



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO DEL ENSAYO

Efecto de calidad de agua en recirculación (SAR) en el área de maduración sobre del cultivo *Penaeus vannamei* (en cuanto parámetros físicos químicos)

AUTOR

Ing. Muñoz Pinyui Jefferson José

**TRABAJO DE TITULACIÓN
Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA**

TUTORA

Ing. Verónica Vera Vera Phd.

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos calificadores, aprueban el presente trabajo de titulación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por el Instituto de Postgrado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

**PhD. Roxana Álvarez Acosta
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**PhD. Verónica Vera Vera
TUTOR**

**PhD. Geovanna Parra Riofrío
ESPECIALISTA**

**PhD. Jorge Vanegas Ruiz
ESPECIALISTA**

**Ab. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN:

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **Ing. Jefferson José Muñoz Pinyui**, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Acuicultura.

Atentamente,

Ing. Verónica Vera Vera, Ph.D
TUTORA



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jefferson José Muñoz Pinyui

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “**Efecto de calidad de agua en recirculación (SAR) en el área de maduración sobre del cultivo *Penaeus Vannamei* (en cuanto parámetros físicos químicos).**” previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 25 días del mes de febrero del año 2026

Ing. Jefferson José Muñoz Pinyui
AUTOR



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, Jefferson José Muñoz Pinyui

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de la investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este informe de investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 25 días del mes de febrero del año 2026

Ing. Jefferson José Muñoz Pinyui
AUTOR



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “Efecto de calidad de agua en recirculación (SAR) en el área de maduración sobre del cultivo *Penaeus vannamei* (en cuanto parámetros físicos químicos)”, presentado por el estudiante, Jefferson José Muñoz Pinyui fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 7%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

FORMATO COMPLEXIVO



Nombre del documento: FORMATO COMPLEXIVO.docx ID del documento: 89a983640726451d0529e54e7bcea62db69c2319 Tamaño del documento original: 2,06 MB	Depositante: VERÓNICA ISABEL VERA VERA Fecha de depósito: 25/2/2026 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 25/2/2026	Número de palabras: 5675 Número de caracteres: 38.366
---	---	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



Ing. Verónica Vera Vera, Ph.D
TUTORA

AGRADECIMIENTO

De manera excepcional agradezco a Dios por permitirme cumplir un sueño y logro más en mi trayectoria, a toda la familia Muñoz Pinyui en especial a mis padres que nunca me han dejado de apoyar, han estado latentes en todo el camino Profesional que llevo, ellos son partícipes de cada uno de mis logros de manera personal y profesional, de que tan costoso sacrificio y esfuerzo me ha costado poder culminar tan grato honor del Programa de Maestría en Acuicultura.

Encaminándome al camino de bien con perseverancia guiada a no rendirme y alcanzar mis objetivos y metas soñadas. A mi Abuela Amalia Pinyui que me guía desde el cielo a mis padres Roberto Muñoz y Carmen Rosales por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi vida, por motivarme día a día para alcanzar mis objetivos y lograr culminar el proceso de Maestría. Agradezco a mis maestros por impartirme todo su conocimiento profesional y experiencias en el campo de laboral. A mi tutora PhD. Verónica Vera Vera por confiar en mí y encaminarme en todo el proceso de mi trabajo de titulación.

Ing. Jefferson José Muñoz Pinyui

DEDICATORIA

Quiero dedicar este espacio para expresar que el esfuerzo y la entrega que he puesto en este posgrado están dirigidos a mi familia, que siempre ha sido mi mayor fuente de fortaleza y me direcciona a la virtud de perseverancia y esfuerzo para poder lograr tan grato reconocimiento como es la culminación del Posgrado en Acuicultura en la Prestigiosa Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Ing. Jefferson José Muñoz Pinyui

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL ENSAYO	1
CERTIFICACIÓN:	3
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	4
AUTORIZACIÓN	5
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	6
AGRADECIMIENTO	7
DEDICATORIA	8
ÍNDICE GENERAL	9
RESUMEN	11
<i>Abstract</i>	12
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
OBJETIVOS GENERALES.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
MARCO TEÓRICO	17
1. Dinámica de la Calidad del Agua en la Producción Camaronera.....	17
1.1. Temperatura y su Rol Cinético.....	17
1.2. El Complejo del Oxígeno Disuelto (OD).....	17
2. Química del Nitrógeno y Biofiltración en Sistemas RAS	17
2.1. Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) y Toxicidad.....	17
2.2. Nitrificación: El Motor Biológico del RAS	18
3. Equilibrio Iónico y Osmorregulación	18
4. Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) en Maduración	18
4.1. Componentes Críticos del Sistema.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Caracterización del área de estudio.....	19
Materiales:	19
Diseño experimental	20

Procedimiento y Recolección de Datos	20
Maduración del Sistema RAS (T0)	20
Fase de Cultivo y Monitoreo (T1 y T2)	20
Medición de Parámetros Iniciales	21
Recolección de datos:	21
Maduración del Sistema RAS (T0).....	21
Fase de Cultivo y Monitoreo (T1 Y T2)	22
Análisis Estadístico.....	22
RESULTADOS	23
Porcentaje de Temperatura (°C).....	24
Oxígeno Disuelto (mg/L).....	25
Saturación (Sat %)	26
DISCUSIÓN	28
RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Esquema de tratamientos, descripción y tanques para la toma de datos.	21
Tabla 2. Variables de parámetros físicos, químicos en el área de Maduración.....	23

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1 Mapa satélite del lugar de trabajo experimental. Google Maps 2026.	19
Gráfico 2 Valores de temperatura obtenidos en cada tratamiento.....	24
Gráfico 3 Valores de oxígeno disuelto obtenidos en cada tratamiento.	25
Gráfico 4 Valores de Saturación (%) obtenidos en cada tratamiento.	26
Gráfico 5 valores de Mortalidad obtenidos en cada tratamiento.	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Promedios de datos recolectados con SCADA, mediante el software Infostat	34
---	----

RESUMEN

La optimización en la modernización de sistemas de recirculación en acuicultura da importancia a la bioseguridad y la eficiencia de la etapa de maduración de los reproductores de *Penaeus vannamei*. Por la necesidad de un mayor control de los impactos y variables más relevantes, esta investigación estudia la influencia de un sistema de recirculación acuícola (RAS) en la bio productividad y los parámetros fisicoquímicos en la fase de maduración. Dentro del diseño experimental se empleó un diseño completamente al azar (DCA) y se establecieron tres tratamientos: T0 (15 días de maduración de agua sin biomasa), T1 (sistema RAS con organismos) y T2 (flujo abierto convencional). Todos fueron supervisados con SCADA y multiparamétricos de YSI. Los resultados dieron a conocer que T1 (RAS) fue el que mantuvo más alto de forma significativa el oxígeno disuelto (5.66 mg/L) y además un 86.29 % de saturación en comparación al flujo abierto (T2). T1, el que presenta mayor oxigenación, tuvo una mortalidad de 22.44%, que es el doble de lo que se reportó en el sistema de flujo abierto (10.88%). Tal diferencia podría sugerir que la eficiencia mecánica de los sistemas cerrados, por sí sola, no garantiza la supervivencia de los reproductores. Esto puede deberse a la posible acumulación de metabolitos nitrogenados provenientes de la dieta fresca. Por lo tanto, el éxito de la maduración en sistemas RAS depende de un equilibrio exacto entre la carga orgánica y la capacidad de procesamiento del biofiltro.

Palabras claves: *Maduración de reproductores, Sistemas de Recirculación (RAS), Sostenibilidad hídrica, Parámetros fisicoquímicos, Supervivencia.*

Abstract

Optimizing recirculating aquaculture systems (RAS) in modern aquaculture is crucial for ensuring biosecurity and efficiency during the maturation stage of *Penaeus vannamei* broodstock. Given the need to reduce environmental impact and control key variables, this research analyzed the effect of a recirculating aquaculture system (RAS) on physicochemical parameters and biological performance during the maturation phase. A completely randomized design (CRD) was used with three treatments: T0 (15 days of maturation in water without biomass), T1 (RAS system with organisms), and T2 (conventional open flow). These were monitored using SCADA technology and YSI multiparameter equipment. The results showed that treatment T1 (RAS) maintained significantly higher dissolved oxygen concentrations (5.66 mg/L) and a saturation of 86.29% compared to open flow (T2). However, despite the advantage in oxygenation, system T1 exhibited a mortality rate of 22.44%, double that recorded in the open-flow system (10.88%). This difference suggests that the mechanical efficiency of closed systems alone does not guarantee the survival of broodstock. This may be due to the possible accumulation of nitrogenous metabolites from the fresh diet. Therefore, successful maturation in RAS systems depends on a precise balance between the organic load and the biofilter's processing capacity.

Keywords: Broodstock maturation, Recirculating Aquaculture Systems (RAS), Water sustainability, Physicochemical parameters, Survival.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura global transita hacia una fase de intensificación sostenible, impulsada por la necesidad de mitigar la sobreexplotación de los recursos marinos y garantizar la seguridad alimentaria (Costello et al., 2020). En este escenario, el cultivo del camarón blanco (*Penaeus vannamei*) destaca como la actividad de mayor relevancia económica, con una proyección de crecimiento sectorial del 500% para los próximos 25 años (C. E. Boyd et al., 2020). En Ecuador, esta industria constituye un pilar fundamental de la economía nacional, con ingresos que superaron los 6,000 millones de dólares durante el año 2024 (*Estadísticas - Cámara Nacional de Acuicultura, 2022*).

No obstante, el modelo predominante de flujo abierto enfrenta amenazas crecientes debido a la vulnerabilidad ante patógenos externos y la degradación progresiva de la calidad del agua en las zonas costeras (Tidwell, 2012b). El éxito en la producción acuícola moderna implica una adecuada gestión de variables críticas como salinidad, sólidos totales en suspensión, amoníaco, nitrito y pH, los cuales marcan directamente la tasa de supervivencia y crecimiento de los organismos (Tidwell, 2012a). En sistemas convencionales, la inestabilidad de estos índices indica un estado de estrés fisiológico, por lo tanto, la respuesta inmunológica se reduce y se promueven enfermedades virales y bacterianas.

Los Sistemas de Acuicultura de Recirculación (RAS) representan una innovación tecnológica diseñada para optimizar el uso de los recursos hídricos mediante el tratamiento físico, químico y biológico del agua (C. E. Boyd & Tucker, 1998). Esta tecnología facilita la reutilización de hasta el 90% del recurso, lo cual permite alcanzar altas densidades de cultivo bajo un control ambiental estricto. En la etapa de maduración de reproductores, la implementación del RAS es vital, pues requiere una estabilidad química extrema para asegurar la viabilidad de los gametos y la salud de los ejemplares sometidos a dietas ricas en biomasa fresca (C. E. Boyd et al., 2020)

Un desafío persistente en los sistemas cerrados es la gestión de la carga orgánica. La frecuencia de recirculación influye de manera significativa en la conformación de la comunidad microbiana y en la eliminación de desechos metabólicos (Losordo et al., 2021). Estudios recientes indican que, si bien el incremento en la tasa de recirculación mejora la oxigenación, la supervivencia óptima de *P. vannamei* se alcanza bajo niveles moderados y estables de flujo, donde el sistema biológico procesa los contaminantes de manera eficiente (Hernández-Sandoval et al., 2022).

La eficacia mecánica de los sistemas de maduración mecanizados en Santa Elena, Ecuador, no se corresponde con la respuesta biológica. A pesar de la tecnología avanzada, falta información sobre el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (química y termodinámica). La gestión deficiente de residuos en laboratorios de procesamiento provoca bajos rendimientos y alta mortalidad por toxicidad amoniacal, afectando la sostenibilidad económica. Es crucial investigar la interacción entre la dinámica microbiana de los filtros y la fisiología del camarón para optimizar estos sistemas (Humanante Cabrera et al., 2022).

Por lo expuesto, lo que se busca en este estudio es hacer una evaluación comparativa de los efectos de los parámetros fisicoquímicos en los sistemas de flujo abierto y sistemas de recirculación mecanizados (RAS) en el área de maduración de *Penaeus vannamei*. Esta indagación intenta establecer la posibilidad, en términos técnicos, de la recirculación, como alternativa para optimizar la gestión acuícola y la bioseguridad, mediante la combinación de resultados de la química del agua y el comportamiento biológico de la especie.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La intensificación de la acuicultura de *Penaeus vannamei* en Ecuador ha generado una dependencia crítica de los ecosistemas costeros para el suministro de agua y la descarga de efluentes. En la etapa de maduración de reproductores, esta dependencia se convierte en un factor de riesgo elevado, dado que los sistemas tradicionales de flujo abierto exponen a los organismos a fluctuaciones fisicoquímicas incontrolables y al ingreso de patógenos emergentes.

La calidad del agua en los sistemas de maduración se ve aún más afectada por la alta carga orgánica del agua que contiene restos de residuos de dieta fresca, como poliquetos, bivalvos y calamares. Tales restos son altamente contaminantes y ensucian rápidamente el entorno acuático; en sistemas de flujo abierto, se requiere el desagüe de grandes volúmenes de agua, lo que aumentaría significativamente el impacto ambiental y el costo operativo en la región de Santa Elena.

Los sistemas de recirculación acuícolas a nivel local tienen inquietud en la estabilización de los parámetros fisicoquímicos, como, por ejemplo, el conocimiento que falta sobre la técnica de los sistemas. Esto a pesar de los beneficios teóricos. La falta de protocolos estandarizados para el control de mortalidades en sistemas cerrados genera una desconfianza hacia las tecnologías sostenibles.

No se puede mejorar la rentabilidad y la eficacia biológica de los laboratorios que producen nauplios sin una caracterización precisa que analice el comportamiento químico de un sistema RAS en comparación con el flujo abierto. Esta carencia de datos técnicos impide identificar si los eventos de mortalidad se deben a picos de amonio no ionizado, acumulación de nitritos o a una gestión inadecuada de la carga orgánica en el sistema biológico.

Pregunta de Investigación

¿De qué manera la implementación de un sistema de recirculación acuícola (RAS) influye en la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos y en la supervivencia de *Penaeus vannamei*, en comparación con el sistema tradicional de flujo abierto en el área de maduración?

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar el efecto de un sistema de recirculación acuícola (RAS) sobre la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos y la supervivencia de reproductores de *Penaeus vannamei* en el área de maduración, en comparación con el sistema tradicional de flujo abierto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Monitorear el comportamiento en el periodo de estudio de los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad) en los sistemas de flujo abierto y recirculación
2. Comparar estadísticamente la variabilidad y estabilidad de los indicadores de calidad del agua entre los tres tratamientos (T0, T1 y T2) para determinar la eficiencia técnica de la recirculación en un entorno de maduración
3. Analizar la tasa de mortalidad de los ejemplares en ambos sistemas de manejo para la correlación del desempeño biológico con las condiciones químicas registradas durante el periodo experimental.

MARCO TEÓRICO

1. Dinámica de la Calidad del Agua en la Producción Camaronera

La calidad del agua en la acuicultura de crustáceos constituye un equilibrio dinámico resultante de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas. En los sistemas de maduración, este equilibrio es particularmente precario debido a la elevada densidad de biomasa y a las tasas de alimentación intensivas requeridas para los reproductores (Gómez & Escobar, 2001).

1.1. Temperatura y su Rol Cinético

El *Penaeus vannamei* es un organismo poiquilotermo, por lo que su tasa metabólica depende de la temperatura ambiental. Aunque el rango óptimo se sitúa entre 28°C y 31°C, en la etapa de maduración, variaciones mínimas pueden acelerar el desarrollo ovárico o inducir estrés térmico que inhiba la reproducción (FAO, 2009). Se ha determinado que, por cada 10°C de aumento, el consumo de oxígeno y la excreción de amoníaco se duplican, lo que exige una respuesta inmediata de los sistemas de aireación y biofiltración en un sistema RAS (C. Boyd, 2022).

1.2. El Complejo del Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno es el factor limitante primario en la acuicultura. En sistemas de recirculación, el OD es esencial tanto para la respiración del camarón como para la supervivencia de las bacterias nitrificantes en el biofiltro (Espinal & Matulic, 2019). Concentraciones inferiores a 3 mg/L inducen estados de hipoxia, lo que reduce la eficiencia de la conversión alimenticia y aumenta la susceptibilidad a patógenos oportunistas como *Vibrio spp.* (Kumar et al., 2026)

2. Química del Nitrógeno y Biofiltración en Sistemas RAS

El control de los metabolitos nitrogenados representa el mayor desafío en un sistema cerrado. El nitrógeno ingresa al sistema principalmente a través de dietas con alto contenido proteico (40-50%), indispensables para la maduración exitosa (Xu et al., 2025)

2.1. Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) y Toxicidad

El nitrógeno amoniacal total (TAN) se divide en amoníaco no ionizado (NH₃) y ión amonio (NH₄⁺). La forma NH₃ es altamente tóxica debido a su capacidad lipofílica para atravesar membranas branquiales, causando daño tisular y alterando el pH de la hemolinfa. La proporción de esta forma nociva aumenta exponencialmente con el incremento del pH y la

temperatura, lo que obliga a un monitoreo riguroso en sistemas de recirculación (Emerson et al., 1975)

2.2. Nitrificación: El Motor Biológico del RAS

La transformación biológica del amoníaco en nitrato ocurre en dos etapas mediadas por bacterias quimioautótrofas:

- Oxidación del Amoníaco: Bacterias del género *Nitrosomonas* oxidan el NH_4^+ a nitrito (NO_2^-).
- Oxidación del Nitrito: Microorganismos como *Nitrobacter* convierten el nitrito en nitrato (NO_3^-), una forma significativamente menos tóxica para los reproductores.

Este proceso consume alcalinidad, requiriendo aproximadamente 7.14 mg de CaCO_3 por cada mg de TAN oxidado. Por tanto, la suplementación con bicarbonato de sodio es obligatoria para evitar el colapso del pH y de la población bacteriana (Babadjanova, 2017)

3. Equilibrio Iónico y Osmorregulación

A diferencia del engorde tradicional, la maduración de *P. vannamei* exige un balance preciso de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+). Estos iones actúan como cofactores enzimáticos en procesos reproductivos y facilitan la formación del exoesqueleto tras la muda. El magnesio es fundamental para la estabilidad del tégico y petasma, mientras que el potasio regula la presión osmótica intracelular (Gomez-Nieves & Salas-Benavides, 2024)

4. Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) en Maduración

Un RAS integra procesos de tratamiento que permiten la reutilización de más del 90% del agua de cultivo. Su implementación busca aislar a los reproductores de patógenos externos y mantener parámetros constantes (C. E. Boyd et al., 2020)

4.1. Componentes Críticos del Sistema

De acuerdo con Chen et al. (2019) estos son los componentes críticos:

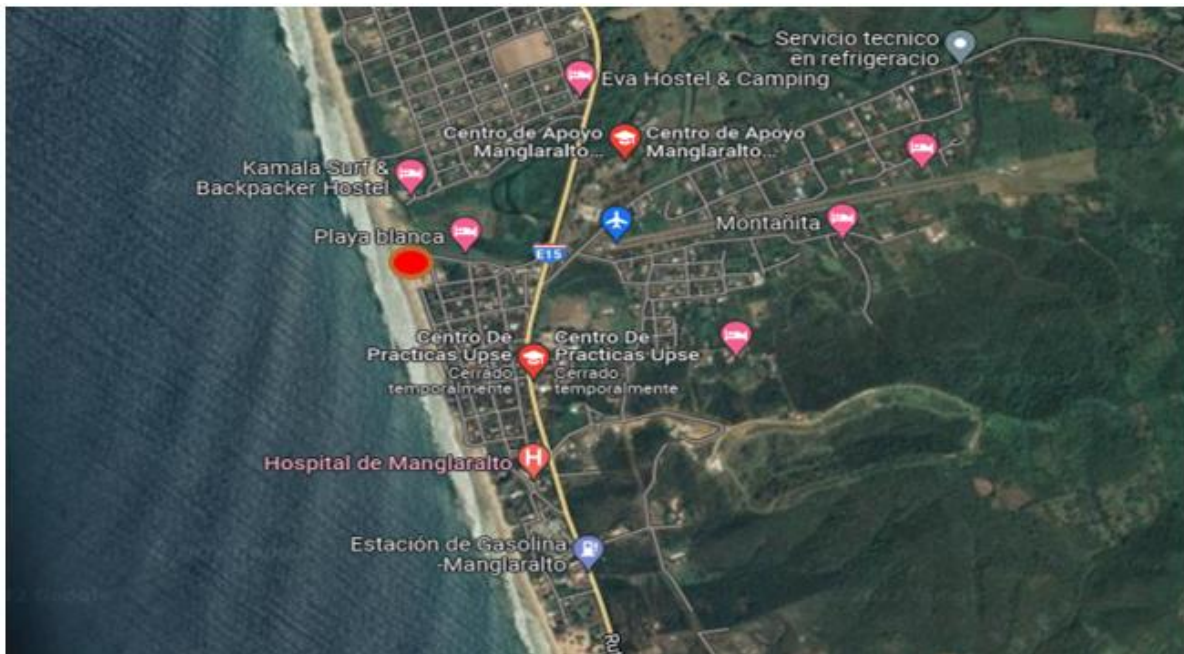
- Filtración Mecánica: Destinada a la eliminación de heces y restos de alimento fresco que poseen una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Biofiltración: Proporciona el área superficial necesaria para la colonización de bacterias nitrificantes.
- Desinfección (UV u Ozono): Fase crucial para suprimir la carga bacteriana antes de que el flujo retorne a los tanques de maduración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en la provincia y cantón de Santa Elena, específicamente en la comunidad de San Pablo, dentro de las instalaciones del Laboratorio destinado para pruebas experimentales se ejecutaron en un entorno controlado dentro del área de maduración, localizada geográficamente en las coordenadas $1^{\circ} 49' S$ de latitud y $80^{\circ} 44' W$ de longitud. La zona presenta un clima tropical con una humedad relativa del 82%, una temperatura media anual de $23.1^{\circ} C$ y se sitúa a una altitud de 3 msnm.

Gráfico 1 Mapa satélite del lugar de trabajo experimental. Google Maps 2026.



Materiales:

Para el desarrollo del diseño experimental se emplearon los siguientes recursos técnicos:

- Sistemas de cultivo: Tanques de fibra de vidrio con capacidad hídrica de 15 m³ configurados para sistemas de recirculación (RAS) y flujo abierto.
- Instrumentación: Equipo multiparámetro digital YSI 20 Pro para la validación de oxígeno disuelto y temperatura.
- Monitoreo automatizado: Software SCADA para el registro constante de datos mediante sensores inteligentes sumergibles.

- Análisis químico: Kits de pruebas rápidas API para amonio, test Quantofix para nitritos y nitratos, y test Aquachek para alcalinidad.
- Insumos biológicos: Bacterias nitrificantes comerciales de la marca Proline y cloruro de amonio (NH₄Cl) para la activación del biofiltro.
- Material biológico: Reproductores de *Penaeus vannamei* con un peso individual entre 35 y 40 g.

Diseño experimental

Esta investigación es de tipo experimental, se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) que constó de tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, para un total de nueve unidades experimentales. Los datos se organizaron en Microsoft Excel y se procesaron mediante el software estadístico Infostat versión 2020.

Esquema de tratamientos evaluados:

- T0: Sistema RAS interno en fase de maduración (sin presencia de animales).
- T1: Sistema de recirculación RAS (con presencia de animales).
- T2: Sistema de flujo abierto con agua de mar (con presencia de animales).

Procedimiento y Recolección de Datos

Maduración del Sistema RAS (T0)

Durante los primeros 15 días se efectuó la preparación del medio mediante la activación del biofiltro. Se utilizó una carga controlada de amonio e inoculación de bacterias nitrificantes para asegurar la colonización de microorganismos quimioautótrofos responsables de la conversión de amonio a nitrato.

Fase de Cultivo y Monitoreo (T1 y T2)

Tras la maduración del agua, se sembraron 180 machos y 190 hembras en los tanques correspondientes. El ensayo tuvo una duración total de 65 días de monitoreo biológico.

- Variables fisicoquímicas: El oxígeno disuelto (OD), la saturación y la temperatura se registraron de forma automatizada mediante el sistema SCADA y se validaron diariamente a las 08:00 h con el medidor digital YSI.
- Variables químicas: Las concentraciones de amonio, nitrito y nitrato se midieron con una frecuencia de 24 a 48 horas para supervisar la estabilidad del sistema.

- Supervivencia: Se realizaron registros diarios de mortalidad en cada unidad experimental para el cálculo del porcentaje final.

Tabla 1 Esquema de tratamientos, descripción y tanques para la toma de datos.

Tratamientos	Descripción	#Tanques
T0	Ras interno (sin animales)	3
T1	Recirculación con Ras (con animales).	3
T2	Flujo abierto agua de Mar (Con animales).	3

Nota: Tabla de origen de autor (Muñoz, 2026).

Medición de Parámetros Iniciales

- Medir diariamente los parámetros iniciales de calidad de agua, incluyendo fisicoquímicos en los 15 días de maduración de agua del sistema RAS.
- Registrar en la hoja de cálculo toma de muestras 1 veces por día.
- Frecuencia de medición: Diaria para parámetros fisicoquímicos y cada 2 días prueba de amonio, Nitrito, Nitrato.
- Realizar aplicación de bacteria Nitrificantes “Proline” mediante la carga de amonio.

Recolección de datos:

Toma de muestras en sitios específicos en tanque de producción 1 ves por día.

- Análisis del Índice de mejoramiento de calidad de agua al final del ensayo comparando los 2 sistemas de recambio.
- Evaluación de parámetros físicos químicos: Amonio, Nitrito, Nitrato, °C, PH, Curva de OD, Saturación en Ras y tanques de producción.
- Análisis estadístico: Comparación de medias mediante pruebas con el programa estadístico Infostat y la prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos.
- Evaluación mediante el programa de monitoreo SCADA, evaluación la curva de O₂ y temperatura.

Maduración del Sistema RAS (T0)

Durante los primeros 15 días, se procedió a la activación del biofiltro en el sistema RAS. Se

utilizó una carga de amonio controlada y la inoculación de bacterias Nitrificantes. Este proceso aseguro la colonización de bacterias quimio autótrofas en el sustrato del biofiltro para garantizar la conversión de amonio a nitrito y, finalmente a nitrato.

Fase de Cultivo y Monitoreo (T1 Y T2)

Tras la maduración del agua, se sembraron los reproductores en los tanques correspondientes. El ensayo tuvo una duración de 65 días de monitoreo biológico.

Los parámetros físicos químicos como el oxígeno disuelto, la temperatura y la saturación se registraron de forma continua mediante el sistema SCADA y se validaron diariamente en el sitio físico de tanques de producción con la biomasa de la especie *Penaeus vannamei*

En cuanto los parámetros de amonio, nitrito y nitrato se midieron con una frecuencia de 24 horas para asegurar la estabilidad del sistema. Los registros de mortalidad fueron diarios en cada unidad experimental para calcula de porcentaje de mortalidad.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y, en los casos donde se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se empleó la prueba de comparación múltiple de Tukey para evaluar los intervalos estadísticos entre los tratamientos.

RESULTADOS

En esta Tabla 4 se aprecia los resultados obtenidos durante el periodo de muestreo de parámetros en los tanques de maduración, la misma que comprende: temperatura, oxígeno disuelto, saturación, mortalidad, donde se evaluaron las variables de los tres tratamientos: T0 (Ras interno sin animales), T1 (Recirculación con Ras con Animales), T2 (Flujo abierto agua de mar con animales).

Tabla 2. Variables de parámetros físicos, químicos en el área de Maduración.

Variables	T ₀	T ₁	T ₂	E.E.	P-valor
°C	28.56 ^A	28.50 ^A	28.68 ^A	0.09	0.3604 ^{N.S}
OD	4.82 ^A	5.66 ^B	4.77 ^A	0.15	0.0002 ^{**}
SAT	72.56 ^A	86.29 ^B	72.59 ^A	2.28	0.0001 ^{***}
Mortalidad 12:00 a. m.		22.44 ^B	10.88 ^{A B}	3.98	0.0044 ^{***}

E.E. = error estándar de las medias. °C = Grados centígrados. **OD** = Oxígeno disuelto.

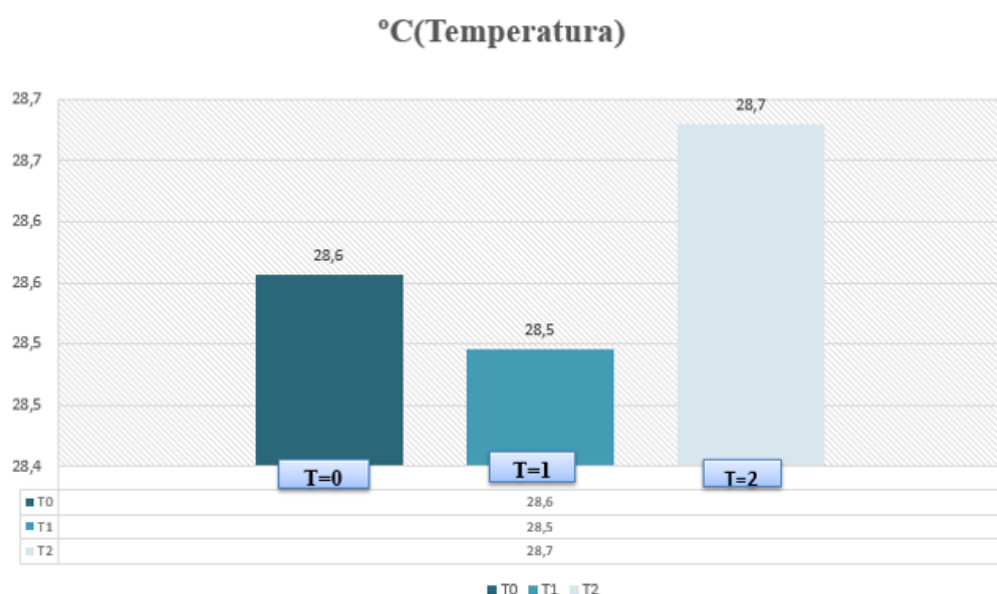
SAT= %saturación. **P-valor** = diferencias significativas, P-valor diferencias significativas al 95 % de confianza. Tratamientos: T₀=0 Ras interno (sin animales) T₁= Recirculación con Ras (con animales) T₂= Flujo abierto agua de mar (con animales), P-valor 95% de confianza. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey (p<0.05) Nivel altamente significativo ***, Nivel de significativo **, N.S= no significativo.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 4, casi todas las variables evaluadas mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, a excepción de la temperatura, la cual se mantuvo estable y en un promedio de 28.50 °C para el tratamiento T1, situándose dentro del rango óptimo de 28 °C a 31 °C recomendado para el desarrollo de la especie. En cuanto al Oxígeno Disuelto (OD), el sistema RAS (T1) registró el valor más elevado con 5.66 mg/L y una saturación del 86.29%, cifras que superan los niveles mínimos de 3 mg/L a 6 mg/L sugeridos para regular el metabolismo y crecimiento de los organismos, así como la recomendación de mantener la saturación por encima del 70%. No obstante, pese a esta ventaja técnica en la transferencia de oxígeno, se detectó una contradicción fundamental en el rendimiento biológico; el tratamiento T1 presentó una mortalidad del 22.44%, que es el doble del 10.88% que se había logrado en el sistema de flujo abierto (T2). Esta diferencia sugiere que, bajo un punto de vista profesional en acuicultura, no se puede considerar al sistema T1 como exitoso, ya que optimizar los

parámetros físicos no condujo a una supervivencia más alta de los reproductores. La acumulación de metabolitos nitrogenados, como el amonio no ionizado (NH₃) o los nitritos (NO₂⁻), que se generan a partir de la descomposición de la dieta fresca (calamar y poliquetos) requerida en la etapa de maduración, podrían ser responsables de una falta de correlación directa con la oxigenación y del alto índice de mortalidad en el sistema recirculado. Por lo tanto, el estrés fisiológico causado por la carga orgánica o la inestabilidad química del sistema cerrado fue un factor limitante que afectó negativamente la respuesta inmunológica de los ejemplares en comparación con el manejo convencional.

Porcentaje de Temperatura (°C)

Gráfico 2 Valores de temperatura obtenidos en cada tratamiento.

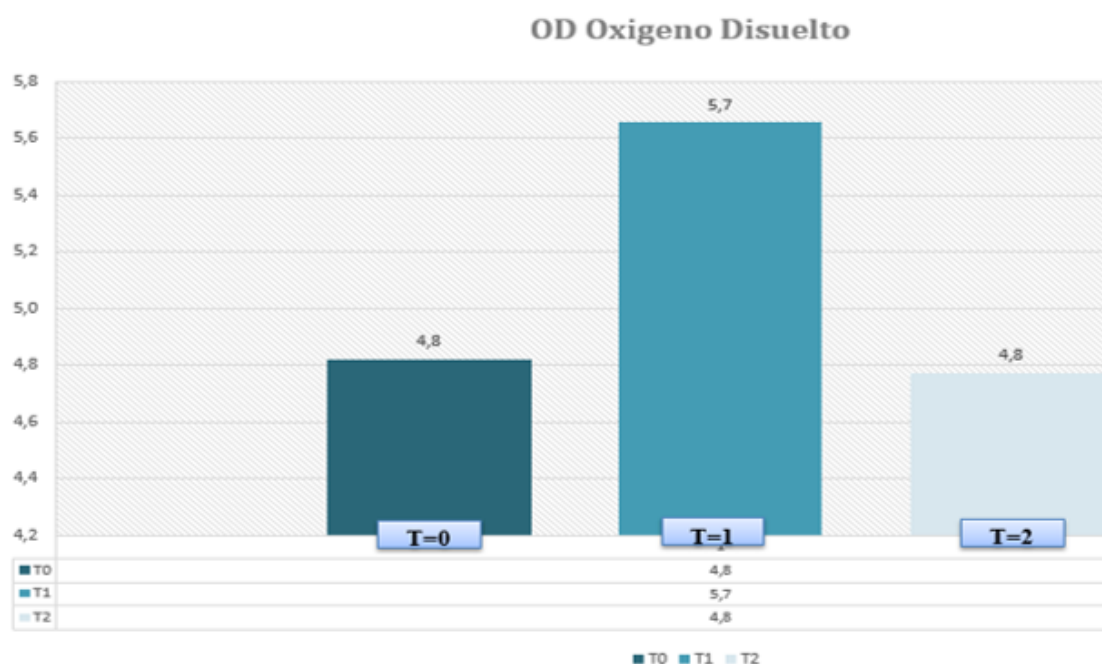


Nota: En la figura muestra los porcentajes de temperatura en los tratamientos. Fuente: (Muñoz, 2026).

La temperatura más estable fue en el T1 con 28.5 °C donde no existen diferencias estadísticas significativas con un P-Valor 0.3604 respecto al T0 con un valor de 28.6°C posteriormente T2 con un valor de 28.7 teniendo un aumento mínimo de temperatura, en los tratamientos se obtuvo buen índice de trazabilidad. La tasa de crecimiento más rápida se dio mediante 28°C, el peso corporal final y la tasa de crecimiento específico alcanzaron $2,31 \pm 0,06$ g y $1,58 \pm 0,10$ % d⁻¹, respectivamente, que fueron significativamente más altos que los del grupo de temperatura 16 ° C ($P < 0.05$). Bajo la temperatura de 32 °C, el rendimiento de crecimiento disminuyó ligeramente, y el peso corporal final y la tasa de crecimiento específico fueron ligeramente inferiores a los de la temperatura de 28°C, sin diferencia significativa ($P > 0.05$).

Oxígeno Disuelto (mg/L)

Gráfico 3 Valores de oxígeno disuelto obtenidos en cada tratamiento.

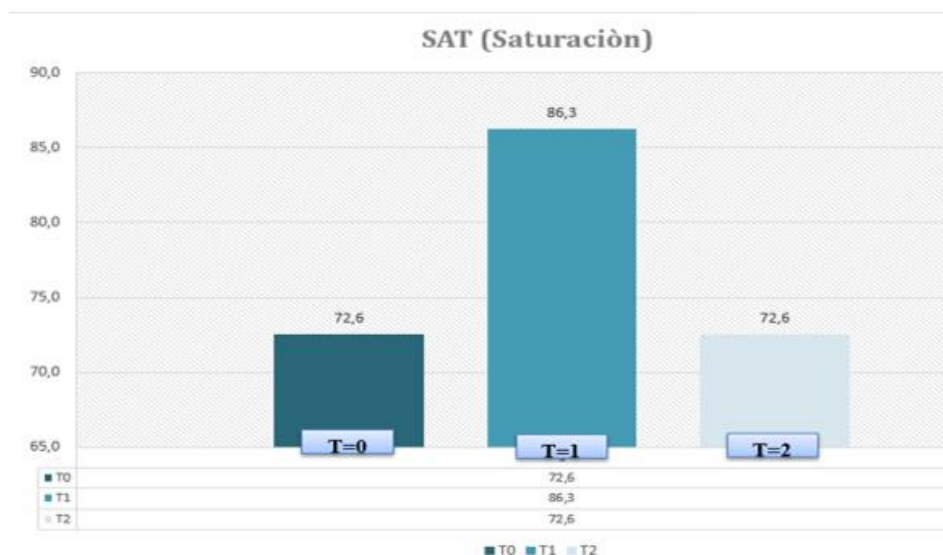


Nota: En la figura muestra los porcentajes de Oxígeno disuelto en los tratamientos. Fuente: (Muñoz, 2026).

Se define que el mejor resultado de Oxígeno disuelto mg/L fue T1 (5.7) obteniendo el mejor resultado de oxigenación en los tanques de producción durante el ciclo de la investigación, seguido del T0 y T2 (4.8) mg/L que obtuvieron resultados similares por lo tanto no hubo diferencia significativa en los tratamientos antes mencionados. El camarón blanco cultivado con más de 4 mg/L de OD creció significativamente más rápido que el mantenido con concentraciones de oxígeno más bajas (2-4 mg/L). De manera similar, un estudio reportó que 5-7 mg/L de oxígeno proveniente de un dispositivo de nanoburbujas resultó en un crecimiento más rápido del camarón que la aireación típica con burbujas a 3-6 mg/L, las bajas concentraciones de oxígeno afectarán directamente la capacidad de natación y las respuestas fisiológicas de los camarones.

Saturación (Sat %)

Gráfico 4 Valores de Saturación (%) obtenidos en cada tratamiento.

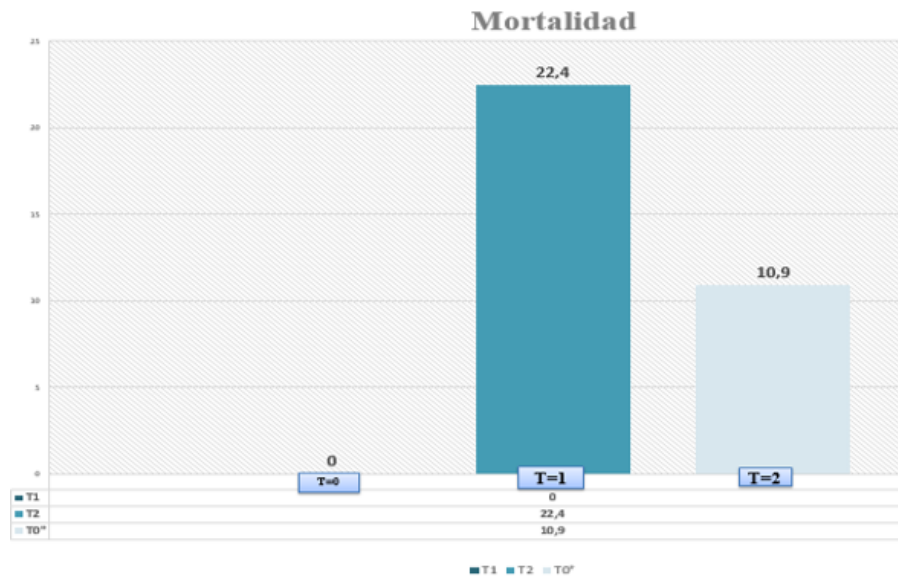


Nota: En la figura muestra los porcentajes de saturación en los tratamientos.

En cuanto la Saturación (Sat%) más alta y que mejor data se obtuvo T1 (86.3) esta fue la más eficiente en comparación a los otros tratamientos tuvo diferencia significativa, seguido del T0 y T2 (72.6) tuvieron un alto nivel de significancia. Por tal motivo el cultivo de camarón marino es indispensable mantener el oxígeno disuelto (OD) por encima del 70% de saturación (aprox. 4,4 mg/L a 40 ppt y 28 °C). La aireación es crucial en sistemas intensivos, ya que niveles bajos de OD afectan directamente la salud y el rendimiento del camarón. Se evidenció que *Penaeus vannamei* expuesto a menos de 2 mg/L de OD presentó menor crecimiento, supervivencia y una respuesta inmunológica debilitada, evidenciada en la reducción de hemocitos y mayor susceptibilidad a *Vibrio harveyi*. En contraste, camarones mantenidos por encima de 4 mg/L de OD crecieron más rápido y sobrevivieron mejor. Otro estudio que evaluó cultivos combinados de *P. vannamei* y *P. stylirostris* determinó que activar los aireadores cuando el OD cae al 65% de saturación optimiza la producción, supervivencia y conversión alimenticia. Aunque esta aireación temprana aumenta el costo energético, mejora significativamente la rentabilidad por hectárea.

Mortalidad

Gráfico 5 valores de Mortalidad obtenidos en cada tratamiento.



Nota: En la figura muestra los porcentajes de mortalidad en los tratamientos.

Se determinó que el T1 (22.4) obtuvo el mayor porcentaje de Mortalidad en los tanques de producción seguido de la comparación de T2 (10.9) que estuvo el porcentaje menor de la investigación realizada por otra observación el T0 (0) debido a que se realizó el proceso de maduración del agua del sistema y no se trabajó con animales. En diferentes investigaciones sobre RAS evidenciaron tasas de supervivencia iguales o superiores a las de los sistemas de flujo. Un análisis comparativo indicó aproximadamente un 80% de supervivencia en RAS en comparación con cerca de un 55% en sistemas de flujo continuo, específicamente en juveniles y en la fase de engorde, aunque esto es un indicador valioso del impacto del sistema en la supervivencia.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto a la temperatura (promedio de 28.50 °C en el tratamiento T1) se encuentran alineados con los rangos óptimos de 28 °C a 31 °C reportados por la FAO (2009) para la maduración de *Penaeus vannamei*. Esta estabilidad térmica es crucial, ya que fluctuaciones mínimas pueden inhibir la reproducción o acelerar descontroladamente el metabolismo basal.

En relación con la oxigenación, el sistema RAS (T1) demostró una superioridad técnica con 5.66 mg/L y una saturación del 86.29%. Estos datos exceden la sugerencia de Chen Z, et al. (2019) de sostener el oxígeno disuelto (OD) por encima del 70% de saturación para prevenir respuestas inmunológicas más débiles. La eficacia del T1 en este sentido concuerda con investigaciones que asignan a los sistemas intensivos una transferencia de gases más eficiente que la de los métodos tradicionales de flujo abierto.

La principal contradicción de este estudio es que, a pesar de tener el mejor indicador de oxígeno, el T1 tuvo la mayor mortalidad, con un 22,44%, en comparación con una diferencia estadísticamente significativa con el sistema abierto de flujo. con 10,88%. Esto contradice la evidencia de Anand et al., que informan mejores índices de supervivencia en RAS, 80%, que los sistemas de flujo continuo, 55% en la joroba fase de crecimiento.

La diferencia sugiere que, en la fase de maduración, la carga orgánica de las dietas frescas utilizadas calamar y poliquetos producir estrés químico, que el biofiltro podría no estar procesando correctamente, pero, en cualquier caso, este descanso causaría algún tipo de desequilibrio. La acumulación de metabolitos como el amonio no ionizado o nitritos pueden causar daño tisular y comprometer la eficacia de la respuesta inmunológica, dos factores que, a su vez, explicarían por qué la optimización del oxígeno no aseguró el éxito biológico en este trabajo.

CONCLUSIONES

En relación con el monitoreo de los parámetros físicoquímicos, se determinó que el sistema de recirculación (RAS) en el tratamiento T1 superó técnicamente al sistema de flujo abierto (T2), al mantener un promedio de oxígeno disuelto de 5.66 mg/L y una saturación del 86.29%. Estos valores se sitúan por encima de los rangos mínimos recomendados por la literatura técnica para evitar estados de hipoxia en reproductores. De igual manera, la temperatura se mantuvo estable en un promedio de 28.50 °C, lo cual cumple con los requerimientos metabólicos óptimos de la especie *Penaeus vannamei*.

Respecto a la comparación estadística de la estabilidad del agua, el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey confirmaron diferencias significativas ($p < 0.05$) a favor del sistema RAS en las variables de oxigenación y saturación. No obstante, la variable de temperatura no presentó niveles de significancia entre los tratamientos, lo que demuestra que ambos sistemas son capaces de mantener la homeostasis térmica, aunque el sistema RAS ofrece una mayor trazabilidad y control automatizado a través del software SCADA.

El análisis de mortalidad y desempeño biológico reveló una contradicción, el sistema RAS (T1) tuvo una mortalidad del 22.44%, el doble que el flujo abierto (T2) con 10.88%. Esto indica que la optimización física en sistemas cerrados es insuficiente sin un control riguroso de metabolitos nitrogenados (NH_3 , NO_2^-), derivados de dietas proteicas en la fase de maduración.

RECOMENDACIONES

Para optimizar los parámetros fisicoquímicos mencionados, la instalación de sensores para amonio no ionizado y nitritos directamente en el sistema SCADA también es fundamental. Estos sensores permitirán una respuesta rápida al deterioro del agua debido a la alimentación fresca, complementando la oxigenación de eficacia demostrada de la unidad YSI 20 Pro.

En cuanto a la variabilidad técnica encontrada en la estabilidad del agua, recomiendo estandarizar el protocolo de suplementación de bicarbonato de sodio en relación con la carga de biomasa de reproductor. Se necesita de manera crítica mantener los niveles de alcalinidad estables para evitar caídas bruscas en el pH que comprometerán la eficiencia biológica de las bacterias nitrificantes en los biofiltros del sistema RAS.

Se sugiere investigar la relación de la mejora del desempeño biológico y la reducción de la mortalidad, la realización de estudios de correlación de la carga orgánica diaria utilizada para la ingesta de calamar y poliquetos con la capacidad de procesamiento del biofiltro, antes de arrancar la fase de siembra de reproductores. Además de evaluar el uso de sistemas de desinfección adicionales, como ozono o luz ultravioleta, UV, para detener la proliferación de patógenos oportunistas que puedan crecer favorecerse en un entorno cerrado Recirculation System.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babadjanova, M. (2017). *Nitrification process in recirculating aquaculture system*.
- Boyd, C. (2022, octubre 10). El oxígeno disuelto es una preocupación importante en la acuicultura. Este es el por qué. - Responsible Seafood Advocate. *Global Seafood Alliance*. <https://www.globalseafood.org/advocate/el-oxigeno-disuelto-es-una-preocupacion-importante-en-la-acuicultura-este-es-el-por-que/>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso Jr, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Water Quality and Aquaculture: Preliminary Considerations. En C. E. Boyd & C. S. Tucker (Eds.), *Pond Aquaculture Water Quality Management* (pp. 1-7). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3_1
- Chen, Z., Chang, Z., Zhang, L., Jiang, Y., Ge, H., Song, X., Chen, S., Zhao, F., & Li, J. (2019). Effects of water recirculation rate on the microbial community and water quality in relation to the growth and survival of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *BMC Microbiology*, 19(1), 192. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1564-x>
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., ... Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95-100. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>
- Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., & Thurston, R. V. (1975). Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32(12), 2379-2383. <https://doi.org/10.1139/f75-274>
- Espinal, C. A., & Matulić, D. (2019). Recirculating Aquaculture Technologies. En *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 35-76). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_3
- Estadísticas—Cámara Nacional de Acuicultura*. (2022, marzo 31). <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- FAO. (2009). *FAO - Penaeus vannamei*.

https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es_whitelegshrimp.htm

Gómez, H. R., & Escobar, E. A. (2001). *Capítulo 111. LA CALIDAD DEL AGUA Y LA*

Gomez-Nieves, V., & Salas-Benavides, J. (2024). *Interacción de los iones calcio y potasio en la sobrevivencia y crecimiento del camarón blanco Litopenaeus vannamei en aguas de baja salinidad.*

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10351268.pdf&ved=2ahUKEwiIy6aI-vOSAxXwSTABHU58L_UQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw29tpAUILIP9p9bQf1IERSh

Hernández-Sandoval, P., Timaná-Morales, M., Robles-Ravelero, M., Peraza-Gómez, V., Ascencio, F., Jiménez-Ruíz, E., Hernández-Sandoval, P., Timaná-Morales, M., Robles-Ravelero, M., Peraza-Gómez, V., Ascencio, F., & Jiménez-Ruíz, E. (2022). Incremento de la supervivencia de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) infectado con el virus de la mancha blanca y alimentado con una dieta suplementada con aceite de coco (*Cocos nucifera*). *Abanico veterinario*, 12. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.2>

Humanante Cabrera, J. J., Moreno Alcivar, L. C., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., Tomalá, J. A. S., Humanante Cabrera, J. J., Moreno Alcivar, L. C., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., & Tomalá, J. A. S. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-187. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>

Kumar, S., Kumar, A., Soratur, A., Sarkar, A., & Venmathi Maran, B. A. (2026). Harnessing Marine Bacterial Lipopeptides for Sustainable Disease Management in Open Sea Cage Aquaculture. *Oceans*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/oceans7010004>

Losordo, T. M., Masser, M. P., & Rakocy, J. E. (2021). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems A Review of Component Options*.

Tidwell, J. H. (2012a). Characterization and Categories of Aquaculture Production Systems. En *Aquaculture Production Systems* (pp. 64-78). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch4>

Tidwell, J. H. (2012b). Functions and Characteristics of All Aquaculture Systems. En *Aquaculture Production Systems* (pp. 51-63). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch3>

Xu, W., Zhang, B., Zhao, Y., & Cao, Y. (2025). Effect of Stocking Density on Water Quality, Harmful Nitrogen Control, and Production Performance of *Penaeus vannamei* in Biofloc-Based Systems with Limited Water Exchange. *Fishes*, 10(7), 326. <https://doi.org/10.3390/fishes10070326>

ANEXOS

Anexo 1 Promedios de datos recolectados con SCADA, mediante el software Infostat

Temperatura (°C)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temperatura (°C)	64	0,03	1,2E-03	1,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,43	2	0,22	1,04	0,3604
Tratamiento	0,43	2	0,22	1,04	0,3604
Error	12,74	61	0,21		
Total	13,18	63			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,34886

Error: 0,2089 gl: 61

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	28,50	25	0,09 A
T0	28,56	14	0,12 A
T2	28,68	25	0,09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

OD (mg/L)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
OD (mg/L)	64	0,24	0,22	14,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,45	2	5,73	9,77	0,0002
Tratamiento	11,45	2	5,73	9,77	0,0002
Error	35,76	61	0,59		
Total	47,21	63			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,58436

Error: 0,5862 gl: 61

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	4,77	25	0,15 A
T0	4,82	14	0,20 A
T1	5,66	25	0,15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Mortalidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mortalidad	64	0,16	0,14	153,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4706,18	2	2353,09	5,93	0,0044
Tratamiento	4706,18	2	2353,09	5,93	0,0044
Error	24190,80	61	396,57		
Total	28896,98	63			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,19957

Error: 396,5705 gl: 61

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	0,00	14	5,32 A
T2	10,88	25	3,98 A B
T1	22,44	25	3,98 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

SAT (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SAT (%)	64	0,27	0,24	14,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2863,44	2	1431,72	11,05	0,0001
Tratamiento	2863,44	2	1431,72	11,05	0,0001
Error	7903,24	61	129,56		
Total	10766,68	63			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,68778

Error: 129,5614 gl: 61

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	72,56	14	3,04 A
T2	72,59	25	2,28 A
T1	86,29	25	2,28 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)