. niloticus* en cocultivo con *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades (10 y 20 camarones/m<sup>3</sup>) en sistema acuícola de recirculación.

## II. MARCO TEÓRICO

La densidad de carga en cultivos acuícolas es un factor que afecta los parámetros biológicos y químicos del cultivo y tiene repercusiones sobre la supervivencia (Loaiza-Guillen et al, 2023; Changana y Castillo, 2021). Además, la agresividad, interacción y el canibalismo son comportamientos propios de *C. (C.) caementarius* y manejar estos factores en cada etapa de desarrollo puede mejorar su crecimiento y supervivencia (Reyes, 2020). En el cultivo de adultos de *C. (C.) caementarius* la interacción física de los animales y el canibalismo son un problema, pero la crianza en recipientes individuales (205-284 cm<sup>2</sup>) a densidades de 32 y 94 camarones/m<sup>3</sup> es una alternativa para su producción comercial, donde se logra mantener alta supervivencia y producción (Reyes-Avalos, 2016). Asimismo, se ha demostrado la viabilidad técnica de este sistema de cultivo individual en diferentes investigaciones (Fuentes et al., 2021; Acosta et al., 2018; Zamudio & Reyes, 2020; Zavala-Zavaleta et al., 2022; Baltodano et al., 2022), no obstante, su implementación en un SAR aún no se ha realizado.

Las experiencias de cultivo integrado de *O. niloticus* con *Macrobrachium amazonicum* (Rodríguez et al., 2019) y el cocultivo de tilapia con *C. (C.) caementarius* (Terrones y Reyes, 2018; Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021) muestran resultados alentadores. En el cocultivo del langosino *Litopenaeus vannamei* y tilapia *O. niloticus* el peso individual medio, la biomasa final y la supervivencia del langostino, en estanques fueron mayores que los cultivados en monocultivo a 10 org/m<sup>2</sup> para langostino y 4 org/m<sup>2</sup> para tilapia (Juárez-Rosales et al 2019). Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, (2021) demostraron en acuarios que la tilapia crece mejor a la densidad de 100 alevines/m<sup>3</sup>, sin embargo *C. (C.) caementarius* a la densidad de 32 camarones/m<sup>3</sup> obtiene mayores ganancias de crecimiento con la densidad de 200 alevines/m<sup>3</sup>. En *M. acanthurus* la alta densidad de población (8-11 org/m<sup>2</sup>) influye negativamente en los parámetros de crecimiento de *Prochilodus argenteus* (3.5 ind/m<sup>2</sup>), menos en la supervivencia, lo que contribuye al aumento de la biomasa final (Almeida et al., 2015).

En el policultivo de *L. vannamei* con tilapia roja, la producción de langostino (7.5 kg) aumentó con la producción añadida de tilapia (3.7 kg); además, el crecimiento y la supervivencia de *L. vannamei* no se vio afectado por la presencia de los peces (Mcdonal-Vera et al., 2020). La tasa de crecimiento específica (TCE) de *C. (C.) caementarius* machos

en cultivo individual en multiniveles fue de 0.741 %/día, mientras que la tasa de crecimiento absoluto (TCA) 0.064 g/día (Reyes-Avalos, 2016). Asimismo *C. (C.) caementarius*, en cocultivo con tilapia nilótica en acuarios tuvo mejor TCE (0.251 % peso/día) y TCA (0.021 g/día) con la densidad de 200 alevines de tilapia/m<sup>3</sup> (Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021). Por otro lado, la mayor productividad de camarón amazónico *M. amazonicum* (303 kg/ha) en cocultivo en estanques, resultó con 2 tilapias/m<sup>2</sup> y 16 camarones/m<sup>2</sup> (Henry-Silva et al., 2015).

En el sistema de cultivo individual de *C. (C.) caementarius* se soluciona el problema de la interacción física y canibalismo supervivencias (Reyes-Avalos, 2016), pero la densidad en cocultivo con tilapia puede incidir notoriamente sobre los parámetros fisicoquímicos del agua y terminar con afectar la producción total (Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021), por lo que, el manejo de la calidad el agua resulta en una práctica que requiere ser meticulosamente conducida. Los camarones en general son sensibles a cambios en los parámetros físicos y químicos del agua de cultivo (Meruane et al., 2006). En tal sentido, la calidad del agua en un sistema de producción acuícola tiene un papel fundamental para el éxito de los cultivos (Olivo-Gutiérrez et al., 2018). Para mantener la supervivencia de *C. (C.) caementarius* se ha descrito límites de amonio (0.15 ppm), nitritos (0.25 ppm) y nitratos (4.0 ppm) para ser considerados en sistemas de monitoreo remotos (Flores y Aracena, 2018; Meruane et al., 2006). Asimismo, en ambientes naturales también se mencionan rangos de calidad de agua donde existe mayor biomasa y densidad de *C. (C.) caementarius* cuando los valores de oxígeno disuelto son > 8.0 mg/L, alcalinidad < a 150 mg/L, dureza total entre 224.2 - 250.8 mg/L y pH entre 8.6 – 8.8 (Wasiw y Yépez, 2017). Diversos autores mencionan que las aguas de ríos con temperaturas entre 15 – 27°C son aparentes para el desarrollo de *C. (C.) caementarius* (Zacarías & Yépez, 2015); y trabajos experimentales de cultivo se realizaron entre 20 y 25 °C (Meruane et al., 2006).

En contraste, *O. niloticus* se encuentra entre los peces de aguas cálidas más utilizados para la producción acuícola y más de 140 países en el mundo lo cultivan y comercializan (Munguti et al., 2022), por ser fácilmente manejada por su alta tolerancia a diferentes condiciones ambientales como cambios en la salinidad, densidad de siembra (Carranza y Aceituno, 2019), diferentes temperatura de cultivo (Santos et al., 2013). En la actualidad, el cultivo se desarrolla en sistemas extensivos y controlados como los sistemas de

acuicultura de recirculación (SAR) donde se aplica también tecnologías como biofloc y acuaponía (Ornelas-Luna et al., 2017).

En el cultivo de tilapia en jaulas flotantes el aumento de la densidad de siembra de 250 a 450 ind/m<sup>3</sup> causa disminución en la ganancia de peso diario (1.61 y 0.72 g/día respectivamente) y de la biomasa (34.80-36.24 kg/m<sup>3</sup>) (Costa et al., 2017). De igual manera sucede en tanques de fibra de vidrio a flujo abierto con densidades de 300 a 600 ind/tanq donde la tasa de crecimiento específica fue afectada (1.69 y 1.56 %/día respectivamente) (Yakubu et al., 2012).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### *Procedencia de camarón y tilapia*

Los camarones (n = 200) fueron colectados del río Pativilca (10°39'50" S - 77°40'02" O), Lima, Perú, en octubre de 2022. Mientras que, los alevines revertidos de tilapia (n = 1000) procedieron de la empresa Fish & Aquaculture E.I.R.L (Moyobamba, Perú) en octubre de 2022.

#### *Transporte y acondicionamiento*

Los camarones fueron transportados en sistema de cultivo individual en vasos de plástico de 200 mL con orificios para permitir el flujo de agua, los cuales se colocaron dentro de cajas de plástico de 45 L con agua del río y con aireación. La densidad fue de 60 camarones/caja. El transporte fue vía terrestre durante 5 h. Los camarones se aclimataron en el laboratorio durante 10 días en el mismo sistema de transporte y alimentados a partir del tercer día con dieta balanceada (35 % proteína cruda). Además, se realizaron recambios de agua del 30 %, y limpieza de los restos de alimentos y desechos sólidos de excreción cada tres días.

Los alevines revertidos de tilapia se transportaron vía terrestre durante 24 h, y en laboratorio fueron aclimatados durante una semana en tanques rectangulares de fibra de vidrio (100 L) a una densidad de 200 alevines/m<sup>3</sup> y se alimentaron con dieta balanceada Aqua Tech (45 % proteína cruda).

#### *Identificación taxonómica*

Los camarones *C. (C.) caementarius* fueron reconocidos según Méndez (1981) y el sexo se determinó por la presencia de un gonópodo en cada coxa del quinto par de periópodos. El reconocimiento de la especie de tilapia *O. niloticus* se realizó según Al-Faisal y Mutlak (2015).

#### *Selección de camarón y tilapia para la siembra*

La muestra de camarones fue de 60 (machos adultos) de  $6.50 \pm 0.85$  cm de longitud total y de  $10.33 \pm 3.76$  g de peso total, con apéndices cefalotorácicos completos. La muestra de tilapia fue de 600 juveniles de  $7.30 \pm 1.09$  cm de longitud total y de  $5.60 \pm 2.60$

g de peso total, con aparente estado saludable y sin alteraciones del comportamiento.

### *Sistema de acuicultura de recirculación*

El sistema de acuicultura de recirculación (Fig. 1) ubicado en la parte posterior del edificio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional del Santa, estuvo compuesto por cuatro tanques circulares de cultivo de 1 m<sup>3</sup>, cada uno contaba con un sedimentador (0.25 m<sup>3</sup>), y estos se conectaban a un mineralizador anaeróbico (0.94 m<sup>3</sup>), que desembocó a un desgasificador (0.24 m<sup>3</sup>), luego a un biofiltro (0.24 m<sup>3</sup>) y a un tanque sumidero (2.06 m<sup>3</sup>), desde donde se bombeó el agua hacia los tanques de cultivo. Cada tanque de cultivo contaba con un tubo de ingreso individual de aire y agua. La aireación en los tanques de cultivo, en el desgasificador y el biofiltro, fue con un blower de 1 HP con un flujo de aire (7.28 cfm), además, se dispuso de un difusor de disco (9" de Ø) de burbuja fina (0,1 µm), colocado en el fondo.

El agua utilizada fue declarada con aireación durante 48 h, luego fue almacenada y distribuida desde el sumidero a cada tanque a través de la tubería central, con un caudal de 84 L/min. Además, el agua que se perdía por evaporación (aprox. 0.1%) era añadida al sumidero semanalmente para mantener el nivel de agua.

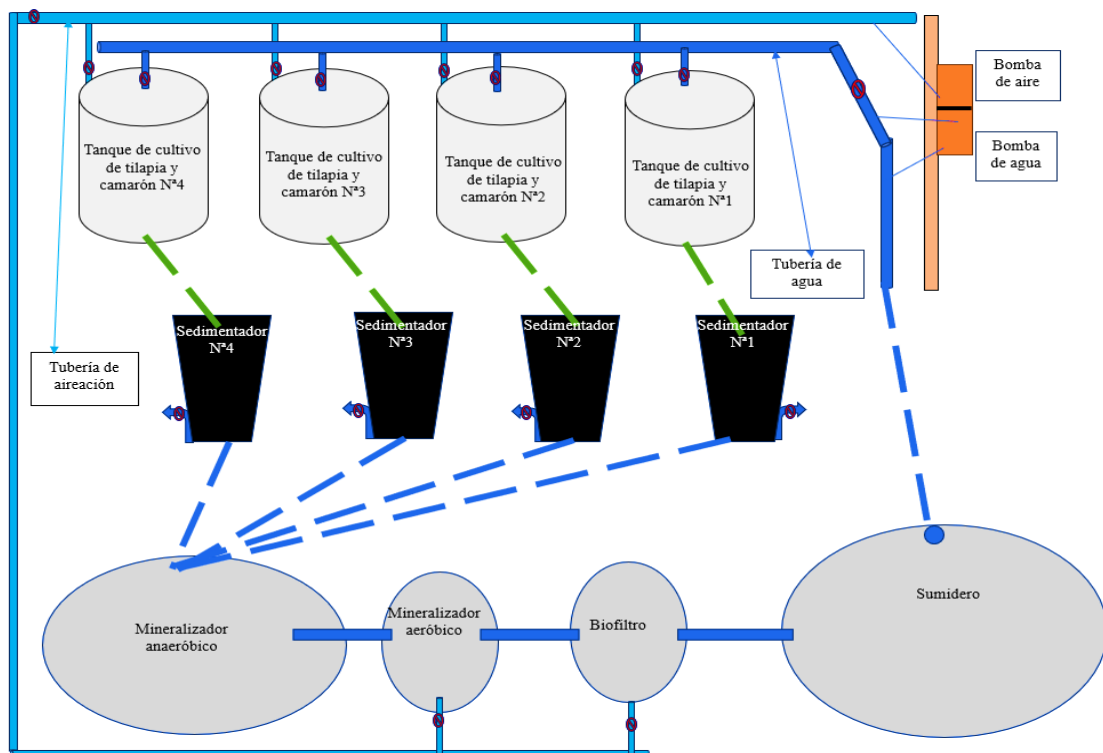


Figura 1. Esquema del sistema de acuicultura de recirculación

### Sistema de cultivo de camarón

El sistema de cultivo del camarón fue el experimentado previamente (Reyes-Avalos, 2016), el cual consistió de recipientes circulares individuales (284 cm<sup>2</sup>, 19 cm diámetro y 8 cm de altura) con aberturas en los laterales para la circulación de agua, a su vez cada uno contaba con un tubo PVC de ½ " de diámetro que sobresalía sobre el nivel del agua para introducir alimento balanceado. Los recipientes fueron apilados en 10 pisos para formar una columna que ocupó un volumen de 0.024 m<sup>3</sup> por columna.

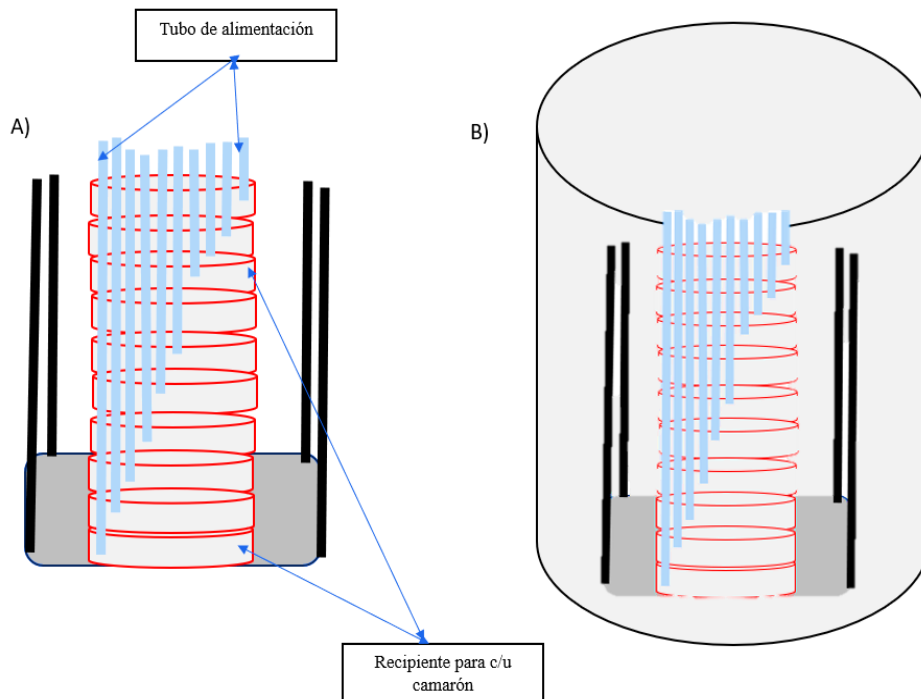


Figura 2. A) Columna de recipientes para cultivo individual de camarón. B) Sistema de cultivo peces y camarones.

### Cálculo de la densidad de siembra

El cálculo de la densidad de siembra del camarón *C. (C.) caementarius* en sistema de recipientes de cultivo individual puede expresarse de diferentes maneras (Tabla 1). Sin embargo, como en la investigación se realizó el cocultivo de camarón-tilapia, los tratamientos de densidad de camarón fueron expresados como C10 (1 columna de recipientes = 10 camarones/m<sup>3</sup>) y C20 (2 columnas de recipientes = 20 camarones/m<sup>3</sup>), cada tratamiento fue por duplicado. En el volumen de agua restante (0.977 m<sup>3</sup>) de los tanques de cultivo, se sembraron tilapia a 100 juveniles/m<sup>3</sup> en ambos tratamientos, según lo recomendado (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021).

Tabla 1. Cálculo de la densidad de siembra del camarón *C. (C.) caementarius* en sistema de recipientes de cultivo individual.

Condiciones	Área	Densidad*
1. Según el área del fondo (1 m Ø) del tanque circular de cultivo.	0.785 m <sup>2</sup>	13 camarones/m <sup>2</sup>
2. Según el área del fondo (19 cm Ø) del recipiente circular de cultivo individual.	283.5 cm <sup>2</sup>	353 camarones/m <sup>2</sup>
3. Según el volumen de la columna formada con 10 recipientes circulares de cultivo individual de camarón.	0.024 m <sup>3</sup>	417 camarones/m <sup>3</sup>
4. Según el volumen del tanque circular de cultivo donde se acondiciona una columna con 10 recipientes circulares de cultivo individual de camarón.	1 m <sup>3</sup>	10 camarones/m <sup>3</sup>

\*Densidad calculada en base a 10 camarones

### *Alimento y alimentación*

El alimento para camarón (30 % de proteína total, 8.1 % de lípidos y 4.6 % de fibra, con 2600 kcal/g), se elaboró con insumos locales según la formulación basal empleada por Reyes-Avalos et al. (2024). El alimento comercial para peces fue de Aquatech Tilapia de 2 x 2 mm (40 % proteína MIN, 12 % grasa MIN, 2.5 % fibra MAX, 1.6 calcio MIN, 1 % fósforo MIN, 12 % ceniza MAX, con 3600 de ED en kcal/kg). La ración diaria para tilapia (7:00, 12:00 y 18:00 h) fue del 6 % de la biomasa total, y para camarón (07:00 y 18:00 h) fue del 5 %.

### *Biometría*

El muestreo de los animales se realizó cada 30 días durante 90 días. Para tilapia se utilizaron 10 peces seleccionados al azar de cada tanque, y para camarones se muestrearon todos los organismos de cada tratamiento. El peso total (g) se determinó en una balanza digital (Adam AQT600, ± 0.1 g). La longitud total (cm) de los camarones se determinó con un vernier (± 0.5 mm) midiendo desde la escotadura post-orbital hasta el extremo posterior del telson. La longitud de los peces se determinó con un ictiómetro graduado (1 mm). Con los datos obtenidos se determinaron los parámetros zootécnicos mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Tasa de Crecimiento Absoluto} = (X_2 - X_1) / t_2 - t_1$$

$$\text{Tasa de Crecimiento Específico (\% peso/día)} = [\ln X_2 - \ln X_1] / t_2 - t_1 \times 100 \text{ (g)}$$

$$\text{Ganancia en peso (\%)} = [(X_2 - X_1) / X_1] \times 100$$

$$\text{Supervivencia (\%)} = (N_i \times 100) / N_o$$

$$\text{Factor de condición de Fulton (K, \%)} = (\text{Peso} / \text{Longitud}^3) \times 100$$

Dónde  $X_1$  y  $X_2$  son la longitud o el peso húmedo, inicial y final;  $t_1$  y  $t_2$  son la duración en días;  $\ln X_1$  y  $\ln X_2$  son el logaritmo natural de la longitud o el peso inicial y final;  $N_o$  y  $N_i$  son el número inicial y final de organismos sembrados, respectivamente; y  $D_2$  es la densidad final.

#### *Calidad de agua*

La calidad de agua se monitoreó cada 15 días, y comprendió la determinación de oxígeno disuelto con Oxímetro digital ( $\pm 0.01$  mg/L), la temperatura y el pH con un sensor digital (Pro Instruments,  $\pm 0.01$  °C;  $\pm 0.01$  unidades). Los nitritos y nitratos con Multitest Seachem El amonio total, dureza total (GH) y dureza carbonatada (KH) con test kit API. Los desechos sólidos se extrajeron diariamente, a través del desagüe de los sedimentadores, extrayendo 20 L de agua de cada uno.

#### *Análisis estadístico*

Los datos se analizaron con la prueba de Shapiro-Wilk ( $P < 0.05$ ) cumpliendo la distribución normal. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron con la prueba t Student se determinó cual fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ). El análisis estadístico se realizó con el software SPSS 25.0 para Windows.

#### IV. RESULTADOS

##### *Crecimiento y supervivencia de camarón*

El crecimiento en longitud del camarón fue similar ( $P > 0.05$ ) en los dos tratamientos, pero incrementó de un promedio de 6.47 cm a 7.44 cm, durante el periodo de cultivo. El crecimiento en peso del camarón también fue similar ( $P > 0.05$ ) en los dos tratamientos, pero en el primer mes de cultivo hubo incrementó de 10.36 g a 12.74 g, luego disminuyó y se mantuvo hasta el final del experimento en 11.97 g (Figura 3).

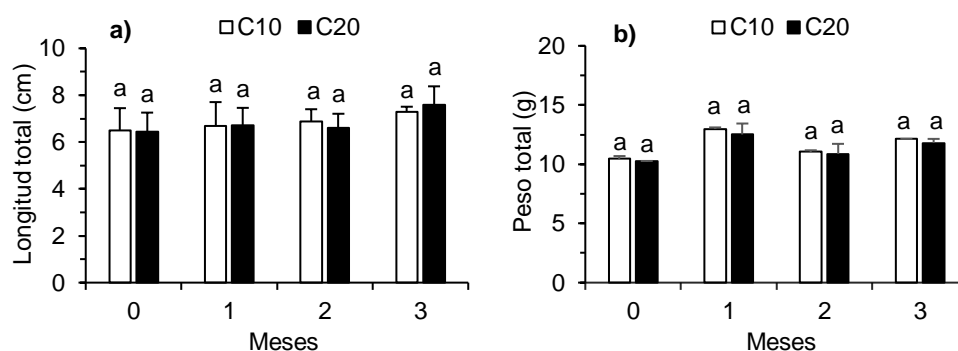


Figura 3. Crecimiento en longitud a) y en peso b) de *C. (C.) caementarius* a dos densidades de siembra y en cocultivo con *O. niloticus*, durante, durante tres meses. Columnas con diferentes letras en un mismo mes de cultivo indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>.

Los parámetros de crecimiento en peso del camarón fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, no obstante, la GP y la TCE fue mayor con la densidad de C10 (Tabla 2). La supervivencia fue mayor ( $P < 0.05$ ) en la densidad C20.

Tabla 2. Parámetros zootécnicos (media  $\pm$  desviación estándar) de *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades, en cocultivo con *O. niloticus*, durante 90 días.

Parámetros	C10	C20
Peso inicial (g)	10.45 $\pm$ 3.71 <sup>a</sup>	10.27 $\pm$ 3.83 <sup>a</sup>
Peso final (g)	12.14 $\pm$ 1.19 <sup>a</sup>	11.80 $\pm$ 4.89 <sup>a</sup>
CA	1.69 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	1.55 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
TCA	0.019 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	0.017 $\pm$ 0.005 <sup>a</sup>
GP (%)	16.18 $\pm$ 2.64 <sup>a</sup>	15.08 $\pm$ 3.44 <sup>a</sup>
TCE	0.17 $\pm$ 0.025 <sup>a</sup>	0.16 $\pm$ 0.033 <sup>a</sup>
Supervivencia (%)	25.0 $\pm$ 3.40 <sup>a</sup>	37.5 $\pm$ 3.50 <sup>b</sup>
K (%)	3.18 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	2.62 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>

CA: Crecimiento absoluto, TCA: Tasa de crecimiento absoluto, GP: Ganancia de peso, TCE: Tasa de crecimiento específico. K: Factor de condición de Fulton. C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>. Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

La muerte de los camarones fue por muerte por ecdisis incompleta observado en algunos recipientes camarones con la exuvia atrapada en los periópodos. También hubo



autotomía de camarones por observación de los quelípodos reducidos en los organismos en postmuda. En los compartimentos inferiores del sistema vertical hubo acumulación de alimento no consumido y heces de los camarones y tilapias. En cambio, en los compartimentos superiores no se acumuló alimento ni heces.

#### *Crecimiento y supervivencia de tilapia*

El crecimiento en longitud y peso de tilapia en los dos tratamientos incrementó durante el periodo experimental, pero sin diferencias ( $P > 0.05$ ) (Figura 4).

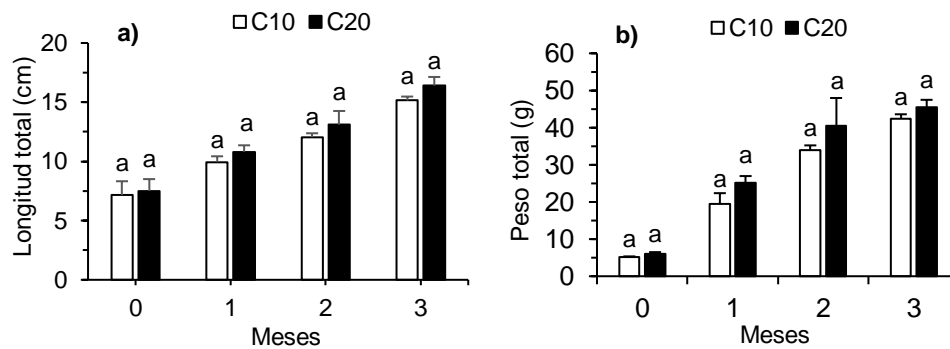


Figura 4. Crecimiento en longitud A) y en peso B) de *O. niloticus* en cocultivo con *C. (C.) caementarius* a dos densidades de siembra, durante tres meses. C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>. Columnas con diferentes letras en un mismo mes de cultivo indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

Los parámetros de crecimiento en peso de la tilapia fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, no obstante, La GP y la TCE fue mayor con la densidad C10 (Tabla 3). No hubo mortalidad de tilapia en ningún tratamiento. El factor de condición K fue similar entre tratamientos, pero fue mayor en la densidad C10.

Tabla 3. Parámetros zootécnicos (media  $\pm$  desviación estándar) de *O. niloticus*, en cocultivo con *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades, durante 90 días.

Parámetros	C10	C20
Peso inicial (g)	5.17 $\pm$ 2.65 <sup>a</sup>	5.98 $\pm$ 2.63 <sup>a</sup>
Peso final (g)	42.34 $\pm$ 10.26 <sup>a</sup>	45.44 $\pm$ 14.77 <sup>a</sup>
CA	37.17 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>	39.46 $\pm$ 2.56 <sup>a</sup>
TCA	0.42 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.44 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
GP (%)	714.20 $\pm$ 2.06 <sup>a</sup>	664.10 $\pm$ 99.34 <sup>a</sup>
TCE	2.36 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	2.28 $\pm$ 0.146 <sup>a</sup>
Supervivencia (%)	100.0 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	100.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>
K (%)	1.23 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	1.01 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>

CA: Crecimiento absoluto, TCA: Tasa de crecimiento absoluto, GP: Ganancia de peso, TCE: Tasa de crecimiento específico. K: factor de condición de Fulton. C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>. Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

Los peces aceptaron el alimento en los horarios establecidos durante el experimento, además, se observó que consumieron el perifiton asentado en las paredes de los recipientes de cultivo y en las paredes de los tanques. No se observaron comportamientos agresivos entre peces.

### Calidad del agua

La temperatura, los nitratos, dureza total y el pH del agua fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. El amonio y los nitritos fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en la densidad de 10 org/m<sup>3</sup>, en cambio la alcalinidad total fue mayor en la densidad de 20 org/m<sup>3</sup> (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros físicos y químicos (media  $\pm$  desviación estándar) del agua de cocultivo de *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades con *O. niloticus*, durante 90 días.

Parámetros	C10	C20
Temperatura (°C)	25.01 $\pm$ 1.33 <sup>a</sup>	25.06 $\pm$ 1.49 <sup>a</sup>
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.75 $\pm$ 1,50 <sup>a</sup>	7.85 $\pm$ 1,40 <sup>a</sup>
Amonio (mg/L)	0.19 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	0.11 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>
Nitrito (mg/L)	0.38 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>	0.36 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>
Nitrato (mg/L)	16.39 $\pm$ 6.37 <sup>a</sup>	16.11 $\pm$ 6.31 <sup>a</sup>
Dureza total (mg/L)	200.56 $\pm$ 29.80 <sup>a</sup>	209.44 $\pm$ 21.82 <sup>a</sup>
Alcalinidad total (mg/L)	40.83 $\pm$ 9.89 <sup>b</sup>	49.44 $\pm$ 9.68 <sup>a</sup>
pH (unidades)	7.37 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	7.38 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>

C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>. Datos con diferentes letras en superíndice en una misma fila indica diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

La temperatura del agua de ambos tratamientos varió durante el periodo de cultivo, donde en el primer mes de cultivo la temperatura disminuyó de 25.45 °C a 24.10 °C, para luego incrementar en la quinta semana hasta 27.55 °C y disminuir en sexta y séptima semana a 25.90 °C y 24.10 °C, respectivamente, y mantenerse entre 23 °C a 24 °C en el último mes de cultivo (Figura 4).

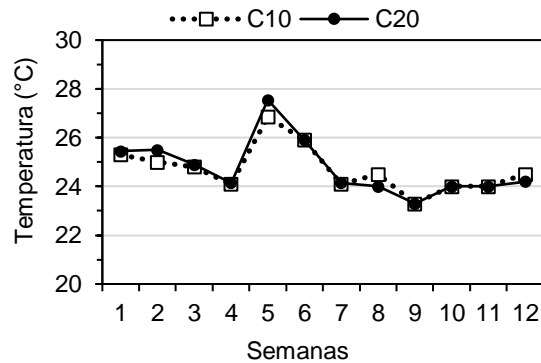


Figura 5. Variación de la temperatura del agua de los tanques de cultivo del sistema acuícola de recirculación del cocultivo de *C. (C.) caementarius* a dos densidades con *O. niloticus*, según semanas de muestreo. C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>.

En la comparación de la biometría en peso para tilapia con la temperatura (Figura 6), se aprecia que al inicio del trabajo experimental la temperatura fue de 25.37 °C. Los datos de los muestreos indican una tendencia descendente en este parámetro, estabilizándose entre 23 y 24 °C como máximo valor en las últimas etapas y obteniendo los pesos más elevados para C10 (42.34 g) y C20 (45.44 g).

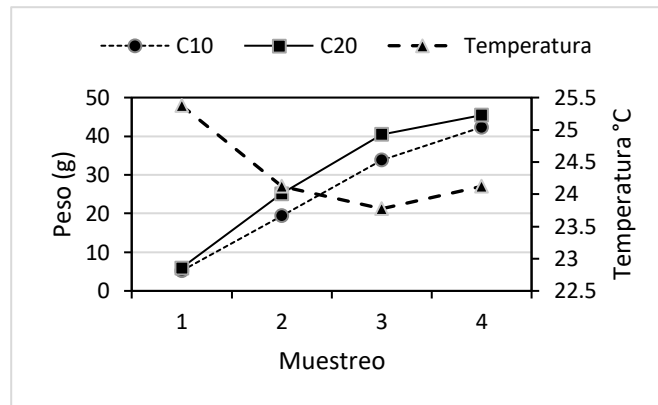


Figura 6. Comparación de la temperatura del agua de los tanques de cultivo del sistema acuícola de recirculación del cocultivo de *C. (C.) caementarius* con el peso de *O. niloticus* con diferentes densidades C10 = 10 camarones/m<sup>3</sup>. C20 = 20 camarones/m<sup>3</sup>.

## V. DISCUSIÓN

### *Crecimiento y supervivencia de camarón*

Los parámetros de crecimiento en peso de *C. (C.) caementarius* fue similar ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de densidad (C10 y C20), principalmente en la TCE (0,16 y 0,17 %/día, respectivamente) y la GP (16,18 y 15,08%, respectivamente). En una investigación similar con *C. (C.) caementarius* cultivado en recipientes individuales dentro de acuarios (55 L) y en baja densidad (32 camarones/m<sup>2</sup>, según el área del acuario y de 109 camarones/m<sup>3</sup>, según el volumen del acuario), se obtuvieron una TCE de 0,251 %/día y una GP de 19,24 %, en 90 días (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021). En *C. quadricarinatus*, cultivados en una estructura vertical de siete pisos a la densidad de 348 ind/m<sup>2</sup> según el área del fondo de los recipientes circulares de cultivo individual (42 ind/m<sup>3</sup>) la TCE fue de 1,20 %/día, en seis meses de cultivo (Manor et al., 2002). Nguyen et al. (2023) realizaron el cocultivo en tanques con *L. vannamei* (200 ind/m<sup>3</sup>), *Mugil cephalus* y *Oreochromis* spp., y obtuvieron una TCE para *L. vannamei* de 0.19 %/día durante 50 días. Romana-Eguía et al. (2021), reportaron el cocultivo en jaulas (5 m<sup>3</sup>) de *M. rosenbergii* a la densidad de 7.5 ind/m<sup>2</sup>, con tilapia roja y se obtuvieron una TCE de 1.17 %/día con el camarón, durante cinco meses de cultivo. Los pobres resultados obtenidos en la investigación se explican por la pérdida de quelípodos de *C. (C.) caementarius*, debido a las dificultades de culminar con la ecdisis. Se conoce que la autotomía del quelípodo menor reduce la ganancia en peso en 2 % y si es del quelípodo mayor se reduce en 11 % y de ambos quelípodos es del 22 % (Reyes et al., 2017) e incluso la reducción del crecimiento puede ser hasta 40 % del peso, aunque la supervivencia se mantiene entre 72 % y 86 % (Reyes-Avalos, 2016).

La supervivencia del camarón de ambos tratamientos fue baja (25 % y 37 %), debido al síndrome de la ecdisis incompleta que ocasionó muerte de los camarones. El síndrome de la ecdisis incompleta ha sido reportado en esta especie de camarón debido a deficiencias nutricionales como la falta de lecitina de soya (Acosta et al. 2018) y que repercute en la producción (Reyes, 2018); sin embargo, en la investigación se empleó en la dieta lecitina y aun así se presentó el síndrome, lo que sugiere que hubo otros factores que coadyuvaron con la aparición de dicho síndrome. En otras investigaciones con la misma especie de camarón y donde no se reporta muerte por síndrome de la ecdisis incompleta, Terrones y Reyes (2018) obtuvieron 100 % de supervivencia en el cocultivo tilapia y camarón. En el

cocultivo de *O. niloticus* y *C. (C.) caementarius* a diferentes densidades en acuarios y en recipientes individuales (dos columnas de tres pisos) se obtuvieron supervivencias de 88 % a 94 % y una TCE de 0.251 %/día en 90 días de cocultivo (Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos, 2021). Manor (2002), reportó 73 % de supervivencia en *Cherax quadricarianatus*, cultivados en una estructura vertical de siete pisos similar al del estudio. En *Scylla Paramamosain* cultivados individualmente (9 pisos) en cajas plásticas flotantes al aire libre, tuvo una supervivencia del 67 % y en los cultivados individualmente en compartimentos plásticos interiores fue de 64 % (Islam et al., 2018). Romana-Eguia et al. (2021), reportaron en *M. rosenbergii* en cocultivo con tilapia roja tienen una 72 % de supervivencia.

En la presente investigación, la alta temperatura del agua durante la quinta y sexta semana de cultivo que alcanzó cerca de 28 °C, en ambos tratamientos, fue por las alteraciones climáticas imprevistas sucedidas en diciembre de 2022, lo que debe haber estresado a *C. (C.) caementarius* y alterado la condición del animal, por lo que probablemente la temperatura coadyuvó con la aparición del síndrome de la ecdisis incompleta. Se conoce que la temperatura preferida de esta especie de camarón es de 24.5 °C, con una zona termal óptima de entre 19.3 °C y 25.7 °C (Reyes-Avalos et al., 2020), aunque la especie tiene un amplio rango de tolerancia térmica (7 °C) antes de alcanzar su temperatura crítica letal, siempre que haya un periodo de aclimatación termal (Reyes-Avalos et al., 2023). En el ambiente natural *C. (C.) caementarius* habita ríos cuyas temperaturas del agua varía anualmente de 15 °C a 27 °C, (Zacarías & Yépez, 2015). En otras especies de crustáceos, como *C. tenuimanus*, la temperatura del agua afecta significativamente al crecimiento, la muda y la supervivencia, y se necesita mantener dentro del rango de temperatura para mejorar la producción (Pattikawa & Wenno, 2014). En *S. paramamosain*, la temperatura óptima del agua para el crecimiento es de 28.5 °C a 29.7 °C, pero alta temperatura (35 °C) promovió la muda, pero disminuyó la tasa de alimentación y el rendimiento del crecimiento, lo que provocó estrés oxidativo e hipoxia funcional (Liu et al., 2022). Es necesario investigar si el estrés termal conduce a la muerte por muda de *C. (C.) caementarius*, toda vez que en *M. tenellum*, la tasa metabólica disminuyó a 35 °C probablemente por un fallo en el transporte de oxígeno a las mitocondrias, una situación que sólo puede sostenerse temporalmente mediante la producción anaeróbica de lactato y que pronto conduce a una deficiencia energética aguda (Hernández-Sandoval et al., 2018). En *L. vannamei*, la hipertermia (32 °C) prolongada por

14 días induce un mayor consumo de energía, que agota las reservas de lípidos y glucógeno, y aumentan las enzimas antioxidantes para contrarrestar las especies reactivas de oxígeno (Barajas-Sandoval et al., 2024).

La calidad del agua es afectada por el incremento de la densidad de siembra y con ello la supervivencia del animal (Loaiza-Guillen et al., 2023), debido a los compuestos nitrogenados como el amoníaco y nitrito pueden ser tóxicos para los crustáceos al causar estrés agudo o crónico y daño branquial, hipoxia tisular y muerte (Romano y Zeng (2013). El sistema de cultivo permitió obtener niveles de amonio (0.19 y 0.11 mg/L), de nitritos (0.38 y 0.36 mg/L) y nitrato (16.37 y 16.11 mg/L), sin diferencias entre tratamientos de densidad ( $P < 0.05$ ), lo que sugiere que hubo nitrificación en el SAR y mantenimiento de la concentración de productos nitrogenados. En el río Cañete en Perú, se reportan nitritos entre 0.15 y 1.70 mg/L y los nitratos de 0.06 a 0.44 mg/L (Wasiw & Yépez, 2017), y en condiciones de laboratorio concentraciones de nitritos mayores a 0.33 mg/L es perjudicial para el sistema inmunológico del camarón (Reyes-Avalos, Azañero, et al., 2023), mas no se conoce el efecto negativo sobre el crecimiento y la supervivencia. El amoníaco (50 mg/L) y el nitrito (150 mg/L) afectan los mecanismos de muda y reduce el crecimiento en el cangrejo *Orithyia sinica* (Koo et al., 2005). El nitrito afecta a la muda de *P. pelagicus* y ocasiona el síndrome de muerte por muda (Romano & Zeng, 2013). Timmons et al., (2009) considera que los compuestos tóxicos como el amoníaco, urea, ácido úrico y aminoácidos excretados por los organismos acuáticos alteran la calidad del agua y es perjudicial para los organismos en cultivo.

Además, la dureza total (200 y 209 mg/L) del agua de cultivo fue superior al de los ríos donde habita el camarón (Wasiw & Yépez, 2017), aunque se ha reportado que la dureza total del agua de 200 y 300 mg/L es conveniente para la muda, la calcificación del exoesqueleto, el crecimiento y la supervivencia de *C. (C.) caementarius* (Graciano et al., 2022). Sin embargo, la alcalinidad fue baja (40.83 a 49.44 mg/L) en relación con lo reportado para el ambiente natural (Wasiw & Yépez, 2017), lo que sugiere tener un menor poder de amortiguamiento a las variaciones del pH que durante el periodo de cultivo fue ligeramente alcalino.

En la investigación la baja supervivencia y el menor crecimiento de *C. (C.) caementarius* podría explicarse también, por la ubicación de los recipientes en el sistema vertical empleado, donde hubo limitada circulación del agua dentro de los recipientes de

cultivo de camarón, por la acumulación de alimento y heces de camarón y tilapia dentro de los recipientes inferiores, y en los otros fue rápida la salida de estos productos. Además, la columna del sistema vertical ocasionó deficiente circulación de agua, pero movimiento de las columnas de recipientes apegándolas entre ellas y a las paredes del tanque lo que genera estrés en los camarones y por lo tanto afectar la muda como ha sido informado en otras investigaciones (Cerón-Ortiz et al., 2015; Gallardo-Carril & Reyes-Avalos, 2020). Timmons et al., (2009) recomiendan para el ingreso de agua en tanques circulares colocar tubos en secciones horizontales y verticales con agujeros espaciados uniformemente para producir velocidades de rotación de agua más uniformes (en dirección radial y vertical), lo que podría explicar la menor condición ( $K < 3$ ) en la densidad C20, y los pobres resultados en crecimiento y supervivencia de *C. (C.) caementarius*. La disposición de la entrada de agua tiene un impacto considerable en la eficiencia de eliminación de residuos sólidos del tanque de acuicultura (Hu et al., 2022). La circulación del agua fluye radialmente hacia afuera en dirección al perímetro exterior del tanque, luego hacia abajo a lo largo de la pared lateral y finalmente radialmente hacia adentro a lo largo del piso, para moverse en dirección ascendente donde el ciclo comienza nuevamente (Behroozi & Couturier, 2019). En tales condiciones, la columna de recipientes afectó la velocidad y distribución normal del flujo de agua dentro de los tanques de cultivo, lo que podría explicar la acumulación de alimento y heces dentro de los recipientes de cultivo de camarón. De acuerdo con Zhang et al. (2023), el flujo de alta velocidad de la tubería choca con la pared del tanque y aun así se pierde gran cantidad de energía, la velocidad de flujo general en el tanque de acuicultura es pequeña, el área de circulación de alta velocidad es pequeña y el rendimiento de recolección de desechos no es bueno. Es conveniente realizar un estudio sobre la circulación de agua y la eficiencia de remoción de sólidos sedimentables de los tanques del SAR y de los recipientes de cultivo individual de camarón.

#### *Crecimiento y supervivencia de tilapia*

Los parámetros de crecimiento en peso de *O. niloticus* fue similar ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de densidad de camarón (C10 y C20), principalmente en la TCE (2,36 y 2,28 %/día, respectivamente) y la GP (714.20 % y 664.10 %, respectivamente). El crecimiento en peso de tilapia fue afectado por la variación de la temperatura del agua (23.0 °C a 25 °C) durante el periodo de cultivo (Figuras 5, 6). Josiah et al. (2022) cultivaron la misma especie de tilapia y reportaron que los alevines tuvieron menores crecimiento a temperatura

de 24 °C. La temperatura para el cultivo de tilapia en un sistema de recirculación es de 29 a 32 °C donde se logra mayor crecimiento (Vargas et al., 2021; Wainaina et al., 2023). Así mismo Vargas et al. (2021), cultivaron alevines de tilapia a 29 °C y obtuvieron similares crecimientos absolutos y tasa de crecimiento específica, pero en menor tiempo de cultivo (35 días). Wainaina et al. (2023), casi duplican el crecimiento absoluto de alevines de tilapia con 32 °C de temperatura comparado con la presente investigación. Un control óptimo de los parámetros de calidad de agua incrementa el rendimiento de peces (Josiah et al., 2022).

La densidad de cultivo de tilapia (100 tilapias/m<sup>3</sup>) fue adecuada porque hubo distribución uniforme de los peces dentro de los tanques de cultivo, buena aceptación del alimento y no se observaron comportamientos agresivos por lo que no hubo mortalidad, lo que corrobora la densidad recomendada por Mogollón-Calderón y Reyes-Avalos (2021). En similar sistema de cocultivo, Araujo et al. (2010) cultivaron en jaulas circulares de red a densidades de 100 a 200 tilapias/m<sup>3</sup> y obtuvieron alta supervivencia (> 97 %) y sin diferencias entre tratamientos. Al Tawaha et al. (2021), concluyeron que la densidad de cultivo de tilapia impacta la calidad del agua, el rendimiento productivo y la supervivencia. Indriastuti et al. (2022), reportaron que un sistema de recirculación puede proporcionar un ambiente óptimo para el mantenimiento de alta supervivencia y en el rendimiento productivo del bagre *Clarias gariepinus*. Además, la presencia de columnas de recipientes en los tanques de cultivo de tilapia, no influyeron en el comportamiento de los peces y el factor de condición  $K > 1$ , indica que la salud y el crecimiento fueron buenos e indicativos de la robustez y el bienestar de los peces (Wainaina et al., 2023), probablemente porque los peces consumieron el perifiton que creció en la superficie de los recipientes y en las paredes de los tanques de cultivo, pues se conoce que la tilapia prefiere el perifiton como fuente de alimento natural (Rodrigues et al., 2019).

La calidad química del agua de los tanques de cultivo fue similar entre tratamientos, pero para el cultivo de tilapia se obtuvo bajos niveles de amonio, nitritos y alto nitratos, lo que es debido al proceso de nitrificación del SAR. En el cultivo de tilapia, se sugiere evitar concentraciones de amonio > 1.0 mg/L, nitritos > 5 mg/L, nitratos > 300 mg/L (DeLong et al., 2009). En otras investigaciones con tilapia, se sugieren que es adecuado mantener bajos los niveles de nitrito (< 0.01 mg/L) (Mulugeta et al., 2024), aunque también es adecuado 0.18 mg/L (Mogollón-Calderón & Reyes-Avalos, 2021). Los nitratos no deben sobrepasar



los 40 mg/L para ser seguros para el crecimiento de tilapia (Mulugeta et al., 2024). Sin embargo, la dureza total fue alta y la alcalinidad fue baja para los requerimientos de tilapia. La dureza de calcio de 50 a 100 mg/L, la alcalinidad entre 100 y 250 mg/L es requerida para el crecimiento de tilapia (DeLong et al., 2009).

## VI. CONCLUSIONES

- El crecimiento en longitud de *C. (C.) caementarius* en los dos tratamientos incrementó de 6.47 cm a 7.44 cm y sin diferencias ( $P > 0.05$ ), durante el periodo de cultivo.
- El crecimiento en peso de *C. (C.) caementarius* en los dos tratamientos incrementó en el primer mes de cultivo de 10.36 g a 12.74 g, luego disminuyó a 11.97 g, sin diferencias ( $P > 0.05$ ).
- La supervivencia de *C. (C.) caementarius* cultivados en la densidad de C10 (25 %) y C20 (37 %) fueron similares ( $P > 0.05$ ), fue baja debido al síndrome de la ecdisis incompleta que ocasionó muerte de los camarones.
- Los parámetros de crecimiento en peso de *O. niloticus* fue similar ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos alcanzando valores para C10 (42.34 g) y C20 (45.44 g).
- No hubo mortalidad de *O. niloticus* en ningún tratamiento de densidad de camarón, durante el periodo de cultivo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Verificar que la velocidad y ubicación del ingreso de agua de recirculación en el sistema de cultivo de recipientes individuales sea la adecuada para poder movilizar y retirar los restos de alimento de cada recipiente.
- Es conveniente regular el sistema de acuicultura de recirculación para evitar la producción de alto contenido de productos nitrogenados.
- Utilizar otro tipo de sistema de cultivo para camarones y mejorar su distribución en los tanques de cultivo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. J., Quiñones, D. P. & Reyes, W. (2018). Efecto de dietas con lecitina de soya en el crecimiento, muda y supervivencia de machos del camarón de río *Cryphiops caementarius* (Crustacea Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria* 9(1): 143 – 151 (2018). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.15>
- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>
- Almeida, E. O., dos Santos, R. B., Coelho Filho, P. A., Junior, A. C., de Souza, A. P. L., & Soares, E. C. (2015). Policultivo do curimatã pacu com o camarão canela. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(2), 271-278. [https://institutodepesca.org/index.php/bip/article/view/41\\_2\\_271-278/41\\_2\\_271-278](https://institutodepesca.org/index.php/bip/article/view/41_2_271-278/41_2_271-278)
- Al-Faisal, A. J., & Mutlak, F. M. (2015). First record of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), from the Shatt Al-Arab River, Southern Iraq. *International Journal of Marine Science*, 5(38): 1-3.
- Al Tawaha, A. R., Wahab, P. E. M., Jaafar, H. B., Zuan, A. T. K., & Hassan, M. Z. (2021). Effects of fish stocking density on water quality, growth performance of tilapia and yield of butterhead Lettuce grown in decoupled recirculation aquaponic systems. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 8-19. <https://doi.org/10.12911/22998993/128692>
- An, B.N.T. y Anh, N.T.N. (2020). Cocultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y algas rojas (*Gracilaria tenuistipitata*) bajo diferentes tasas de alimentación: efectos sobre la calidad del agua, el crecimiento de los peces y la eficiencia alimentaria. *Journal of Applied Phycology*, 32, 2031-2040. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02110-7>
- Araujo, G., Rodrigues J, Da Silva J, Farias W. (2010). Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em tanques-rede circulares em diferentes densidades de estocagem. *Biosci J.*, 26(3):428-434.

- Baltodano, J., Olivares, E., & Reyes-Avalos, W. (2022). Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y carbohidratos de la dieta con ensilado biológico de harina de maíz en *Cryphiops (C.) caementarius*. *Revista Peruana de Biología*, 29(2), e21144. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i2.21144>
- Barajas-Sandoval, D. R., Escobedo-Fregoso, C., Quiroz-Guzmán, E., Tovar-Ramírez, D., Py, C. A., & Peña-Rodríguez, A. (2024). Effect of temporal thermal stress on *Penaeus vannamei*: Growth performance and physiological plasticity. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111653>
- Behroozi, L., & Couturier, M. F. (2019). Prediction of water velocities in circular aquaculture tanks using an axisymmetric CFD model. *Aquacultural Engineering*, 85, 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.005>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*, 14(3), 805-827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Carranza, E. O., & Aceituno, C. A. (2019). Evaluación de la tolerancia a la salinidad de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en diferentes densidades de siembra en la región sur de Honduras. *Revista Ciencia y Tecnología*, 24, 49-63. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i24.7876>
- Cerón-Ortiz, A. N., Moctezuma-Reséndiz, O., Ángeles-Monroy M. A., Montutar-Serrano E., & León-Escamilla, J.A. (2015). Efecto interactivo del alimento y la calidad de agua en el crecimiento y sobrevivencia de postlarvas de acocil de río *Cambarellus montezumae*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 131-142. <https://doi.org/10.7550/rmb.48502>
- Changana, R. Y., & Castillo, O. K. (2021). Densidad de carga en cultivo de juveniles del *Oreochromis niloticus* en sistema de recirculación de agua en la Región Lima–2019. *Colecciones Ingeniería Pesquera* (62) <http://hdl.handle.net/20.500.14067/5237>
- Costa, A., Roubach, R., Dallago, B., Bueno, G., McManus, C. & Bernal, F. (2017). Influence of stocking density on growth performance and welfare of juvenile tilapia

(*Oreochromis niloticus*) in cages. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 69(1), 243-251.  
<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8939>

Crespo, J. M., & Jiménez, A. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México: Marcos normativos, organización socioeconómica y desafíos. *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 6-28. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.15953>

DeLong, D. P., Losordo, T. M., & Rakocy, J. E. (2009). Tank culture of tilapia. In Southern Regional aquaculture center (SARC) Publication No. 282. Education and Extension Service Grant. SRAC No. 2007–38500–18470.

FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la Transformación Azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

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>

Flores, S., & Aracena, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26, 55-64. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>

Fuentes, A., Quezada, L., & Reyes-Avalos, W. (2021). Pigmentación del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae) con dietas suplementadas con caléndula (*Calendula officinalis*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(1), e18344. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i1.18344>

Gallardo-Carril, J., & Reyes-Avalos, W. E. (2020). Diets with biological silage of cornmeal improve the productive performance of river shrimp *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 409-417. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.13>

Gichana, Z., Liti, D., Drexler, S. S., Zollitsch, W., Meulenbroek, P., Wakibia, J., & Waidbacher, H. (2019). Effects of aerated and non-aerated biofilters on effluent water treatment from a small-scale recirculating aquaculture system for Nile tilapia

(*Oreochromis niloticus* L.). *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 70(4), 209-219. <https://doi.org/10.2478/boku-2019-0019>

Graciano, F., Vásquez, J., & Reyes-Avalos, W. (2022). The total water hardness affects molting, calcification, growth and survival of *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae). *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 88–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.89933>

Gullian-Klanian, M. A. A. C., & Arámburu-Adame, C. (2013). Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water exchange. *Latin American journal of Aquatic research*, 41(1), 150-162. <https://doi.org/10.3856/vol41-issue1-fulltext-12>

Henry-Silva, G., Maya, C., Moura, R., Bessa, J., Valenti, W. (2015). Integrated multi-trophic culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon River prawn (*Macrobrachium amazonicum*) in brackish water. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 67, 1. 265-273 <https://doi.org/10.1590/1678-6788>

Hernández-Sandoval, P., Díaz, F., Re-Araujo, A. D., López-Sánchez, J. A., Martínez-Valenzuela, M. D. C., García-Guerrero, M., & Rosas, C. (2018). Thermal preference, critical thermal limits, oxygen routine consumption and active metabolic scope of *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) maintained at different acclimation temperatures. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(3), 558–569. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-9>

Hu, J., Zhang, H., Wu, L., Zhu, F., Zhang, X., Gui, F., Qu, X., & Feng, D. (2022). Investigation of the inlet layout effect on the solid waste removal in an octagonal aquaculture tank. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1035794. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1035794>

Indriastuti, C. E., Ratnawati, B., & Budiharto, I. W. (2022). Survival and growth performance the catfish *Clarias gariepinus* in high density nurseries using recirculating aquaculture system (RAS). In *E3S Web of Conferences*, 348, 00013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234800013>

- Islam, M.L., Siddiky, M.N.S.M., & Yahya, K. (2018). Growth, survival and intactness of green mud crab (*Scylla paramamosain*) broodstock under different captive grow out protocols. *SAARC J Agri.*, *16*(1), 169-180. <http://dx.doi.org/10.3329/sja.v16i1.37432>
- Josiah, A., Manyala, O.J., Masese, F. O. & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*, *7*(3), 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>
- Juárez-Rosales, J., Ponce-Palafox, J. T., Román-Gutierrez, A. D., Otazo-Sánchez, E. M., Pulido-Flores, G., & Castillo-Vargasmachuca, S. G. (2019). Effects of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus* var. *Spring*) in monoculture and co-culture systems on water quality variables and production in brackish low-salinity water earthen ponds during rainy and dry seasons. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *17*(3), e0605. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019173-14938>
- Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M., & Anderson, J. L. (2015). Fish to 2030: The role and opportunity for aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, *19*(3), 282–300. <https://doi.org/10.1080/13657305.2015.994240>
- Koo, J. G., Kim, S. G., Jee, J. H., Kim, J. M., Bai, S. C., & Kang, J. C. (2005). Effects of ammonia and nitrite on survival, growth and moulting in juvenile tiger crab, *Orithyia sinica* (Linnaeus). *Aquaculture Research*, *36*(1), 79–85. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01187.x>
- Liu, J., Shi, C., Ye, Y., Ma, Z., Mu, C., Ren, Z., Wu, Q., & Wang, C. (2022). Effects of temperature on growth, molting, feed intake, and energy metabolism of individually cultured juvenile mud crab *Scylla paramamosain* in the recirculating aquaculture system. *Water (Switzerland)*, *14*(19), 2988. <https://doi.org/10.3390/w14192988>
- Loaiza-Guillen, P. S., Ordoñez-Jumbo, L. D., & Galarza-Mora, W. G. (2023). Evaluación del crecimiento y supervivencia de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivados a diferentes salinidades y densidades de siembra. *MQR Investigar*, *7*(3), 2176-2208. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2176-2208>

- Mcdonal-Vera, A., Contreras-Sánchez, W. M., Duncan, N. J., Fitzsimmons, K., Contreras-García, M. J., & Martínez-García, R. (2020). Effect of Red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*) on growth and survival of the pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in simultaneous polyculture under marine conditions. *Biotecnia*, 22(2), 5-12. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1237>
- Manor, R., Segev, R., Pimenta, M., Aflalo, E.D., & Sagi, A. (2002). Intensification of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* culture II. Growout in a separate cell system. *Aquacult Eng.*, 26(4), 263-276. [https://www.doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00035-3](https://www.doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00035-3)
- 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 Perú*, 5, 1-170. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1028>
- Meruane, J. A., Morales, M. C., Galleguillos, C. A., Rivera, M. A., & Hosokawa, H. (2006). Experiencias y resultados de investigaciones sobre el camarón de río del norte *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) (Decapoda: Palaemonidae): historia natural y cultivo. *Gayana (Concepción)*, 70(2), 280-292. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382006000200015>
- Mogollón-Calderón, A., & Reyes-Avalos, W. (2021). Crecimiento y supervivencia de *Cryphiops caementarius* en cocultivo con *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades. *Revista MVZ Córdoba*, 26(2), e1952. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1952>
- Mulugeta, H., Yalew, A., Tilahun, G., & Melaku, A. (2024). Effect of stocking density on the physico-chemical characteristics of pond water and survival rate of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish in Bahir Dar, Ethiopia. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 9(1), 97–109. <https://doi.org/10.4314/jaes.v9i1.7>
- Munguti, JM, Nairuti, R., Iteba, JO, Obiero, KO, Kyule, D., Opiyo, MA, ... y Ogello, EO (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>

- Nguyen, M. T., Pham, N. T., Vo, L. T., Truong, D. V., Nguyen, H. V., Nguyen, T. D., ... & Bossier, P. (2023). Integrated mariculture of co-cultured whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and grey mullet (*Mugil cephalus*) in sequence with red tilapia (*Oreochromis* spp.) in a closed biofloc-based system. *Aquaculture*, 566, 739200. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739200>
- Olivo-Gutiérrez, Mauricio; Verduzco-Ramírez, Jesús; García-Díaz, Noel; Villalobos Gómez, Joel; Olivo-Gutiérrez, Andrea Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, vol. 22, núm. 2, 2018, Julio-Diciembre, pp. 87-95
- Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á., & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19-25. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1231>
- Osofero S, Otubusin S & Daramola J. (2009). Effect of stocking density on tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1757) growth and survival in bamboo-net cages trial. *Afr J Biotechnol*, 8(7), 1322-1325.
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*, 11 Supl. (1), 20-29. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1041>
- Pattikawa, J. A., & Wenno, P. A. (2014). Effect of temperature and photoperiod on growth, molting and survival of marron *Cherax tenuimanus*. *AAFL Bioflux*, 7(3), 217–224.
- Perschbacher, P. W. (2017). Historical use of tilapia in intensive co-culture. Peter W. Perschbacher, Robert R. Stickney (ed.). *Tilapia in Intensive Co-culture*. P. 36-49. <https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch3>
- Reyes-Avalos, W. (2016). Effect of culture container on the survival and growth of male *Cryphiops caementarius* in individualized systems. *Revista Bio Ciencias*, 3(4), 311-325. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.04.06>
- Reyes, W., Terrones, S., & Baltodano, I. (2017). Effects chelipeds regeneration in molting and growth of male *Cryphiops caementarius* Molina 1782 (Decapod, Palaemonidae).



- Reyes, W. (2018). El síndrome de la ecdisis incompleta en machos adultos de *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae) y sus consecuencias en cultivo intensivo. *Rev Inv Vet Perú*, 29(1), 368-374. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14200>
- Reyes, W. (2020). Management of the interaction and cannibalism of postlarvae and adults of the freshwater shrimp *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782). *Diarte-Plata G, Escamilla-Montes R (eds). Crustacea. IntechOpen.* P, 51-64. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.87438>
- Reyes-Avalos, W., Melgarejo, G., Yzásiga, C., & Ferrer, K. (2020). Thermal preference of adult males of *Cryphiops caementarius* previously acclimated at different temperatures. *Revista Peruana de Biología*, 27(3), 375–382. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i3.17262>
- Reyes-Avalos, W., Azañero, C., Melgarejo-Velásquez, G., Alegre, Brian., & Lezama. R. (2023). Effect of dietary chitosan on the growth, survival, and prophenoloxidase of male freshwater prawns *Cryphiops (Cryphiops) caementarius*. *Aquaculture Reports*, 33, 101840. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101840>
- Rocha, C. P., Cabral, H. N., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2022). A global overview of aquaculture food production with a focus on the activity's development in transitional systems—The case study of a south European country (Portugal). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(3), 417. <https://doi.org/10.3390/jmse10030417>
- Rodrigues, C. G., Garcia, B. F., Verdegem, M., Santos, M. R., Amorim, R. V., & Valenti, W. C. (2019). Integrated culture of Nile tilapia and Amazon river prawn in stagnant ponds, using nutrient-rich water and substrates. *Aquaculture*, 503, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.073>
- Romana-Eguía, M. R. R., Rutaquio, M. P., Gutierrez, R. C., & Salayo, N. D. (2021). Assessment of tilapia–freshwater prawn co-culture schemes in tanks and lake-based

cages for increased farm production. *Sustainability*, 13(24), 13574.  
<https://doi.org/10.3390/su132413574>

Romano, N., & Zeng, C. (2013). Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to Decapod Crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 1–21.  
<https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753404>

Santos, V. B. D., Mareco, E. A., & Dal Pai Silva, M. (2013). Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35, 235-242.  
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i3.19443>

Terrones, S., & Reyes, W. (2018). Efecto de dietas con ensilado biológico de residuos de molusco en el crecimiento del camarón *Cryphiops caementarius* y tilapia *Oreochromis niloticus* en co-cultivo intensivo. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 167-176.  
<http://www.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.01>

Tidwell JH, Coyle SD & Bright LA. (2010). Polyculture of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, either confined in cages or unconfined in freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, ponds. *J World Aquac Soc.*, 41(4):616-625.  
<https://www.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00402.x>

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.

Vargas, R., Grajal, J., Moreno, A. R., Guerra, R., & Arjona, M. (2021). Evaluación de parámetros de desempeño zootécnico y bienestar animal en juveniles de tilapia del Nilo en un sistema de recirculación. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(1), 72-88.

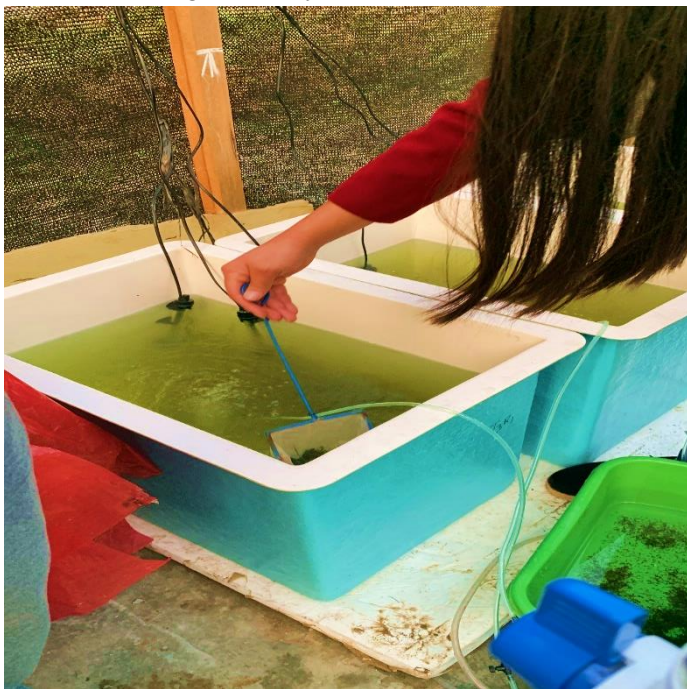
Wainaina, M., Opiyo, M. A., Charo-Karisa, H., Orina, P., & Nyonje, B. (2022). On-farm assessment of different fingerling sizes of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) on growth performance, survival and yield. *Aquaculture Studies*, 23(2), AQUAST900.  
<http://doi.org/10.4194/AQUAST900>

- Wasiw, G., J., & Yépez, V. (2017). Evolución de la condición poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en el río Cañete (2000-2015). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(1), 13. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i1.12942>
- Yakubu, A. F., Obi, A., Okonji, V. A., Ajiboye, O. O., Adams, T. E., Olaji, E. D., & Nwogu, N. A. (2012). Growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as affected by stocking density and feed types in water flow through system. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 4 (3), 320-324. [http://idosi.org/wjfms/wjfms4\(3\)12/18.pdf](http://idosi.org/wjfms/wjfms4(3)12/18.pdf)
- Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., & Diana, J. S. (2010). Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis* spp.) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture*, 298(3-4), 226-238. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.011>
- Zacarías, S., & Yépez, V. (2015). Camarón de río *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782) en la costa centro-sur del Perú, 2007. *Instituto del Mar del Perú*. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2989>
- Zamudio, N. S., & Reyes, W. E. (2020). Efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius*. *Rebiol*, 40(1), 30-38. <http://dx.doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.02.555593>
- Zavala-Zavaleta, I., Saldaña-Rodríguez, E., & Reyes-Avalos, W. (2022). Efecto de dietas con poliquetos en el desempeño reproductivo de hembras del camarón *Cryphiops caementarius* durante desoves sucesivos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(1). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i1.20430>
- Zhang, Y., Yang, X., Hu, J., Qu, X., Feng, D., Gui, F., & Zhu, F. (2023). Effect of inlet pipe design on self-cleaning ability of a circular tank in RAS. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1120205. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1120205>





Anexo 2. Aclimatación de los organismos y acondicionamiento del sistema para el estudio



Limpieza de los contenedores y alimentación de los organismos



Acondicionamiento de los tanques de cultivo



Anexo 3. Sistemas de cocultivo *C. (C.) caementarius* y *O. niloticus*.



Sistema vertical de recipientes individuales para *C. caementarius*



Tanque de crianza de cocultivo tilapia – camarón

Anexo 4. Toma de datos biométricos de *C. (C.) caementarius* y *O. niloticus*.



Registro de la longitud del camarón



Registro de la longitud de los peces