



UNIVERSIDAD NACIONAL

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*, BONNE 1931)  
EN JAULAS FLOTANTES COMO ALTERNATIVA PRODUCTIVA PARA EL  
SECTOR PESQUERO ARTESANAL DEL GOLFO DE NICOYA,  
COSTA RICA.

POR:

ELMAN JAVIER CALVO ELIZONDO

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Programa Maestría en  
Ciencias Marinas y Costeras para optar al grado de Magister Scientiae en Ciencias  
Marinas y Costeras con énfasis en Manejo de Recursos Marinos y Costeros

Puntarenas, Costa Rica, 2023

CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*, BONNE 1931) EN JAULAS  
FLOTANTES COMO ALTERNATIVA PRODUCTIVA PARA EL SECTOR PESQUERO  
ARTESANAL DEL GOLFO DE NICOYA, COSTA RICA.

ELMAN JAVIER CALVO ELIZONDO

Tesis presentada para optar por el grado de *Magíster Scientiae* en Ciencias Marinas y  
Costeras con énfasis en Manejo de los Recursos Marinos y Costeros. Cumple con los  
requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad

Nacional, Heredia, Costa Rica

## **MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

Dr. Greivin Rodríguez Calderón  
Representante del Consejo Central de Posgrado

---

M.Sc. Cristian Fonseca Rodríguez  
Coordinador Programa de Posgrado

---

M.Sc. Jonathan Chacón Guzmán  
Tutor de tesis

---

Ph.D. Gaby Dolz Wiedner  
Miembro del Comité Asesor

---

M.Sc. Carolina Elizondo Ovaes  
Miembro del Comité Asesor

---

Lic. Elman Javier Calvo Elizondo  
Sustentante

## RESUMEN

El camarón blanco *Litopenaeus vannamei* es una de las especies marinas de mayor importancia comercial en el mundo. En Costa Rica, es una de las especies más importantes tanto para el sector pesquero como para el sector de acuicultura continental costera, especialmente en el Golfo de Nicoya. No obstante, la producción por cultivo en estanques ha sido limitada por las regulaciones ambientales que existen sobre esta actividad en áreas de manglar, así como, por la recurrente proliferación de enfermedades ocasionadas por virus y bacterias intracelulares que afectan la supervivencia especialmente en las etapas tempranas del cultivo, lo que en consecuencia disminuye los rendimientos esperados. Sumado a este escenario, en el Golfo de Nicoya es cada vez más notoria la disminución de los recursos pesqueros que afecta principalmente al sector pesquero artesanal, un sector compuesto por miles de pescadores legales e ilegales que carecen de otras alternativas viables de empleo. Por estas razones, el Parque Marino del Pacífico y la Universidad Nacional en colaboración con otras instituciones del Estado, han implementado en Costa Rica el cultivo comercial de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar integrado con turismo, proyectos con enfoque de desarrollo sostenible que a su vez brindan un mejor manejo del recurso camarón, ya que está orientado a la producción en cautiverio, se ubica en zonas marinas fuera de las frágiles áreas terrestres de manglar y además son dirigidos para que sean desarrollados por pescadores artesanales y con ello trasladar un porcentaje de pescadores de una actividad extractiva (con mayor impacto ambiental) a una nueva alternativa productiva con mayor sostenibilidad, logrando aumentar las opciones de empleo directo e indirecto para el sector social costero del país. Sin embargo, como cada nuevo emprendimiento, debe ser sujeto a un proceso de validación técnica y financiera y en este caso particular determinar si las principales enfermedades prevalecen y con qué impacto en las granjas marinas. Con esta premisa este trabajo se basó en el desarrollo de un cultivo de camarón blanco en 9 jaulas flotantes ubicadas al sur de Isla Venado comparado de forma paralela con otro cultivo de camarón con sistema de producción tradicional en un estanque de 1.5 hectáreas ubicada en la localidad de Copal de Nicoya. El tiempo de cultivo en ambos escenarios fue de 98 días y se utilizó el mismo lote de producción en estadio PL12 comprado en un laboratorio de producción de postlarva nacional. Los resultados mostraron que las variables fisicoquímicas de las jaulas estuvieron estables y en el rango óptimo reportado para la especie, no así en el estanque donde se presentaron valores extremos

especialmente en el oxígeno disuelto (0.8 mg/L-1), lo que pudo generar la baja supervivencia obtenida en el estanque (33%), ya sea de forma directa por estas condiciones o indirectamente al propiciar un mejor ambiente para la proliferación de enfermedades. La enfermedad detectada en todas las edades y en ambos sistemas fue IHHNV, pero con mayor prevalencia en el estanque (0.5%) respecto a las jaulas (0.1%) muestreo 7. En las jaulas fue la única enfermedad con prevalencia y un caso sospechoso únicamente de AHPND (1 muestra), no obstante, en el estanque se detectó también NHP y AHPND con prevalencia en varios muestreos con múltiples muestras, lo que demostró una mayor incidencia de enfermedades comunes en el estanque respecto a las jaulas flotantes.

En 9 jaulas flotantes se sembró un total de 450.000 post larvas (PL), en 3 Tratamientos 1, 2 y 3 con tres repeticiones cada uno, equivalentes cada tratamiento a una densidad de siembra 25, 50 y 75 mil larvas por jaula (T1: 893, T2: 1.786 y T3: 2.679 PL/m<sup>2</sup>, respectivamente) y 175.000 PL en el estanque (T4: 11.67 PL/m<sup>2</sup>). En los tratamientos 2 y 3 se obtuvieron pesos de cosecha promedios finales aceptables para un ciclo corto de 98 días de 10.92±0.61 y 11.15±1.4 gr., cercanos al promedio del estanque T4 de 13.01 gr. y de otros promedios reportados por otros investigadores en estanques en la zona con ciclos cortos. Los FCA de los tratamientos 1 y 2 fueron aceptables para un cultivo super intensivo, especialmente el del tratamiento 1 (1.49±0.09), el FCA del estanque fue alto (2.17) un reflejo de problemas durante el cultivo. La supervivencia fue alta (85.7%), dentro del rango esperado (64.7%) y baja (39.2%) en los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Se obtuvo una cosecha total de 2581.5 kg (10.2 kg/m<sup>2</sup>) en las jaulas flotantes y 600 kg (0.04 kg/m<sup>2</sup>) en el estanque. En las jaulas cada tratamiento 1, 2 y 3, produjo respectivamente 698.9, 930.8 y 951.9 kg. La biomasa obtenida en esta investigación por metro cuadrado es una de las más altas reportadas hasta la fecha a nivel mundial en este tipo de cultivos. La densidad con mejor rendimiento productivo fue la del tratamiento 1 (9.32 kg/millar) respecto a los tratamientos 2, 3 y 4 (6.21, 4.23 y 3.3 kg/millar de PL sembradas respectivamente). Igualmente, la densidad con mejor rentabilidad en un escenario similar al real desarrollado en esta investigación sería el tratamiento 1, al obtener un VAN de 14.243.297 colones y una TIR de 19%. Al aplicar el flujo neto de efectivo a 5 años se comprobó que en condiciones de cultivo integrado con turismo esta investigación resultó con rentabilidad positiva VAN de 6.631.576 colones y una TIR de 15%. En caso de un escenario donde se realice solo cultivo sin turismo integrado el cultivo será rentable únicamente si el 55% de la producción se destina a la venta para carnada. A partir de todo el proceso investigativo llevado a cabo, es posible concluir de forma general, que el sistema

de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes representa una alternativa productiva viable y rentables para ser implementada por agrupaciones organizadas en la zona del Golfo de Nicoya de Costa Rica en proyectos integrados con turismo y con venta para carnada en zonas de pesca responsable, pero aun requiere de mejoras tecnológicas para ser rentable con solamente la venta directa a intermediarios, aunque se destaca que los resultados obtenidos en este trabajo muestran un acercamiento importante a dicha rentabilidad esperada.

Palabras claves: maricultura, *Litopenaeus vannamei*, jaulas flotantes, sector pesquero, IHHNV, WSSV, AHPND, NHP.

## ABSTRACT

The white shrimp *Litopenaeus vannamei* is one of the most commercially important marine species worldwide. In Costa Rica, it holds significant importance for both the fishing and coastal aquaculture sectors, particularly in the Gulf of Nicoya. However, shrimp farming in ponds has been limited by environmental regulations in mangrove areas and the recurring outbreak of diseases caused by intracellular viruses and bacteria, which adversely affect survival, particularly in the initial stages of cultivation, leading to reduced expected yields. Moreover, the Gulf of Nicoya is experiencing a noticeable decline in fishery resources, significantly impacting the artisanal fishing sector comprising numerous legal and illegal fishers who lack viable alternative employment options. Considering these challenges, the Parque Marino del Pacífico and the Universidad Nacional, in collaboration with other state institutions, have implemented commercial shrimp farming in floating cages integrated with tourism in Costa Rica. These projects aim to achieve sustainable development by providing better shrimp resource management through captive production, locating them in marine areas away from vulnerable mangrove regions, and involving artisanal fishers, thereby transitioning a portion of fishers from environmentally impactful extractive activities to a more sustainable alternative, thus increasing direct and indirect employment opportunities for the coastal communities.

However, like any new venture, this approach requires technical and financial validation. In this study, we developed a white shrimp farming system using nine floating cages located south of Isla Venado, which was compared with traditional pond farming in a 1.5-hectare pond in Copal de Nicoya. The cultivation period for both scenarios was 98 days, utilizing the same batch of PL12-stage shrimp purchased from a national post-larvae (PL) laboratory. The results indicated that the physicochemical variables in the floating cages remained stable within the optimal range for the species, while extreme values, especially in dissolved oxygen ( $0.8 \text{ mg/L}^{-1}$ ), were observed in the pond. These conditions directly or indirectly contributed to the low survival rate in the pond (33%), as they either directly affected shrimp health or facilitated disease proliferation. The disease detected in both systems and at all stages was IHHNV, with a higher prevalence observed in the pond (0.5%) compared to the floating cages (0.1%) in the seventh sampling. In the floating cages, IHHNV was the only prevalent disease, with only one suspected case of AHPND (1 sample).

However, the pond also exhibited NHP and AHPND with multiple prevalence's in various samplings, indicating a higher incidence of common diseases in the pond compared to the floating cages.

A total of 450,000 PL-12 was stocked in the nine floating cages, divided into three treatments (1, 2, and 3) with three replications each. The stocking densities for the treatments were 25000, 50000, and 75000 PL per cage (T1: 893, T2: 1,786, and T3: 2,679 PL/m<sup>2</sup>, respectively), while the pond stocked 175000 PL (T4: 11.67 PL/m<sup>2</sup>). Treatments 2 and 3 achieved acceptable average final harvest weights of 10.92±0.61 g and 11.15±1.4 g, respectively, for the short 98-day cycle, which were close to the average weight of 13.01 g in the pond (T4) and other reported averages by researchers conducting short cycles in the area. The Feed Conversion Ratios (FCRs) for treatments 1 and 2 were acceptable for super-intensive farming, particularly treatment 1 (1.49±0.09), whereas the FCR in the pond was high (2.17), reflecting issues during cultivation. Survival rates were high (85.7%), within the expected range (64.7%), and low (39.2%) for treatments 1, 2, and 3, respectively.

The total harvest was 2581.5 kg (10.2 kg/m<sup>2</sup>) in the floating cages and 600 kg (0.04 kg/m<sup>2</sup>) in the pond. Each treatment in the cages produced 698.9, 930.8, and 951.9 kg, respectively. The biomass obtained per square meter in this research represents one of the highest reported globally for this type of cultivation. The density with the best production performance was treatment 1 (9.32 kg/1000PL) compared to treatments 2, 3, and 4 (6.21, 4.23, and 3.3 kg/1000PL stocked, respectively). Similarly, the density with the best profitability in a scenario like the real one developed in this research was treatment 1, with a Net Present Value (NPV) of 14 243 297 colones and an Internal Rate of Return (IRR) of 19%. When applying the net cash flow over 5 years, it was confirmed that under conditions of integrated farming with tourism, this research yielded positive profitability with an NPV of 6 631 576 colones and an IRR of 15%. In a scenario where only farming without integrated tourism is conducted, profitability can be achieved only if 55% of the production is allocated for bait sales.

Based on the overall research process, it can be concluded that the farming system of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages represents a viable and profitable productive alternative for organized groups in the Gulf of Nicoya area of Costa Rica. Implementation of such projects integrated with

tourism and bait sales in responsible fishing areas can be pursued. However, further technological improvements are necessary to achieve profitability solely through direct sales to intermediaries. Nevertheless, it is worth highlighting that the results obtained in this study represent a significant step toward the expected profitability.

Keywords: mariculture, *Litopenaeus vannamei*, floating cages, fishing sector, IHHNV, WSSV, AHPND, NHP.

## AGRADECIMIENTOS

El proceso de investigación y escritura de una tesis representa muchísimo tiempo de trabajo a solas, no obstante, no es sin el acompañamiento y apoyo de otras personas que el trabajo se torna un poco más ligero. Por lo que quisiera en las posteriores líneas externar mi mayor agradecimiento a las siguientes personas.

A Jonathan Chacón Guzmán, tutor de este trabajo investigativo. Por todo el acompañamiento, las facilidades y sugerencias brindadas durante el proceso. Por su apoyo incondicional y por su insistencia para que la finalización de este trabajo fuera algo posible.

A Gaby Dolz y al equipo de trabajo (Gabriel Masis y Antony Solórzano) del Laboratorio de Entomología y Zoonosis de la Escuela de Medicina Veterinaria de la UNA; a Carolina Elizondo del SENASA y al equipo de trabajo (Julia Rodríguez y Sergio Cuadra) del Laboratorio de Histología de la misma Escuela, por toda la supervisión, apoyo y herramientas brindadas para el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta investigación. Además, al personal del Laboratorio de Biología Molecular de la Escuela de Ciencias Agrarias, Programa de Biotecnología Vegetal y Recursos Genéticos para el Fitomejoramiento (BIOVERFI) por el apoyo en el procesamiento de muestras.

A Andrés Beita Jiménez por su ayuda en el análisis estadístico de los datos del proyecto.

A Mila y Tavo, por su amistad incondicional, por motivarme y apoyarme de una y mil maneras.

Infinitas gracias.

## **DEDICATORIA**

A Enyell Valerio Carranza, por ser mi soporte siempre. Por estar y acompañarme en cada una de las etapas de todo este proceso y por su ayuda en la labor de la incansable relectura y edición de este documento.

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	XVI
LISTA DE FIGURAS .....	XVIII
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	9
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	12
OBJETIVOS .....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
MARCO TEÓRICO .....	14
1. Taxonomía y morfología del camarón blanco <i>L. vannamei</i> .....	14
2. Ciclo de vida de <i>L. vannamei</i> .....	15
3. Cultivo de camarón .....	16
4. Agentes infecciosos causantes de enfermedades que afectan los cultivos de camarón en estanques. ....	17
5. Métodos moleculares de detección y diagnóstico de enfermedades .....	20
6. Análisis de factibilidad técnica y financiera .....	21
MARCO METODOLÓGICO .....	24
1. Área de estudio .....	24
2. Recintos de cultivo .....	25
3. Compra, traslado y siembra de las Post larvas de camarón .....	27
4. Diseño experimental.....	28
5. Alimentación.....	29
6. Crecimiento y supervivencia.....	31
7. Diseño de estudio y toma de muestras para detectar la presencia de agentes infecciosos.....	35
8. Análisis moleculares para detectar la presencia de agentes infecciosos .....	36

8.1. Extracción de ADN .....	36
8.2. PCR en tiempo real (qPCR) .....	37
8.3. PCR punto final y secuenciación .....	39
8.4. Análisis histopatológico .....	40
8.5. Análisis estadístico .....	40
9. Rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes .....	40
10. Análisis de datos.....	43
RESULTADOS.....	45
1. Determinación del crecimiento y supervivencia del camarón blanco cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades de siembra .....	45
1.1 Variables fisicoquímicas .....	45
1.2 Crecimiento .....	47
1.3. Análisis proximal del camarón cosechado.....	53
2. Detección de agentes infecciosos en camarones de estanque y jaulas flotantes mediante la técnica de qPCR .....	54
3. Rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar .....	62
3.1. Factibilidad Productiva.....	62
3.2. Factibilidad Financiera.....	64
DISCUSIÓN .....	66
1. Crecimiento y supervivencia .....	66
1.1. Características fisicoquímicas .....	66
1.2. Crecimiento .....	71
1.3. Factor de conversión alimenticio .....	73
1.4. Supervivencia .....	74
1.5. Índice de condición K.....	75
1.6. Producción por biomasa obtenida .....	76
2. Diagnóstico mediante la técnica de qPCR de las principales enfermedades infecciosas que afectan a los camarones. ....	78
2.1. Presencia del virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV).....	79
2.2. Presencia del virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa o síndrome del enanismo (IHHNV).....	80

2.3. Enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) o síndrome de la mortalidad temprana (EMS).....	81
2.4. Presencia de la enfermedad hepatopancreatitis necrotizante (NHP) .....	82
3. Análisis del rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes.....	83
3.1. Factibilidad productiva .....	83
3.2. Factibilidad financiera .....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
1.1 Conclusiones .....	89
1.2. Recomendaciones .....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS .....	113

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
<b>Cuadro 1.</b>	Análisis proximal del alimento utilizado en la granja marina de Isla Venado durante el periodo de crecimiento de camarones.	30
<b>Cuadro 2.</b>	Secuencias de iniciadores y sondas TaqMan utilizadas en la detección de WSSV, IHHNV, AHPND y NHP mediante la técnica de qPCR.	38
<b>Cuadro 3.</b>	Gen para amplificar, secuencias de iniciadores y protocolos de amplificación utilizados para detectar WSSV, IHHNV, AHPND y NHP mediante la técnica de PCR punto final.	39
<b>Cuadro 4.</b>	Caracterización fisicoquímica (valores mínimos y máximos) registradas en los sitios de cultivo durante el periodo de estudio (J: jaulas (Isla Venado); E: Estaque (Copal)). $\Delta$ (diferencia entre valor mínimo y máximo).	47
<b>Cuadro 5.</b>	Caracterización del crecimiento durante el periodo de cultivo (Promedio $\pm$ EE). Pi: peso inicial en gramos; PG. (g): peso ganado; TCA (g/d): Tasa de crecimiento absoluto; TCE (%pc/d): Tasa de crecimiento específica; FCA (g/g): Factor de conversión alimenticia; Supervivencia (%#); Factor de condición K. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ( $p=0.003$ ) entre tratamientos de las jaulas flotantes, letras mayúsculas representan diferencias significativas ( $p=0.001$ ) entre los cuatro tratamientos.	49
<b>Cuadro 6.</b>	Análisis proximal del músculo de camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> , % en base seca A: Camarones de jaulas flotantes (Isla Venado) y B: Camarones de estanques en tierra (Copal).	53
<b>Cuadro 7.</b>	Presencia o ausencia de los agentes infecciosos estudiados por medio de los diferentes medios de diagnóstico.	55
<b>Cuadro 8.</b>	Cantidad de muestras positivas (% prevalencia) de WSSV, IHHNV, AHPND y NHP en agua, lodo, post larvas y camarones	55

cultivados en jaulas flotantes (sombreado) y camarones cultivados en estanque de tierra en diferentes días de post siembra (Muestreo 1: 1 día de siembra; Muestreo 3: 28 días de siembra; Muestreo 5: 56 días de siembra y Muestreo 7: 85 días de siembra).

- Cuadro 9.** Problemas, causas y acciones estratégicas obtenidos del análisis de la información recabada durante la investigación y periodo de crecimiento del cultivo de camarones en Isla Venado por medio de la cooperativa Coopeacuicultores RL. 62
- Cuadro 10.** Análisis financieros con margen de sensibilidad de flujos de caja con indicadores VAN y TIR a 5 años. Se muestra el escenario real de la investigación, los ajustados a cada densidad y análisis sin venta al turismo con y sin ajuste del porcentaje de venta para carnada. 65
- Cuadro 11.** Características fisicoquímicas reportadas en la literatura para el cultivo de *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes y estanques de camarón. 69

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b>	Morfología de un camarón peneido. Fuente: FAO. (1995).	14
<b>Figura 2.</b>	Localización del proyecto de cultivo de camarones en jaulas flotantes en Isla Venado (Coopeacuicultores) y cultivo de camarones en estanques de tierra en Copal, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica (mapa: elaboración propia).	25
<b>Figura 3.</b>	Recintos de cultivo de camarón blanco en la granja marina de Isla Venado. A) Jaulas de fibra de vidrio con tapa de sarán, B) Malla antiáfido para la siembra de la postlarva y C) malla alquitranada para la fase de engorde. Fotografías tomadas por el investigador.	26
<b>Figura 4.</b>	Estanque de cultivo de camarón blanco en Copal de Nicoya. Fotografías tomadas por el investigador.	26
<b>Figura 5.</b>	A) Proceso de empaque y B) Cajas de transporte (laboratorio de venta de semilla de camarón. C, D, E) Aclimatación y siembra de las post larvas en el estanque (Copal) y las jaulas (Isla Venado) respectivamente. Fotografías tomadas por el investigador.	28
<b>Figura 6.</b>	Esquema de las jaulas empleadas. Jaulas 1, 4 y 7: Tratamiento 1. Jaulas 2, 5 y 8: Tratamiento 2. Jaulas 3, 6 y 9: Tratamiento 3. Vista aérea del sitio de cultivo en jaulas flotantes (Fotografía cortesía del Parque Marino del Pacífico).	29
<b>Figura 7.</b>	Alimento elaborado a partir de residuos de la pesca, procesado por grupo de mujeres en Isla Venado y utilizado durante el periodo de crecimiento de camarones. Fotografías tomadas por el investigador.	31
<b>Figura 8.</b>	Proceso de toma de datos de crecimiento en ambos sitios de muestreo (Isla Venado y Copal) durante los días de muestreos. Fotografías capturadas por el investigador.	32
<b>Figura 9.</b>	Proceso de cosecha total de la producción de camarón en jaulas flotantes (a, b, c, d, e y f) y en estanque de tierra (g y h). Fotografías capturadas por el investigador.	34

<b>Figura 10.</b>	Equipo utilizado para la medición de parámetros fisicoquímicos en ambos sitios de cultivo. Fotografías capturadas por el investigador.	34
<b>Figura 11.</b>	Exposición de resultados del cultivo de camarones desarrollado por la cooperativa COOPEACUICULTORES R.L de Isla Venado. Fotografía capturada por el investigador.	44
<b>Figura 12.</b>	Caracterización fisicoquímica del agua en las jaulas flotantes y en estanque de camarones. A. Salinidad (ups), B. Oxígeno disuelto (mgL-1), C. Temperatura (°C), D. pH, E. Disco Secchi (m).	46
<b>Figura 13.</b>	Modelo aditivo generalizado para los datos de crecimiento de <i>L. vannamei</i> . Tratamiento 1, 2 y 3 (Jaulas flotantes en Isla Venado). Tratamiento 4 (Estanque en Copal).	47
<b>Figura 14.</b>	Crecimiento promedio de los camarones (promedio, barras representan el error estándar (EE)) de las jaulas flotantes (Isla Venado) y finca camaronera (Copal). A: Tratamiento 1 (jaula 1, 4 y 7); B: Tratamiento 2 (Jaula 2, 5 y 8); C: Tratamiento 3 (Jaula 3, 6 y 9); y D. Estanque (Finca).	48
<b>Figura 15.</b>	Relación talla (cm) y peso (g) de los camarones en los diferentes tratamientos en jaulas flotantes y en estanque durante el periodo de crecimiento. A: Tratamiento 1. B: Tratamiento 2. C: Tratamiento 3. D: Estanque en tierra.	50
<b>Figura 16.</b>	Efecto de la Salinidad (ups), Temperatura (°C) y profundidad del disco secchi (m) sobre el crecimiento de los camarones para el modelo gam.	52
<b>Figura 17.</b>	Detección de agentes infecciosos en agua por qPCR: Amarillo: WSSV, Verde: IHHNV, Café: AHPND y azul: NHP. Las amplificaciones de los controles positivos se dieron en los ciclos 19 a 27. La amplificación del agua de laboratorio amplificó en el ciclo 35 para IHHNV.	56
<b>Figura 18.</b>	Detección de IHHNV en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: amplificación entre los 18 y 19 ciclos. Positivos en jaulas con amplificaciones entre los 23 y 39 ciclos. Positivos en estanque con amplificación entre 29 a 37 ciclos. Muestreo 7, día 85 de siembra.	57

- Figura 19.** Detección de AHPND en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: con amplificación a los 15 ciclos. Positivos en estanque con amplificación en ciclos 35 y 36. Muestreo 3, día 28 de siembra. 57
- Figura 20.** Detección de NHP en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: con amplificación en ciclos 17. Positivos en estanque con amplificaciones entre los 23 y 38 ciclos. Muestreo 7, día 85 de siembra. 58
- Figura 21.** Presencia de IHHNV en camarones con electroforesis en gel de agarosa de los productos de PCR de estanque de Copal y camarones de jaulas flotantes de Isla Venado de Costa Rica. C+: Control positivo, C-: Control negativo, M: marcador de peso molecular de 100 Kb. Muestras de camarones en Copal (1, 2, 3 (M7: día 85), 4, 5, 6 (M5: día 57)). Muestras de camarones en jaulas flotantes (7, 8, 9 (M3: día 28), 10: muestra de agua del laboratorio de producción de post larvas. 59
- Figura 22.** Presencia de NHP en camarones con electroforesis en gel de agarosa de los productos de PCR del cultivo en Copal: C+: Control positivo, C-: Control negativo, M: marcador de peso molecular de 100 Kb, Muestras de camarones: 1, 2, 3 (M7: día 85), 4, 5 y 6 (M5: día 57). 60
- Figura 23.** Presencia de granulomas en hepatopáncreas de *L. vannamei*, hallazgo típico de NHP. Flechas: granulomas, aumentado en recuadro. Tinción con hematoxilina y eosina. 61
- Figura 24.** Cuerpos de inclusión intranucleares (resaltado) en células branquiales de *L. vannamei*, hallazgo típico de IHHNV. Tinción con hematoxilina y eosina. 61

## LISTA DE ABREVIATURAS

AHPND	Necrosis aguda del hepatopáncreas
°C	Grados centígrados
ADN	Ácido desoxirribonucleico
EMS	Síndrome de la mortalidad temprana
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
G	Gramos
Ha	Hectáreas
IHHNV	Virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa o síndrome del enanismo
INCOPESCA	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
Ind	Individuo
kg	Kilogramo
kpb	Mil pares de bases
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Máx.	Máximo
mgL <sup>-1</sup>	Miligramo por litro
Mín.	Mínimo
Mm	Milímetro
NHP	Hepatopancreatitis necrotizante
Nm	Nanómetro

OMSA	Organización Mundial de Sanidad Animal
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa punto final
PL	Postlarva
ups	Partes por millón
qPCR	Reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real
SENASA	Servicio Nacional de Salud Animal
T	Toneladas
WSSV	Virus del síndrome de la mancha blanca

## INTRODUCCIÓN

A pesar del aumento del esfuerzo pesquero y de la explotación de nuevas poblaciones de organismos marinos, la pesca mundial extractiva se ha mantenido estancada desde la década de los 90's (FAO, 2020). En consecuencia, la producción pesquera no avanza acorde con las necesidades mundiales de alimentación, por lo que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) advierte que para el año 2030 habrá un déficit cercano a 40 millones de toneladas (t) de pescado.

Esta tendencia, sumada al aumento del consumo per cápita de pescado en el año 2020 (20,5 kg) y al crecimiento demográfico mundial (estimado en 9,700,000,000 de personas para el 2050) han dado un impulso significativo a la acuicultura ubicándola como la actividad del sector agropecuario con mayor tasa de crecimiento en las últimas décadas (FAO, 2020).

La maricultura es una actividad de negocio estratégica para cubrir las necesidades de alimento, generar riqueza y empleo en las zonas costeras. Muestra un importante crecimiento en el siglo XXI y se proyecta que sea capaz de generar los productos marinos que cada país con costa requiere. Se estima que esta actividad puede brindar cerca de 15 mil millones de toneladas anuales de producción, más de 100 veces el consumo actual de pescado y mariscos en todo el mundo (Gentry *et al.*, 2017; Jouffray *et al.*, 2020).

Entre las especies cultivadas en aguas marinas destaca el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, una de las especies más importantes de la acuicultura mundial gracias a la rentabilidad de sus cultivos. Esta especie es especialmente cultivada en Asia y América Latina, siendo China el principal productor, seguido de Ecuador y México. En el 2018 la producción mundial ascendió a 4.9 millones de toneladas generando miles de empleos en las zonas costeras (De La Rosa-Vélez y Bonami, 2006; FAO, 2020; Moustafa *et al.*, 2020).

En América Latina el cultivo de camarón blanco ha tenido un importante mercado de exportación hacia los Estados Unidos, con un aumento reciente hacia mercados de Europa y Japón, aportando alrededor del 15% de la producción mundial, siendo Ecuador, México, Honduras, Nicaragua y Brasil los principales productores, sumando más de 300 000 hectáreas (ha) de cultivo (Morales-Covarrubias *et al.*, 2018). No obstante, con la intensificación de los cultivos fueron apareciendo una gran diversidad de enfermedades, en su mayoría provocadas por virus que en algunos casos han afectado significativamente la rentabilidad de los proyectos relacionados con su producción (Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2013).

En Costa Rica, la producción de camarón blanco se concentra en el Golfo de Nicoya, con algunos cultivos en el pacífico central y zona sur del país. Los sistemas de producción son mayormente semi-intensivos. Esta actividad tomó auge a finales del siglo pasado, pero su producción se ha estancado debido a restricciones ambientales para su crecimiento en zonas marítimo-terrestres, poco avance tecnológico en las fincas camaroneras, por la competencia del producto legal-ilegal ingresado desde el extranjero, por efectos del cambio climático y por las enfermedades especialmente virales (Otárola, 2008; Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019).

La enfermedad con mayor impacto ha sido la enfermedad viral síndrome de la mancha blanca (WSS) que generó en el 2000 altos porcentajes de mortalidad (60 a 70%) (SENASA, 2010). Actualmente la mancha blanca se considera una enfermedad endémica, que ocurre cuando los factores ambientales y nutricionales son desfavorables (SENASA, 2010).

Otra de las enfermedades con mayor repercusión actualmente es el síndrome de la mortalidad temprana (EMS) o síndrome de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND), ocasionada por la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, que puede provocar mortalidades totales principalmente en los primeros 30-40 días de cultivo (Ananda *et al.*, 2017; Theethakaew *et al.*, 2017).

Recientemente, se detectó en el Golfo de Nicoya *Hepatobacter penaei*, agente causal de la hepatopancreatitis necrotizante (NHP) (Varela-Mejías y Peña-Navarro, 2015) y el linaje III del virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV) (Parajeles-Mora *et al.*, 2021).

Debido a un vacío de notificaciones de enfermedades presentes en el país y a mortalidades reportadas en camaróneras en el Golfo de Nicoya en los últimos años, resulta necesaria la implementación de controles rutinarios y la aplicación de buenas prácticas de cultivo. A pesar de lo anterior, la producción de camarón blanco en Costa Rica sigue siendo importante, en el 2018 representó el 13% de la producción acuícola total del país con 2 689 t. Sin embargo, la tendencia es a una baja continúa, ya que la producción descendió a 2 500 t en el 2019 (Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019; SEPSA, 2020).

Debido a las regulaciones ambientales que impiden la extensión e intensificación del cultivo de camarón blanco en zonas de manglar, se ha considerado como una opción, llevar los cultivos directamente al mar a través del uso de jaulas flotantes y con ello no solamente brindar una oportunidad para el aumento en la producción a los productores actuales, sino también, para la generación de proyectos dirigidos especialmente al sector pesquero artesanal. En Costa Rica el impacto sobre las pesquerías ha perjudicado especialmente a este sector, incidiendo directamente en su economía familiar, por lo que estos pescadores han tenido que buscar alternativas productivas para hacerle frente al problema del desempleo (Salazar-Araya, 2012; González *et al.*, 2017).

Varias alternativas en acuicultura marina se han desarrollado desde los años noventa con el objetivo de trasladar pescadores de una actividad extractiva a una productiva, iniciativas especialmente impulsadas en Costa Rica por la Universidad Nacional y el Parque Marino del Pacífico. Estas instituciones con la colaboración de otras instituciones estatales han logrado desarrollar tecnologías de producción de la ostra japonesa *Crassostrea magallana* y el pargo manchado *Lutjanus guttatus*, logrando la producción de semilla y juveniles en laboratorio y desarrollando proyectos de granjas marinas con organizaciones de pescadores artesanales y el sector privado, demostrando

la factibilidad de generar empleo (Alfaro *et al.*, 2017; Chacón-Guzmán *et al.*, 2021; Herrera-Ulloa *et al.*, 2009, 2010).

Los resultados han sido positivos y por ello se pretende diversificar la actividad con otras especies, cómo el caso del camarón blanco, por lo que este trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad técnica, sanitaria y financiera del cultivo intensivo de camarón blanco (*L. vannamei*) en jaulas flotantes, cómo alternativa productiva para el sector pesquero artesanal en Costa Rica.

## ANTECEDENTES

La primera especie en ser estudiada para cultivo en granjas marinas en Costa Rica fue la ostra de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Cabrera *et al.*, 1983; Urpí *et al.*, 1983; Quesada *et al.*, 1985). A partir de estas experiencias la Universidad Nacional decide iniciar investigaciones para adaptar la tecnología de cultivo de la ostra japonesa *Crassostrea magallana* logrando su reproducción en laboratorio e iniciando su cultivo en el mar en la zona de Paquera, situada en la Península de Nicoya. Esta actividad demostró ser factible para generar empleo en las zonas costeras por lo que ha recibido un importante apoyo del Estado Costarricense.

Gracias a este respaldo ha sido posible el desarrollo de diferentes estudios y proyectos de “granjas marinas de cultivo” con pobladores de la zona costera (Alfaro *et al.*, 2017; Arias, *et al.*, 1998; Vega-Corrales y Marín-Vindas, 2014; Pacheco-Urpí y Ulate-Garita, 2016; Rodríguez y Pérez, 2017; Quesada-Céspedes, 2018).

El pargo manchado *Lutjanus guttatus* es una especie nativa considerada como alternativa productiva de interés social, con un atractivo mercado local y de exportación a EE. UU (Chacón-Guzmán, 2010). Su investigación para cultivo data de finales de la década de los noventa en donde la Universidad Nacional y el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA) realizaron pruebas de reproducción y crecimiento en jaulas y laboratorio (Paulette y Abarca, 1998; Valverde-Chavarría y Boza-Abarca, 1999; Vargas y Delgado, 1998).

Las investigaciones se intensificaron en la década del 2000 y con la implementación de actividades de investigación y producción en el Laboratorio de Acuicultura y Biotecnología Marina del Parque Marino del Pacífico se logró establecer una tecnología base que permitió entre el 2005 y 2006, producir los primeros 45 000 juveniles y de este modo implementar la primera granja comercial de pargo administrada por pescadores de bajos ingresos socioeconómicos en el Golfo de Nicoya. En el 2011, se implementó un nuevo proyecto integrado con actividades turísticas generando una rentabilidad positiva en los proyectos de esta índole, lo que ha motivado un mayor interés

por diversificar esta actividad con otras especies como el camarón blanco (*L. vannamei*) (Chacón-Guzmán *et al.*, 2010, 2021, Herrera-Ulloa *et al.*, 2009, 2010).

El cultivo y la producción comercial de camarón blanco en el país se ha realizado principalmente en estanques, con la excepción de algunas pruebas de cultivo en jaulas flotantes. Los primeros esfuerzos de producción fueron llevados a cabo en Chomes, Puntarenas, en la década de los 70's por la empresa Acuicultura Internacional S.A. Durante la siguiente década, salineros del Golfo de Nicoya establecieron cultivos extensivos de subsistencia y se instaló en el país Cosechas Marinas S.A., el primer laboratorio con un ciclo cerrado para la producción de post larvas de la especie *L. vannamei* (Mena, 1987; Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2013).

En décadas posteriores el cultivo de camarón se expande a varias zonas del país, pero su producción se estanca y tiende a disminuir por varios factores, entre los que se pueden citar: restricciones ambientales para su extensión, enfermedades, poco avance en tecnificación del cultivo, insuficiente extensión de conocimiento universitario hacia los productores, entre otros (Otárola, 2008; Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019; Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2013).

Cómo alternativa a los cultivos en estanques, varios países en América Latina han realizado pruebas de cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes, no obstante, aún se considera necesario optimizar esta tecnología ya que se tiende a desarrollar erróneamente el cultivo siguiendo protocolos similares a los utilizados en los estanques, omitiendo que las condiciones en jaulas marinas son significativamente distintas.

En México durante el 2006 se realizó un proceso de cultivo en jaulas flotantes en el mar. Durante los primeros 30 días mantuvieron una densidad de 700 PL/m<sup>2</sup>, luego se dividieron en densidades de 100, 150 y 200 ind/m<sup>2</sup>. Los resultados demostraron mayor crecimiento en densidades de 100 ind/m<sup>2</sup> con supervivencias mayores al 90% (Zarain-Herzberg *et al.*, 2006). También en México se realizaron pruebas consideradas exitosas con resultados de 4.4 y 5 kg/m<sup>2</sup> luego de 62 días de cultivo con densidades iniciales de 420 y 560 juveniles/m<sup>2</sup> respectivamente (Zarain-Herzberg *et al.*, 2010).

En Perú, en el 2009 se utilizaron jaulas para el cultivo de camarón blanco con capacidad de 2.7 m<sup>3</sup> y 4 densidades de siembra (200, 400, 600 y 800 ind/m<sup>2</sup>). El periodo de muestreo duró 2.5 meses y no se encontraron diferencias significativas entre las densidades utilizadas, pero sí con respecto al factor de conversión alimenticia siendo mejor en la densidad menor de 200 ind/m<sup>2</sup> (Ramírez, 2019). Igualmente, en Perú, después de un estudio sobre densidad de siembra en etapa de engorde de *L. vannamei* en jaulas flotantes, se obtuvieron mejores resultados de crecimiento en la densidad más baja (125 ind/m<sup>2</sup> y 225 ind/m<sup>2</sup>), con pesos finales de 14 g. y 11,7 g., con una supervivencia de 21.16% y 10.5% y un factor de conversión alimenticio de 4.8 y 14.3 respectivamente. Esto durante un periodo de 85 días (Gavidia, 2018).

Para el caso de Costa Rica, se han realizado estudios que han permitido inferir que esta actividad podría optimizarse (adaptarse a las condiciones de cultivo en el mar) y presentar rendimientos aceptables. Radulovich & Fuentes-Quesada; (2019) reportaron el cultivo artesanal a pequeña escala de camarón blanco en seis comunidades pesqueras con jaulas flotantes de bajo costo en el Golfo de Nicoya. Los resultados obtenidos mostraron una media en la cosecha de 12 g/camarón (4.05±1.16 kg/m<sup>3</sup> después de 121 días), con 59.7±6.4% de supervivencia media, la tasa de crecimiento entre 1.0 y 18.0 g. fue de 1.1 g semana<sup>-1</sup>. Las post larvas se alimentaron con pienso concentrado en polvo hasta 0.1 g. momento en que se cambiaron a una dieta de solo descartes de pescado y subproductos de pescado, la tasa de conversión (FCR) fue de 6.0±0.4.

El estudio realizado por Radulovich & Fuentes-Quesada; (2019) demostró que el cultivo de camarón en jaulas podría ser factible en términos comerciales especialmente vendiendo los camarones para carnada, sin embargo, quedaron de manifiesto algunos aspectos que podrían mejorarse significativamente para brindar resultados concluyentes.

Por lo anterior, la presente investigación ha considerado varios aspectos relevantes técnicos y administrativos del cultivo, entre ellos:

a) Cultivo a diferentes densidades en una sola ubicación con condiciones similares.

b) Diseño y utilización de jaulas de mayores dimensiones (área y volumen) que permitan mejorar y adaptar la producción a posibles condiciones reales.

c) Mayor número de repeticiones en iguales condiciones de cultivo que permitan resultados concluyentes en términos estadísticos.

d) Dieta elaborado con desechos de la pesca, harinas y suplementos alimenticios, con una formulación establecida previamente, con características propicias para su uso en jaulas marinas e invariable durante el cultivo, de manera que se pueda determinar su efecto en el crecimiento y que permita a su vez por medio de la determinación de su composición, ser mejorada en procesos de cultivo posteriores según los resultados.

e) Diagnóstico y comparación en jaulas y estanque de la presencia de agentes infecciosos en los organismos en cultivo por medio de técnicas como la reacción en cadena de la polimerasa punto final (PCR) y en tiempo real (qPCR) y secuenciación.

Finalmente contempla un análisis de rentabilidad por medio de indicadores financieros (VAN y TIR) relacionados al flujo de efectivo neto del proyecto.

## JUSTIFICACIÓN

El sector pesquero artesanal en Costa Rica se ha visto afectado por varios factores que lo han llevado a condiciones sociales de pobreza y exclusión, entre ellos, el “nuevo modelo económico” implementado desde mediados de los 80’s, basado en un cambio en la estructura productiva en el que se le da mayores incentivos a la agroindustria, la maquila y el turismo (todas vinculadas a empresas transnacionales), acelerando el despojo y desplazamiento de las actividades tradicionales campesinas y pesqueras (Salazar-Araya, 2012).

Sumado a esto, el uso de artes de pesca ilegal, un aumento descontrolado de la flota pesquera artesanal, contaminación, cambio climático, el reajuste de los mercados laborales que no logran absorber toda la población desempleada y la migración rural-urbana, entre otros factores, han terminado por sofocar el sector y lo han llevado a condiciones de alarma social (Carvajal, 2013; González *et al.*, 2017; Moreno-Díaz y Alfaro, 2018; Salazar-Araya, 2012).

Ante estos escenarios, se han planteado alternativas como la “pesca responsable”, “iniciativas de administración de áreas para la extracción sostenible” por parte de grupos de pescadores artesanales. Sin embargo, este enfoque de “pesca responsable” ha sido interesante pero insuficiente, ya que no problematizan el papel del Estado en las políticas de exclusión económica y social (Salazar-Araya, 2012). En consecuencia, desde los años 90 el país busca otras alternativas productivas, entre ellas, la maricultura, una actividad generadora de empleo y riqueza en muchos países en el mundo (Krause *et al.*, 2015; FAO, 2020).

En este contexto, el cultivo de camarones en jaulas flotantes es una opción de maricultura que debe ser validada en términos técnicos y financieros. Con un análisis preliminar de esta iniciativa, es evidente que este cultivo presenta varias ventajas en comparación con el cultivo de estanques de tierra, lo que preliminarmente justifica la ejecución de esta investigación para determinar su factibilidad técnica y financiera:

- a. Posibilidad de expansión en diferentes áreas de la costa Pacífica de Costa Rica.
- b. Permitiría la generación de empleo a comunidades costeras y pescadores artesanales.
- c. Presentan disponibilidad de agua marina en todo momento, lo que permite una mayor producción por unidad de volumen (cultivo intensivo), con necesidades mínimas de espacio respecto a los estanques en áreas de manglar.
- d. Se prevé que el recambio de agua continua contribuye en la bioseguridad del cultivo en términos de las enfermedades comunes en estanques.
- e. La normativa nacional permite obtener concesiones de cultivo en el mar a costos muy por debajo de los costos de inversión de una finca camaronera.
- f. Favorece las áreas de pesca responsable al brindar carnada viva *in situ*, para la pesca con cuerda de mano dirigida a especies comerciales y turísticas.
- g. Pueden utilizarse como una fase de pre-cría, otorgando condiciones favorables a las post larvas en las primeras semanas de vida para luego trasladarlas a estanques de tierra, considerando que en las primeras semanas los organismos son más susceptibles a enfermedades que pueden estar presentes en las granjas camaroneras en tierra.
- h. Este tipo de granjas puede, igual que en los proyectos de pargo, combinarse con actividades turísticas mejorando los ingresos económicos y dando empleo indirecto al sector turístico.
- i. Los subproductos de la pesca podrían ser utilizados para la elaboración de alimento (economía circular), bajando los costos de producción y brindando un uso adecuado a subproductos normalmente desechados en el mar con su consecuente impacto ambiental.

Estos beneficios, sumados a varias experiencias realizadas en América Latina que califican el cultivo de camarón en jaulas como una posible alternativa, muestran el gran potencial de la actividad, especialmente para un sector pesquero artesanal que requiere de nuevas actividades productivas que le generen empleo.

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La acuicultura marina ha demostrado ser viable como fuente de ingresos económicos y capaz de generar empleo en comunidades de pescadores artesanales. La producción de camarón blanco en jaulas flotantes podría ser una de estas alternativas en función de la venta para consumo y para uso como carnada en el sector pesquero artesanal y turístico. No obstante, en Costa Rica, aún se desconoce la factibilidad técnica y financiera del cultivo a pequeña escala en condiciones comerciales reales de manejo por productores, así como, si las enfermedades comunes en los cultivos desarrollados en estanques prevalecen con la misma intensidad en las granjas marinas.

A raíz de este panorama se ha formulado la siguiente pregunta de investigación:  
¿Son los cultivos de camarón en jaulas flotantes una alternativa productiva viable para el sector pesquero artesanal del Golfo de Nicoya de Costa Rica?

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Valorar la factibilidad técnica, sanitaria y financiera del cultivo intensivo de camarón blanco (*L. vannamei*) en jaulas flotantes, como alternativa productiva para el sector pesquero artesanal en el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

### Objetivos específicos

1. Determinar el crecimiento y supervivencia del camarón blanco cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades de siembra.
2. Diagnosticar mediante la técnica de qPCR las principales enfermedades infecciosas que afectan a los camarones.
3. Analizar el rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar y compararlo con el de un estanque de cultivo de camarón en tierra.

## MARCO TEÓRICO

### 1. Taxonomía y morfología del camarón blanco *L. vannamei*

El camarón blanco *L. vannamei* es un decápodo que pertenece a la familia Penaeidae. Su morfología se compone de una parte anterior llamada cefalotórax (fusión de la cabeza y el tórax) en donde se encuentran los apéndices antenulares, maxilares y los pereiópodos. La parte media está dividida en seis segmentos (abdomen) que presentan un par de pleópodos cada uno, y una parte posterior formada por el telson y los urópodos (Figura 1). En la parte interna se conforma del hepatopáncreas, estómago, intestino y un sistema circulatorio abierto.

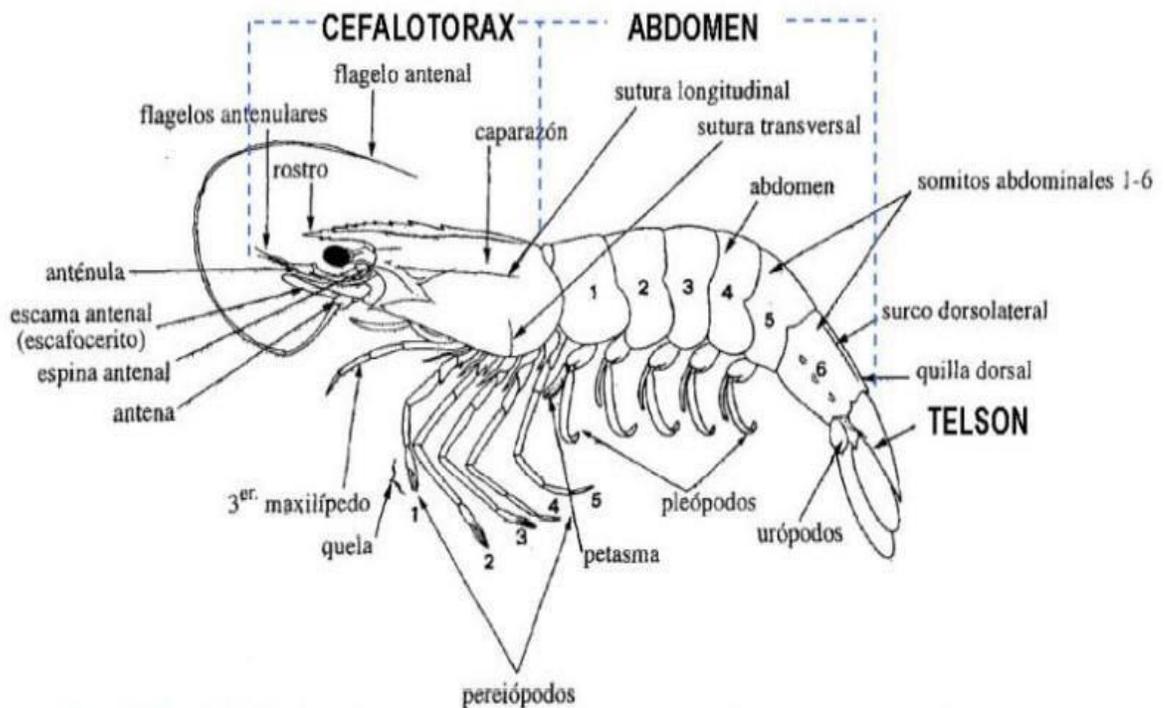


Figura 1. Morfología de un camarón peneido. Fuente: FAO (1995).

Posicionamiento taxonómico de *L. vannamei* (Boone, 1931).

**Reino:** Animal  
**Filo:** Artrópoda  
**Subfilo:** Crustácea  
**Clase:** Malacostraca  
**Orden:** Decápoda  
**Suborden:** Dendrobranquiata  
**Infraorden:** Caridea  
**Familia:** Penaeidae  
**Género:** *Litopenaeus*  
**Especie:** *Vannamei*

## 2. Ciclo de vida de *L. vannamei*

El camarón blanco se distribuye en el Océano Pacífico desde el norte de México hasta Perú, en aguas con temperaturas superiores a 20 °C. Es una especie marina donde los adultos se reproducen en mar abierto y las larvas migran a las costas donde pasan la etapa juvenil (estuarios, lagunas costeras y manglares). Los machos alcanzan una madurez a los 20 g. y las hembras a partir de los 28 g aproximadamente entre los 6 y 7 meses de edad, llegando a producir entre 250.000 huevos en su etapa reproductiva. En la etapa de metamorfosis (nauplio, protozoa, mysis y postlarva) pasa de hábitos planctónicos a bentónicos en las costas, donde se alimentan de detritos y otros organismos (FAO, 2020).

### 3. Cultivo de camarón

El cultivo en Costa Rica se caracteriza por una producción de uno a tres ciclos por año y el sistema de un solo ciclo de producción con cosechas parciales. En la producción con ciclos cortos (de tres a cuatro meses) se siembra entre 11 y 14 camarones por m<sup>2</sup> con dos a tres cosechas al año con un volumen de producción por ciclo que oscila entre 1.000 y 1.300 kg/ha, para un total entre 2.600 y 3.000 kg/ha/año, con una supervivencia de 50-80 %. Bajo el sistema de un ciclo anual con cosechas parciales en algunas fincas camaroneras (abarcan 7 a 8 meses del año) la supervivencia promedio es de 60% y la producción por hectárea es de aproximadamente 2.000 kg (Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019).

El cultivo de camarones en jaulas flotantes resulta beneficioso respecto al cultivo tradicional de estanques de tierra debido a que existe un recambio de agua continuo que mantiene las condiciones fisicoquímicas del agua sin grandes variaciones para el cultivo y un mayor aprovechamiento del área de la columna de agua, generando mayor área de producción que el utilizado en cultivos extensivos y semi-intensivos tradicionales (Zarain-Herzberg *et al.*, 2010), además de no presentar una deposición de sólidos en el fondo (Effendi *et al.*, 2016). Esta alternativa puede considerarse sostenible, pues favorece la reducción de los impactos ambientales causados por la industria de la camaronicultura (Lombardi *et al.*, 2006).

Su implementación resulta en un mecanismo eficiente para la prevención de enfermedades mediante la reducción de condiciones de estrés (Maheswarudu *et al.*, 2016), además de la factibilidad de integrar otros organismos como algas (Lombardi *et al.*, 2006) y ostras (Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019), creando sistemas multitróficos con incidencia en la reducción de impactos ambientales.

Uno de los retos de su utilización es la fabricación o uso de materiales que presenten flotabilidad, utilizando materiales como madera con soportes en poliestireno (Martinez-Cordova, 1988), tubos de PVC (Lombardi *et al.*, 2006; Paquette *et al.*, 1998), tubos de polietileno de alta densidad (HDPE) (Maheswarudu *et al.*, 2016) y madera, hierro reforzado y bambú (Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019).

#### **4. Agentes infecciosos causantes de enfermedades que afectan los cultivos de camarón en estanques.**

En un estudio realizado recientemente para determinar la situación sanitaria del camarón blanco en 15 estanques de zonas productivas de Costa Rica, se logró determinar la presencia de IHNV en un 86.7% (13/15) de las fincas analizadas, la presencia de bacterias de la especie *Vibrio* en un 40.0% (6/15), mientras que segmentos de los genes de las toxinas pirA-pirB y del plásmido pVPA3-1 de AHPND se detectó en un 33.3% (5/15) de las fincas. La presencia de WSSV se comprobó en una finca (6.7%), mientras que no se logró detectar la alfa proteobacteria que ocasiona la hepatopancreatitis necronizante (NHP) (Peña-Navarro *et al.*, 2020a; 2020b; Parajeles-Mora *et al.*, 2021). Las enfermedades frecuentemente reportadas en la región latinoamericana en el periodo 2000-2015 fue AHPND, seguida por NHP (Morales-Covarrubias *et al.*, 2018).

Eventualmente estas enfermedades se presentan después de eventos de estrés causados por mal manejo de los organismos, cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua o deficiencias en la alimentación, por lo que es de importancia implementar medidas de amortiguación para contrarrestar la aparición de enfermedades, reduciendo factores de estrés en los organismos con el objetivo de obtener un mayor rendimiento en la producción (Cuéllar *et al.*, 2010).

El virus que provoca el síndrome de la mancha blanca (WSSV) pertenece al género Whispovirus y a la familia Nimaviridae, con variación de cepas distribuidas en diferentes latitudes (Lo *et al.*, 2012). Este virus presenta una cadena de ADN doble, con un tamaño de genoma aproximado de 290 kbp, de forma elíptica a cilíndrica, con membrana trilaminar y los viriones con un tamaño de 80-120 x 250-380 nm. Su aparición se remonta a los años 1992-1993 en Asia, donde se dispersó rápidamente entre la industria camaronícola, abarcando el Indo Pacífico, China, Japón, Corea, Tailandia, Indonesia, Taiwán, Vietnam, Malasia e India (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014).

En el continente americano aparece en 1995 en Texas y a finales de 1999 es reportado el primer caso en América Central. Países como México, Nicaragua, Honduras, Costa Rica, Panamá, Ecuador, Perú, Colombia, Brasil, Arabia Saudita, Mozambique y Madagascar presentan la enfermedad en sus cultivos (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014).

Los individuos infectados pueden desarrollar falta de apetito, anorexia, letargia y los característicos puntos blancos entre otros síntomas clínicos (infección sintomática aguda), sin embargo, algunos individuos pueden desarrollar la enfermedad crónica y sobrevivir, incluso recuperarse totalmente (Lotz y Soto, 2002). Depósitos de sales de calcio en la epidermis cuticular forman los puntos blancos, deformaciones en los cromatóforos causan una coloración rojiza en el organismo (Gómez *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001; Cavalli *et al.*, 2008).

En una etapa avanzada de la enfermedad los camarones presentan nados erráticos en los bordes del estanque, finalmente se van al fondo y mueren (Bustillo *et al.*, 2009). En Costa Rica la enfermedad del virus de la mancha blanca se considera endémica, con reportes de la presencia desde el año 2000 en el Golfo de Nicoya causando mortalidades desde 60% a 70% de las producciones (SENASA, 2010).

El virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV) es un virus pequeño (20nm), con cadena sencilla de ADN, perteneciente al género *Penstlydensovirus* en la familia *Parvoviridae* (OIE, 2022). Posee una amplia distribución en América, Pacífico Central, Asia e Indo-Pacífico, con presencia en Estados Unidos, México, América Central, Ecuador, Perú, Brasil, islas del Caribe, Hawái, Guam, Tahití, Nueva Caledonia, Singapur, Filipinas, Tailandia, Malasia e Indonesia (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014).

En África se ha demostrado la presencia de una parte del genoma de IHHNV en poblaciones silvestres de *Penaeus monodon* (IHHNV no infeccioso) por lo que se han desarrollado técnicas para distinguir entre poblaciones sanas (IHHNV no infeccioso, son las que contienen las secuencias A y B) e infectadas (IHHNV infeccioso, son las que corresponden a los linajes I, II y III). En el *P. vannamei* cursa como una enfermedad crónica asociada al síndrome del enanismo ("Runt Deformity Syndrome" o RDS), los

organismos presentan rostros deformes, antenas arrugadas, caparazón áspero o rugoso, entre otras deformidades. En presencia de RDS los juveniles exhiben una distribución de tallas atípicas con diferencias muy marcadas (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014).

La necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) es causado por *Vibrio parahaemolyticus*; que coloniza las partes bucales, esófago y estómago de los camarones, y ocasiona enfermedad, al producir las toxinas pirA y pirB, que una vez en el hepatopáncreas producen la descamación de los túbulos y necrosis (Tran *et al.*, 2013). La enfermedad fue diagnosticada por primera vez en China en el 2009, luego en Vietnam, Malasia, Tailandia, y en América fue confirmada en México por el Dr. Donald V. Lightner en el 2013 (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014, Morales-Covarrubias *et al.*, 2018).

La enfermedad se presenta rápidamente con un aumento en la mortalidad entre los primeros 30 a 40 días de cultivo y puede afectar hasta el 100% de la población del estanque afectado. Entre los síntomas clínicos al inicio de la enfermedad pueden observarse organismos con nado en espiral, un crecimiento reducido, coloración pálida, hepatopáncreas reducido o atrofiado, textura blanda del exoesqueleto, manchas o rayas oscuras en el hepatopáncreas (visibles), y permanencia en el fondo del estanque (SENASA, 2020). Su aparición en México produjo altas mortalidades en etapas tempranas de cultivos semi-intensivos e intensivos en varios estados (Nayarit, México, región noroeste: Sinaloa y Sonora) abarcando el 90% de la producción (Morales-Covarrubias *et al.*, 2018).

La enfermedad hepatopancreatitis necrotizante (NHP) es producida por una alpha-proteobacteria pleomórfica que se considera un patógeno intracelular obligado, con formas de barra y helicoidal prevista de ocho flagelos ubicados en el ápice basal que le permiten la movilidad (Nunan *et al.*, 2013; Loy *et al.*, 1996b), clasificada recientemente como *Hepatobacter penaei* (Morales-Covarrubias *et al.*, 2018).

Su distribución geográfica se limita al hemisferio occidental. Fue reportada por primera vez en 1990 en Texas, luego se detectó en Perú, Costa Rica, Panamá, Brasil, Venezuela, Ecuador, México, Colombia, Belice, Nicaragua y Honduras; además existen reportes de NHP con altas mortalidades en África, que se asocian a factores ambientales

como elevadas temperaturas y altos niveles de salinidad durante periodos prolongados (Morales y Cuéllar-Anjel, 2014). Las bacterias producen granulomas en el hepatopáncreas, la enfermedad cursa con signos clínicos no específicos. En brotes severos y persistentes es capaz de ocasionar mortalidades de hasta un 90%.

## **5. Métodos moleculares de detección y diagnóstico de enfermedades**

Con la intensificación de los cultivos es de vital importancia el desarrollo de metodologías de diagnóstico para evaluar la presencia de virus o bacterias en los organismos y el seguimiento de la presencia de los agentes infecciosos en los sistemas de cultivo. Las herramientas moleculares para la detección y el diagnóstico de agentes infecciosos, como la amplificación de fragmentos genómicos selectos mediante el uso de oligonucleótidos específicos (iniciadores o *primers*) en la Reacción en Cadena de la Polimerasa (Polymerase Chain Reaction (PCR)) punto final o la PCR en tiempo real (qPCR), o la técnica de hibridación con sondas moleculares específicas sobre soporte sólido (Dot-Blot), presentan una alta sensibilidad y especificidad de aplicación (De La Rosa-Vélez y Bonami, 2006).

La técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) sigue una reacción bioquímica similar a la replicación del ADN *in vivo*. Una vez desnaturalizada la cadena de ADN, la polimerasa (ADN polimerasa) sintetiza cadenas complementarias con iniciadores específicos (Lightner & Redman, 1998) para los fragmentos de ADN. Esta técnica es de gran utilidad cuando se encuentra presente una baja concentración del agente infeccioso en los tejidos del camarón infectado. Básicamente con la presencia de una sola molécula de ADN la muestra es amplificada en 40 ciclos exponencialmente, contando finalmente con un millón de moléculas, que pueden ser visualizadas en un gel de agarosa mediante electroforesis (Cowley *et al.*, 2000). La alta sensibilidad de esta técnica permite la identificación de la WSSV en el mercado estadounidense en camarón congelado importado de Asia (Durand *et al.*, 2000).

La técnica de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (qPCR) utiliza un fluorocromo o sonda TaqMan que permite cuantificar la fluorescencia en la fase exponencial de síntesis. En ambos casos, se diseñan iniciadores específicos para

amplificar un fragmento no mayor de 150 pb (De La Rosa-Vélez y Bonami, 2006). En el caso de la sonda TaqMan, está se refiere al uso de un tercer iniciador específico. La qPCR utiliza los mismos ciclos de amplificación que la PCR (desnaturalización, alineamiento y extensión), con la diferencia de que al final de los ciclos no es necesario realizar una electroforesis para visualizar los segmentos amplificados, sino que el resultado final se presenta en un gráfico, mostrando en tiempo real el incremento del número de copias del ADN amplificados en cada ciclo (Servín-Vega, 2004). El qPCR se considera una técnica más sensible que el PCR convencional, sin embargo, no permite secuenciar los productos.

## **6. Análisis de factibilidad técnica y financiera**

Las pequeñas y medianas empresas (PyMES) cómo las asociaciones y cooperativas de acuicultura marina, son importantes para el sector productivo, puesto que contribuyen a la economía por su gran potencial de generar empleo, por producir ingresos y formar parte de la base para ampliar el sector privado (Palomo 2005; Castellanos 2003). Su conformación en cuanto a la funcionalidad y tamaño le permite ser competitivas en el ámbito económico, ya que esto les facilidad adaptarse a los cambios del entorno y a la capacidad de integrarse con otras PyMES para generar cadenas productivas (Castellanos 2003).

Sin embargo, estos emprendimientos productivos no están exentos de problemas. Palomo, (2005) explica dos enfoques que ayudan a identificar los problemas que enfrentan las PyMES; un enfoque “externo” al presentar problemas a nivel macroeconómico que no se pueden solucionar desde lo interno de una PyME y un enfoque “interno” que deriva del actuar propio de la PyME; en este último enfoque sí es posible buscar soluciones para enfrentar los problemas generados. Una de las principales debilidades identificadas, es la carencia de estudios de factibilidad técnica y financiera previo a la inversión y operación de este tipo de proyectos.

Es por esto, que la participación de la academia es primordial no solamente en la búsqueda de nuevas fuentes de diversificaciones productivas sino en acompañar los procesos iniciales de verificación de la factibilidad de cada proyecto, especialmente en el

sector pesquero artesanal, un sector sin margen de error debido a los escasos recursos económicos.

En este contexto, la aplicación de la TIR (tasa interna de rentabilidad o de retorno) y el VAN (valor actual neto) como indicadores financieros pueden ser útiles para consolidar una idea productiva previo a la inversión y operación de proyecto (Castillo y Martínez, 2011) ya que son necesarias para tomar decisiones y valorar o desvalorar si verdaderamente el proyecto es factible económicamente (Simisterra-Quíñonez *et al.*, 2018).

Ambos indicadores representan dinero en el tiempo, el VAN representa el dinero actual y cómo los flujos se percibirán en el futuro, el TIR se refiere a que la tasa de descuento de un proyecto debe ser igual a cero puesto que la TIR indica una medida relativa al tanto por ciento determinado si el proyecto es aceptado o rechazado (González, 2010), un valor de VAN mayor a cero muestra un excedente después de haber recuperado y remunerado todos los desembolsos a la tasa de descuento utilizada; un valor de VAN menor a cero significa que el flujo de beneficio no permitirá recuperar o remunerar la inversión a la tasa utilizada y un valor de VAN igual a cero indica la igualdad del flujo de beneficios netos a la tasa utilizada (Maldonado y Paredes, 2015). Siendo el VAN por lo general el mejor indicador en una toma de decisiones para decidir si un proyecto debe llevarse a cabo o no (Lledó, 2007).

En el caso del análisis de factibilidad técnica de proyectos de acuicultura marina tal como lo indica Chacón-Guzmán, (2010), es relevante la recopilación de información de diferentes fuentes. Una combinación de revisión de literatura de experiencias similares, análisis de expertos, los resultados propios de la investigación y la información recabada de talleres de discusión entre los principales actores permite identificar cuáles fueron los principales problemas, sus causas y con ello determinar las principales acciones estratégicas a aplicar para disminuir los impactos de los problemas identificados o lograr su desaparición.

Este trabajo se desarrolló con la Cooperativa Autogestionaria de Acuicultura, Pesca y Turismo Rural Comunitario (COOPEACUICULTORES R.L.), la cual fue fundada en el 2016 y está integrada por hombres y mujeres residentes de Isla Venado, Puntarenas. Su eje principal está orientado a la promoción del desarrollo de la maricultura en el Golfo de Nicoya, mediante la utilización de estructuras flotantes para el cultivo de camarones y otras especies.

Este proyecto productivo ha sido desarrollado dentro un programa de promoción de la acuicultura marina cómo alternativa productiva para las zonas costeras de Costa Rica, proyecto coordinado por el Parque Marino del Pacífico (MINAE) y con el aporte de la Universidad Nacional (UNA), el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), el Instituto Nacional de la Mujer (INAMU), el Sistema de Banca para del Desarrollo (SBD), el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPESCA), entre otros.

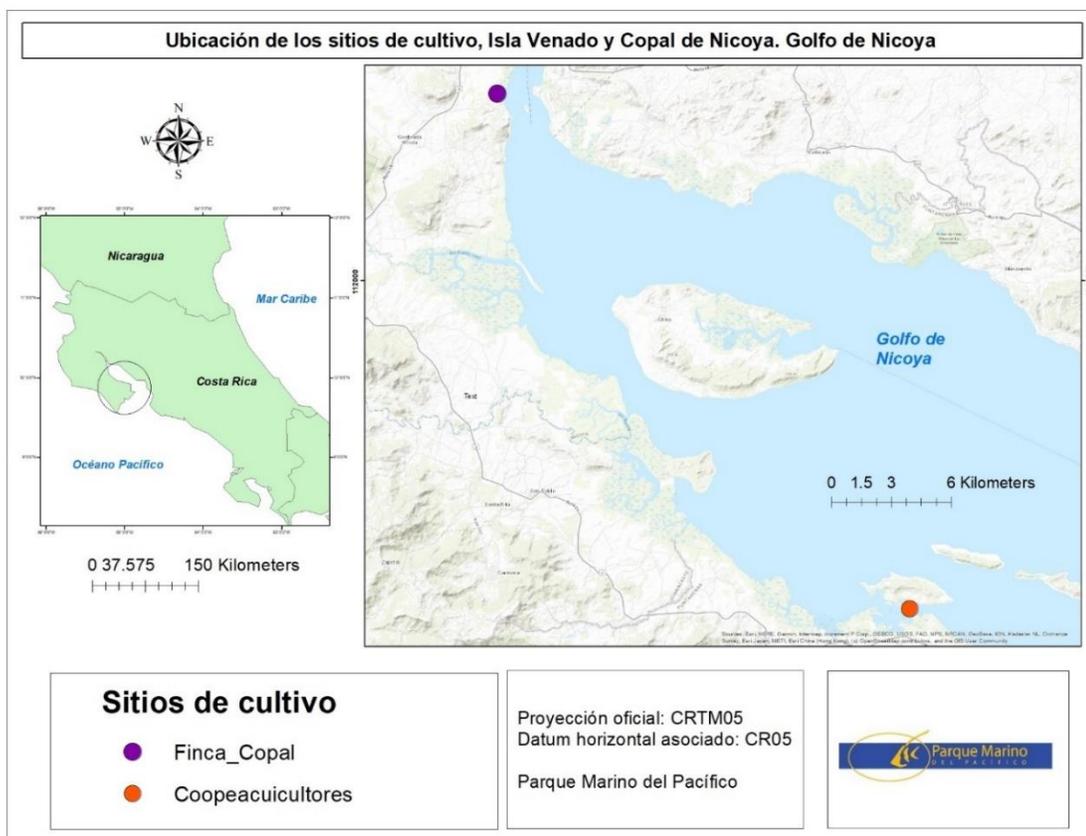
## MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación posee una aproximación experimental, puesto que la persona investigadora no solamente se encuentra en condiciones prácticas para ejecutar un experimento, sino que conoce también, en buena medida, la naturaleza del fenómeno que investiga (Baena, 2017). También, según esta misma autora, en investigaciones de carácter experimental se da el control riguroso de variables con la finalidad de describir de qué manera se producen situaciones o acontecimientos determinados.

Mediante un modelo investigativo mixto (combinación de una perspectiva cuantitativa y una cualitativa, con la finalidad de brindar mayor profundidad al análisis del fenómeno), fue posible realizar una valoración de la factibilidad técnica, sanitaria y financiera del cultivo intensivo de camarón blanco en jaulas flotantes, como una alternativa productiva para el sector pesquero artesanal del Golfo de Nicoya, Costa Rica.

### 1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo durante 98 días en una granja de cultivo ubicada en Isla Venado, Golfo de Nicoya (9°58' 31.79" Latitud Norte y 85° 4' 21.10" Longitud Oeste) y en un estanque de cultivo tradicional ubicado en Copal de Nicoya (10°10'27.8" Latitud Norte y 85°14'58.0" Longitud Oeste). Las jaulas flotantes están ubicadas en una zona de manglar, en condiciones de aguas someras, a una profundidad entre 7 y 10 metros, según variaciones de la marea. Por lo que se asume que las condiciones de las aguas tanto en las jaulas como en el estanque son típicas de zonas estuarinas y esteros de manglar (Figura 2).



**Figura 2.** Localización del proyecto de cultivo de camarones en jaulas flotantes en Isla Venado (Coopeacucultores) y cultivo de camarones en estanques de tierra en Copal, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica (mapa: elaboración propia).

## 2. Recintos de cultivo

En la granja marina se utilizaron 9 jaulas flotantes, cada jaula con una dimensión de 7 metros de largo por 4 metros de ancho, fabricadas completamente de fibra de vidrio, cubiertas con una tapa de malla sarán con 70% de retención de luz solar y ancladas con bloques de concreto al fondo marino con cabo de nylon de 1" de diámetro. En la primera etapa de siembra y crecimiento larval se utilizó una red antiáfidos plástica de 7 metros de largo por 3.5 metros de ancho por 2.8 metros de profundidad para un volumen total de cultivo de 68.6 m<sup>3</sup>. En la segunda etapa de engorde se utilizó una red de nylon de ½" alquitranada de 7 metros de largo por 4 metros de ancho por 2.8 metros de profundidad, resultando un volumen de agua disponible de 78.4 m<sup>3</sup> (Figura 3).



**Figura 3.** Recintos de cultivo de camarón blanco en la granja marina de Isla Venado. A) Jaulas de fibra de vidrio con tapa de sarán, B) Malla antiáfido para la siembra de la postlarva y C) malla alquitranada para la fase de engorde. Fotografías tomadas por el investigador.

El estanque de la finca camaronera se trabajó bajo un modelo de cultivo semi extensivo, con un tamaño aproximado de 1.5 ha. Es un estanque de tierra tradicional con una profundidad media de 1 m (Figura 4). Los recambios de agua se realizaron mecánicamente a través de la técnica de bombeo y por gravedad cada quince días, con un recambio del 40-50% del estanque; tomando en cuenta los cambios periódicos de los niveles del mar (mareas). Las post larvas fueron suministradas por el mismo laboratorio ubicado en Punta Morales, Puntarenas, del mismo lote adquirido para el cultivo en jaulas flotantes.



**Figura 4.** Estanque de cultivo de camarón blanco en Copal de Nicoya. Fotografías tomadas por el investigador.

### **3. Compra, traslado y siembra de las Post larvas de camarón**

Las larvas de camarón fueron compradas en uno de los laboratorios de producción ubicado en el Golfo de Nicoya. En la compra se indicó que el origen de la larva era nacional, ni los huevos o nauplios fueron comprados en el extranjero sino producidos localmente. Al momento de la compra las larvas PL-12 se tiene como referencia que cada gramo contenía un total aproximado de 300 post larvas. El transporte de las larvas hasta los sitios de siembra se realizó en cajas, cada una con una bolsa plástica con agua saturada de oxígeno, cada bolsa contenía 25.000 post larvas. Una vez en el sitio se aclimataron hasta igualar la temperatura y posteriormente se sembró la cantidad correspondiente en cada jaula y el estanque.

La temperatura de empaque se registró en 21 °C; en el estanque en finca la temperatura registrada fue de 30.1 °C. En este sitio se colocaron la totalidad de las larvas en un tanque de fibra de vidrio y se aclimató con recambios de agua hasta igualar temperaturas, una vez obtenida la temperatura deseada, la totalidad de larvas fue sembrada en un mismo punto del estanque por medio de un cachador pequeño (evitando introducir agua del tanque). Todo este proceso se realizó en el transcurso de 30 minutos.

En las jaulas flotantes la temperatura registrada fue de 27.8 °C. Las temperaturas de las bolsas que contenían las post larvas se registraron entre 22 y 25 °C, se dividieron las bolsas en cada una de las jaulas correspondientes y se mantuvieron en flotación con adición de agua para la aclimatación y obtener una temperatura igual al exterior. Todo el proceso de aclimatación duró 1 hora con 10 minutos.

Se sembró un total de 450.000 PL en 9 jaulas flotantes (3 jaulas con 25.000, 3 jaulas con 50.000 y 3 jaulas con 75.000) y un total de 175.000 PL en la finca de 1.5 hectáreas (Figura 5). Las post larvas utilizadas en la finca cómo en las jaulas provenían de un mismo lote de producción en laboratorio.



**Figura 5.** A) Proceso de empaque y B) Cajas de transporte (laboratorio de venta de semilla de camarón. C, D, E) Aclimatación y siembra de las post larvas en el estanque (Copal) y las jaulas (Isla Venado) respectivamente. Fotografías tomadas por el investigador.

#### 4. Diseño experimental

Consistió en la ejecución de cultivos de camarón blanco al mismo tiempo en dos sistemas de cultivo, A) Jaulas Flotantes, B) Estanque de tierra de finca camaronera.

Para determinar los efectos de la densidad de cultivo en el crecimiento y supervivencia en las jaulas se implementó un diseño experimental irrestricto al azar compuesto de 3 tratamientos con tres repeticiones cada uno (Figura 6).

Se utilizó una densidad de cultivo de 318 ind/m<sup>3</sup> (893 ind/m<sup>2</sup>) en el Tratamiento 1, 637 ind/m<sup>3</sup> (1.786 ind/m<sup>2</sup>) en el Tratamiento 2 y 956 ind/m<sup>3</sup> (2.678 ind/m<sup>2</sup>) en el Tratamiento 3, para una siembra total de 25.000 PL en cada repetición del Tratamiento 1, 50.000 PL en cada repetición del Tratamiento 2 y 75.000 PL en el Tratamiento 3, respectivamente. La distribución de las densidades fue totalmente al azar entre las 9 jaulas flotantes. En la finca camaronera la densidad de cultivo fue la misma que el acuicultor utiliza normalmente durante el periodo de siembra (11.6 ind/m<sup>2</sup>).



**Figura 6.** Esquema de las jaulas empleadas. Jaulas 1, 4 y 7: Tratamiento 1. Jaulas 2, 5 y 8: Tratamiento 2. Jaulas 3, 6 y 9: Tratamiento 3. Vista aérea del sitio de cultivo en jaulas flotantes (Fotografía cortesía del Parque Marino del Pacífico).

## 5. Alimentación

Durante el proceso investigativo, en ambos sistemas de cultivo se hizo uso de alimento comercial suministrado por Biomar de Costa Rica (Cuadro 1). En los primeros días se usó alimento iniciador con 35% de proteína con un tamaño de 1.5 x 1.2 (Exia Prime). Utilizando un comedero como testigo se aplicó una pequeña cantidad para monitorear la actividad alimenticia de los camarones, una vez que se observó que los camarones llegaron a comer (entre el octavo y décimo día) se inició con la aplicación de las raciones alimenticias hasta el día 30 de cultivo.

A partir del día 30 se usó una alimentación con un alimento con 35% de proteína y con un calibre de 1.8 x 3.5 (Exia Perform). Se utilizó una tasa de alimentación del 0.4 % hasta que los camarones alcanzaran los 6 g, luego se redujo a 0.3% según protocolo utilizado por el productor.

En las jaulas se colocaron seis comederos distribuidos en dos filas de tres en forma longitudinal. La ración alimenticia fue suministrada durante cuatro momentos al día (la última tanda de alimentación fue en horario nocturno para garantizar que los organismos se alimentaran en todo momento). Esta fue calculada cada catorce días por medio de los muestreos de peso de las jaulas 1, 2 y 3 correspondientes a cada uno de los diferentes tratamientos. Se usó una tasa de alimentación del 4% del peso promedio individual y calculada para un porcentaje de supervivencia entre 80%.

Durante el periodo de investigación también se implementó la elaboración de un alimento compuesto por descartes de la pesca; desechos de pescado provenientes de pescadores de Isla Venado se recolectaron y se molieron con un molino industrial (TALSA W98/32K), luego se le agregó un 20% de harina de soya (47% de proteína, 0.8% grasa cruda, 4.5% fibra cruda) y un 2% de vitaminas (P. FARMIX 4.8 TILAPIA). Todos estos ingredientes fueron molidos uniformemente y congelado hasta su uso (Figura 7). Este alimento se utilizó en menor proporción a partir del día 15 de cultivo en conjunto con el alimento comercial hasta el muestreo 6 (día 70 de crecimiento) y en mayor cantidad y frecuencia desde el muestreo 6 al 8.

**Cuadro 1.** Análisis proximal del alimento utilizado en la granja marina de Isla Venado durante el periodo de crecimiento de camarones.

Alimento	Proteína cruda (%min)	Grasa total (%min)	Humedad (%máx)	Fibra cruda (%máx)	Fósforo total (%min)	Vitamina E (UI/Kg)	Vitamina C (mg/Kg)	Cenizas %
Inicial Exia Prime	35	9	10	2	1	500	500	No indica
Engorde Exia Perform	35	6	10	4	1	150	200	No indica
Alimento fresco*	15.70 ± 0.53	2.22 ± 0.18	57.89 ± 0.68	No indica	No indica	No indica	No indica	5.45 ± 0.22

\* Alimento fabricado por un grupo de mujeres de Isla Venado con descartes de la pesca.



**Figura 7.** Alimento elaborado a partir de residuos de la pesca, procesado por grupo de mujeres en Isla Venado y utilizado durante el periodo de crecimiento de camarones. Fotografías tomadas por el investigador.

## **6. Crecimiento y supervivencia**

Para determinar el crecimiento de las post larvas de camarón en las jaulas flotantes se tomaron muestras cada catorce días en todas las repeticiones de los tratamientos. Se capturaron 30 organismos por jaula y con una toalla de papel se extrajo la mayor cantidad de agua superficial del organismo, los cuales fueron pesados individualmente en una balanza marca UNIWIGH con capacidad de  $500 \pm 0.1$  g y medidos en su longitud total con un vernier digital marca TRUPPER  $\pm 0.1$  mm. Una vez conocidos los pesos de todos los organismos se obtuvo el peso promedio ganado durante el periodo (Figura 8). Este mismo procedimiento se replicó para el cultivo de las post larvas en el estanque de tierra en Copal.



**Figura 8.** Proceso de toma de datos de crecimiento en ambos sitios de muestreo (Isla Venado y Copal) durante los días de muestreos. Fotografías capturadas por el investigador.

Todo este procedimiento fue completado en un periodo de 98 días y al finalizar el proceso (con la cosecha de todos los organismos) se conocieron los datos respecto al crecimiento, supervivencia y eficiencia de utilización de alimento (Figura 9), bajo los siguientes parámetros:

1. Ganancia de peso (GP): Ganancia en gramos promedio por camarón.

$$GP = Pf - Pi$$

Dónde:  $Pf$  = peso final del organismo,  $Pi$  = peso inicial del organismo.

2. Tasa de crecimiento (TCA%): La tasa de crecimiento representa el crecimiento promedio de los camarones expresado en porcentaje.

$$TCA\% = \left( \frac{Pf - Pi}{t} \right) * 100$$

Dónde:  $Pf$  = peso final del organismo,  $Pi$  = peso inicial del organismo

3. Tasa específica de crecimiento (TCE %): Determina el crecimiento promedio de los organismos por (semana, quincenal, periodo).

$$TEC\% = ((\ln Pf \text{ g} - \ln Pi \text{ g})/t) * 100$$

Dónde:  $Pf$  = peso final del organismo,  $Pi$  = peso inicial del organismo y  $t$  = tiempo.

4. Factor de conversión alimenticia (FCA): determina la cantidad de alimento en g necesario para que un organismo aumente una unidad de peso.

$$FCA = \frac{Aac \text{ g}}{lpc \text{ g}}$$

Dónde:  $Aac$  = Alimento aparente consumido y  $lpc$  = incremento en peso corregido.

5. Supervivencia (S%): corresponde al porcentaje de organismos vivos durante el periodo de ensayo.

$$S\% = \frac{Nf}{Ni} * 100$$

Dónde:  $Nf$  = número final de organismos y  $Ni$  = número inicial de organismos.

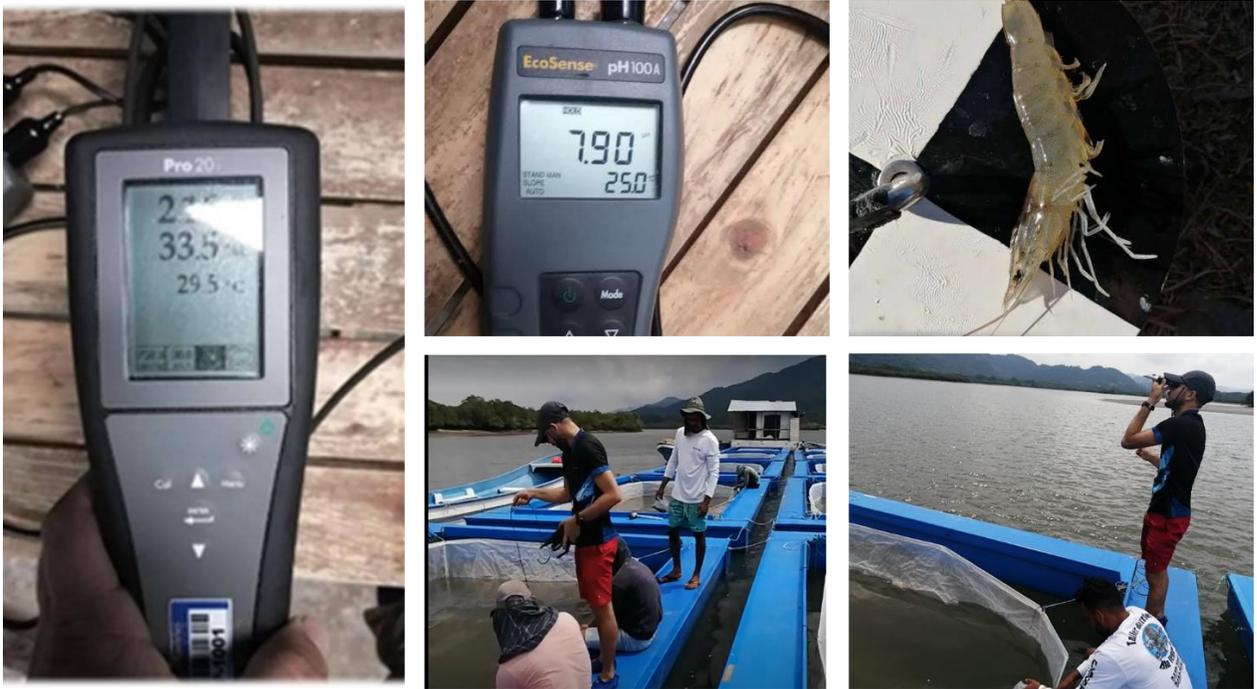
6. Con el peso ( $W$ ) y la longitud total ( $LT$ ) de cada periodo de muestreo se determinó el factor de condición ( $K$ ) de Froese (2006):

$$K = \left( \frac{W}{LT^3} \right) * 100$$

La medición de las variables fisicoquímicas (Figura 10) fue realizada cada catorce días (una única vez), iniciando el día de siembra. Los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ), fueron registrados mediante un oxigenómetro de marca YSI PRO20; los valores de pH del agua se determinaron haciendo uso de un sistema de medición portátil (pH-metro: ECOSENSE YSI, modelo Ph-100A); los porcentajes de salinidad (ups) superficial fueron calculados por medio de un refractómetro de luz modelo SR1 (Aquatic Eco-Systems) y la turbidez fue determinada manualmente con un disco secchi.



**Figura 9.** Proceso de cosecha total de la producción de camarón en jaulas flotantes (a, b, c, d, e y f) y en estanque de tierra (g y h). Fotografías capturadas por el investigador.



**Figura 10.** Equipo utilizado para la medición de parámetros fisicoquímicos en ambos sitios de cultivo. Fotografías capturadas por el investigador.

## 7. Diseño de estudio y toma de muestras para detectar la presencia de agentes infecciosos

Se realizó un estudio por conveniencia para determinar la presencia de agentes infecciosos (WSSV, IHHNV, AHPND y NHP) mediante qPCR y confirmación de los resultados mediante estudio histopatológico, PCR punto final y secuenciación. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó un método basado en criterios objetivos; buscando signos clínicos de presencia de un patógeno en una determinada población (Lightner, 1996 y modificada de Amos, 1985).

Para una prevalencia estimada del 2% y un 95% confianza se necesita un tamaño de muestra de 150 individuos en el cultivo jaulas flotantes y 150 individuos en el estanque de agua.

Para el cálculo de la prevalencia máxima se usó la siguiente fórmula:

$$n = \left(1 - \alpha^{\frac{1}{d}}\right) * \left(N - \frac{d-1}{2}\right)$$

Donde:

n: Tamaño de muestra necesario

$\alpha$ : error tipo 1: 1-NC (nivel de confianza)

d: mínimo número de animales enfermos esperados en la población

N: Tamaño de la población

La plataforma utilizada para el diseño es el programa WINEPI 2.0.

Los individuos se separaron en 30 grupos de muestras (cinco individuos por grupo = 1 *pool*) para un total de 60 grupos de muestras a analizar para cada día de muestreo (30 *pools* del cultivo de jaulas flotantes y 30 *pools* del cultivo en estanque tradicional). Las muestras se recolectaron siete veces en intervalos de catorce días hasta los 98 días de cultivo (tiempo de duración total del proyecto investigativo).

## Cálculo de prevalencia a partir de *pools* de muestras

OMSA recomienda la utilización de *pools* para el diagnóstico de enfermedades en poblaciones acuáticas en su Manual de Diagnóstico de Enfermedades; en este trabajo se utilizaron *pools* que integran 5 individuos, para estimar la prevalencia individual de la población muestreada se utilizará la siguiente fórmula:

$$P = 1 - \left( \frac{\text{Pools positivos}}{\text{Total de pools}} \right)^{\frac{1}{\text{tamaño del pool}}}$$

A cada grupo de cinco individuos se les extirparon los pleópodos, branquias, el hepatopáncreas y el estómago, los cuales fueron colocados en un tubo Eppendorf con alcohol al 70%, se trasladaron al laboratorio y se almacenaron a -20 °C hasta su análisis molecular. Adicionalmente se recolectaron cada catorce días cinco individuos de cada jaula flotante y del estanque, los cuales se sometieron en solución Davidson por 24 horas y se conservaron en alcohol 70% hasta su análisis histopatológico.

Para determinar la presencia de agentes infecciosos se tomó al inicio del experimento una muestra de agua del laboratorio, utilizada para la producción de post larvas, y una muestra de agua marina del lugar donde se situaron las jaulas flotantes (Isla Venado). Además, se tomó una muestra de lodo del estanque de tierra (previo al llenado) y una muestra de agua de dicho lugar. Todas estas muestras fueron recolectadas usando tubos estériles Eppendorf de 2 ml y conservadas a -20 °C para su posterior análisis. El día de la siembra de las post larvas se obtuvieron 10 muestras del lote adquirido (un total de 100 organismos por muestra) colocados en tubos estériles con alcohol al 70% y conservados también a -20 °C para posteriormente ser analizados.

## **8. Análisis moleculares para detectar la presencia de agentes infecciosos**

### 8.1. Extracción de ADN

Las muestras de agua recolectadas en el laboratorio, en la finca camaronera y en las jaulas flotantes se centrifugaron a 16000 g durante 10 minutos, y tanto el sedimento como el sobrenadante se sometió a extracción de ADN utilizando el kit DNeasy® Blood

and Tissue (Qiagen) siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Al final del procedimiento a cada muestra analizada se le cuantificó y verificó la calidad del ADN mediante el espectrofotómetro NanoDrop® ND-1000.

La extracción de ADN de la muestra de lodo, proveniente de la finca camaronera se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, al cual se le solicitó ese servicio.

De las larvas de camarón y de los pleópodos, branquias, hepatopáncreas y estómago de los camarones de cada día de muestreo (30 muestras del cultivo de jaulas flotantes y 30 muestras del cultivo de estanque) se extrajo 100 mg de muestra los cuales fueron sometidos a un lavado con fenol-cloroformo-álcohol isoamílico (50:48:2). Posteriormente, se sometieron a extracción de ADN utilizando el kit DNeasy® Blood and Tissue (Qiagen) siguiendo las instrucciones del fabricante. Al final del procedimiento se cuantificó y verificó la calidad del ADN (ng/μl) mediante el espectrofotómetro NanoDrop® ND-1000.

## 8.2. PCR en tiempo real (qPCR)

Las muestras se analizaron inicialmente mediante qPCR para detectar la presencia de los agentes infecciosos de WSSV (154 pb), IHHNV (81 pb), AHPND (135 pb) y NHP (144 pb), utilizando los protocolos recomendados por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA, 2022) con las siguientes modificaciones: el volumen de la reacción (15.5 μl) incluyó 10 μl de Maxima Probe/ROX qPCR Master Mix - 2X (Thermo Scientific, Waltham, USA), 1.0 μl de cada iniciador a concentraciones 5-20 pmol/μl, 0.5 μl de cada sonda a concentraciones 5-20 pmol/μl, 1 μl de ADN y 2 μl de agua grado biología molecular (Thermo Scientific).

Los pasos para la amplificación consistieron en una desnaturalización inicial de 95 °C por 10 min; seguido de 40 ciclos de desnaturalización de 95 °C por 15 s y alineamiento de 60 °C por 1 min. En el Cuadro 2 se describen los iniciadores y sondas TaqMan que se utilizaron en los diferentes qPCR. Se consideraron positivas muestras que amplificaron hasta los 40 ciclos para todos los agentes.

**Cuadro 2.** Secuencias de iniciadores y sondas TaqMan utilizadas en la detección de WSSV, IHHNV, AHPND y NHP mediante la técnica de qPCR.

Agente	Gen	Iniciadores	Sonda TaqMan	Referencia
WSSV	Proteína estructural	Forward 5' (RT-WSSV-F154) 5'-CCAGTTCAGAATCGGACGTT-3'  Reverse 3' (RTWSSV-R154) 5'-AAAGACGCCTACCCTGTTGA-3'	RT-WSSV-TP154 5'-TCCATAGTTCCTGGTTTG TAATGTGCCG-3'	Jang <i>et al.</i> , 2009
IHHNV	Proteína no estructural	Forward 5' (IHHNV1608F) 5'-TACTCCGGACACCCAACCA-3'  Reverse 3' (IHHNV1688R) 5'-GGCTCTGGCAGCAAAGGTAA-3'	PROBE.IHHNV.1688 5'-ACCAGACATAGAGCTACA ATCCTCGCCTATTTG-3'	Tang and Lightner (2001)
AHPND	Plásmido Pvpa3-1	Forward 5' (VpPirA-F) 5'-TTGGACTGTCTGAACCAAACG-3'  Reverse 3' (VpPirA-R) 5'-GCACCCCATTGGTATTGAATG-3')	PROBE.VpPir 5'-TCAGCGTATTGTTGTAAT TA- 3'	Han <i>et al.</i> (2015b)
NHP	16S rRNA	Forward 5' (NHPB396) 5'-CGATAATGACGGTAGCAGGACAA- 3'  Reverse 3' (NHPB539) 5'-CCCAGGGCTTTCACÁCCTTG-3	PROBE.NHPB396 5'CTGGGCGTAAAGGGTGCG TAGGCG-3'	Loy <i>et al.</i> (1996a)

### 8.3. PCR punto final y secuenciación

Muestras que resultaron positivas en el qPCR se analizaron mediante PCR punto final, utilizando los protocolos descritos en el Cuadro 3. Los productos se visualizaron mediante electroforesis (100 voltios por 45 minutos) en gel de agarosa al 1%, en amortiguador TBE 0.5x (Tris Base, ácido acético glacial, EDTA pH 8, 0.5 M) teñidos con Gel Red (0.5 µg/mL). Como marcador de peso molecular se utilizó GenRuler 100 bp DNA Ladder Plus (ThermoScientific, Waltham, USA) (Dhar *et al.*, 2001). Los segmentos amplificados con un tamaño 379 pb para WSSV, 389 pb para IHHNV, 470 pb para AHPND y 379 pb para NHP se consideraron positivos y se enviaron a Macrogen (Seoul, Corea) para su purificación y secuenciación.

Las secuencias parciales obtenidas se alinearon con el programa BioEdit Sequence Alignment Editor® y se compararon mediante el algoritmo BLASTn (Joshi *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2015a) con la base de datos del NCBI (National Center for Biotechnology Information).

**Cuadro 3.** Gen para amplificar, secuencias de iniciadores y protocolos de amplificación utilizados para detectar WSSV, IHHNV, AHPND y NHP mediante la técnica de PCR punto final.

Agente	Gen	Secuencia	Protocolo de amplificación	Referencia
WSSV	VP41B	F002 5'-GATGAGACAGCCC AAGTTGTTAAAC-3'	10 min de desnaturalización inicial a 95°C, 35 ciclos repetidos de desnaturalización (95°C por 45 s), alineación (55°C por 1 min) y extensión (72°C por 2 min) y una temperatura final de extensión de 72°C por 7 min.	Dhar <i>et al.</i> , (2001)
		R002 5'-CGAAATTCCATCAC TGTAATTGCTTG-3'		
IHHNV	ORF1 Proteína no estructural	389F 5'-CGGAACACAACCCGA CTTTA-3'	3 min de desnaturalización inicial a 95°C, 35 ciclos repetidos de desnaturalización (95°C por 30 s), alineación (55°C por 30 s) y extensión (72°C por 30 s) y una temperatura final de extensión de 72°C por 5 min	Cowley <i>et al.</i> , (2018)
		389 R 5'-GGCCAAGACCAAAATA CGAA-3'		
AHPND	Plásmido pVA-1	89F 5'-GTCGCTACTGTCTAGCT GAA-3'	3 min de desnaturalización inicial a 95°C, 35 ciclos repetidos de desnaturalización (95°C por 30 s), alineación (58°C por 30 s) y extensión (72°C por 45 s) y una temperatura final de extensión de 72°C por 5 min	Nunan <i>et al.</i> , (2014)
		89R 5'-ACGGCAAGACTTAGTG TACC-3'		

**Cuadro 3.** Gen para amplificar, secuencias de iniciadores y protocolos de amplificación utilizados para detectar WSSV, IHNV, AHPND y NHP mediante la técnica de PCR punto final. Continuación

Agente	Gen	Secuencia	Protocolo de amplificación	Referencia
NHP	16S rRNA	NHPB-F 5'-CGTTGGAGGTTTCGTCC TTCAGT-3'  NHPB-R 5'-GCCATGAGGACCTGAC ATCATC-3'	3 min de desnaturalización inicial a 95°C, 35 ciclos repetidos de desnaturalización (95°C por 30 s), alineación (60°C por 30 s) y extensión (72°C por 30 s) y una temperatura final de extensión de 72°C por 5 min	Nunan <i>et al.</i> , (2008)

#### 8.4. Análisis histopatológico

La confirmación de muestras positivas en qPCR se realizó además por medio de análisis histopatológico. Para esto se tomaron los cinco camarones recolectados y fijados en solución AFA (alcohol-formaldehído-ácido acético) de Davidson. Se realizaron cortes de cefalotórax (hepatopáncreas, estómago, corazón, órgano hematopoyético, órgano linfóide) y se tiñeron con hematoxilina y eosina (Bell & Lightner, 1988; Lightner, 1996).

#### 8.5. Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva. En una base de datos se ingresaron los resultados de qPCR, PCR e histopatología. Muestras que presentaron al menos un resultado positivo se consideraron casos sospechosos (qPCR, PCR, histopatología o secuenciación) y resultados con al menos dos resultados positivos se consideraron casos confirmados (OMSA, 2022).

### 9. Rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes

Se orientó a determinar precisamente la factibilidad técnica y financiera de esta iniciativa con la agrupación de COOPEACUICULTORES RL como una alternativa de producción para el sector pesquero artesanal del Golfo de Nicoya (objetivos propios de esta investigación) y para ello se implementó la siguiente metodología.

Para determinar la factibilidad financiera del cultivo se formularon varios escenarios de sensibilidad en función de los resultados (real, optimista y pesimista) aplicando análisis financieros de flujos de caja a 5 años (INCOPECA-FAO 2010), en donde se determinó la tasa interna de retorno TIR y el valor actual neto VAN.

Cálculo del VAN:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Yt - Et}{(1 + i)^t}$$

Donde

VAN= Valor Actual Neto

Y= Ingresos o beneficios brutos del periodo considerado

E= Egresos o costos del periodo considerado

i= tasa de descuento o actualización (es el costo de oportunidad del capital)

t= El periodo considerado

Cálculo de la TIR:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(l + i)^n} = 0$$

Donde:

TIR: Tasa interna de retorno

Fn= flujo de caja en el periodo n

n= es el número de periodos

l= es el valor de la inversión inicial

Posteriormente se realizó un análisis técnico sobre la implementación y proceso de cultivo, análisis enriquecido por las siguientes fuentes de información.

- a. Revisión de literatura de las experiencias de proyectos de maricultura de pequeña escala de ostras y pargo desarrolladas en Costa Rica.
- b. Consulta a expertos en la implementación y desarrollo de proyectos de granjas marinas.
- c. Conjunto de resultados y experiencias vividas en el proceso de esta investigación.
- d. Información recabada mediante la técnica cualitativa de investigación de grupo de discusión, que de acuerdo con Gordo y Serrano (2008) consiste en un espacio donde prima la constitución de conversaciones y discusiones generadoras de información y significados referentes a una temática o temáticas particulares. Según estos mismos autores en los grupos de discusión es posible concretar acciones a seguir a partir de resultados investigativos, en ese sentido, el espacio facilitado permitió efectuar un análisis con los productores de la cooperativa COOPEACUICULTORES R.L. para establecer cuáles aspectos tanto técnicos como de organización y manejo del cultivo, podrían ser mejorados en posteriores procesos de cultivo.

El grupo de discusión fue estructurado a partir de dos fases:

Fase a. Consistió en la presentación del equipo investigador a las personas participantes del espacio (12 personas en total), así como una presentación sintética de los principales resultados obtenidos del proceso investigativo efectuado. Esta presentación incluyó aspectos como: organización general del proyecto de cultivo, comunicación interinstitucional para coordinación y tramitología propia del proyecto, manejo del cultivo en jaulas (alimentación, limpieza, cosecha y venta), costos y rentabilidad y, por último, factores turísticos. Una vez realizada esta presentación se procedió con la habilitación de un espacio para compartir y discutir al respecto de estos factores anteriormente mencionados.

Fase b. La segunda fase estuvo orientada al planteamiento de acciones estratégicas con la finalidad de solventar limitantes identificadas durante el proceso investigativo y así mejorar los procesos de cultivo posteriores.

## 10. Análisis de datos

A los datos de crecimiento se les realizó análisis de normalidad y homocedasticidad con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente por medio del complemento Real Statistics Resource para Excel. Para cuantificar los factores que afectan el crecimiento de los organismos se analizaron los datos de crecimiento por tratamientos utilizando un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) usando la función *gam* del paquete *mgcv* (Wood, 2011) en el software R (R Core Team 2020). La utilización de GAM se debe a que este permite respuestas realistas a un conjunto de datos no lineales. Además, se realizó una selección de modelos automática usando la función *dredge*, disponible en el paquete *MuMIn* en R (Barton, 2019) incluyendo las variables de salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, pH y disco secchi.

Los resultados obtenidos (como se señaló anteriormente) fueron compartidos en un espacio con carácter de grupo de discusión con la agrupación de COOPEACUICULTORES R.L (Figura 11), con el objetivo de establecer los aspectos tanto técnicos como de organización y manejo del cultivo, que podrían ser mejorados.



**Figura 11.** Exposición de resultados del cultivo de camarones desarrollado por la cooperativa COOPEACUICULTORES R.L de Isla Venado. Fotografía capturada por el investigador.

## RESULTADOS

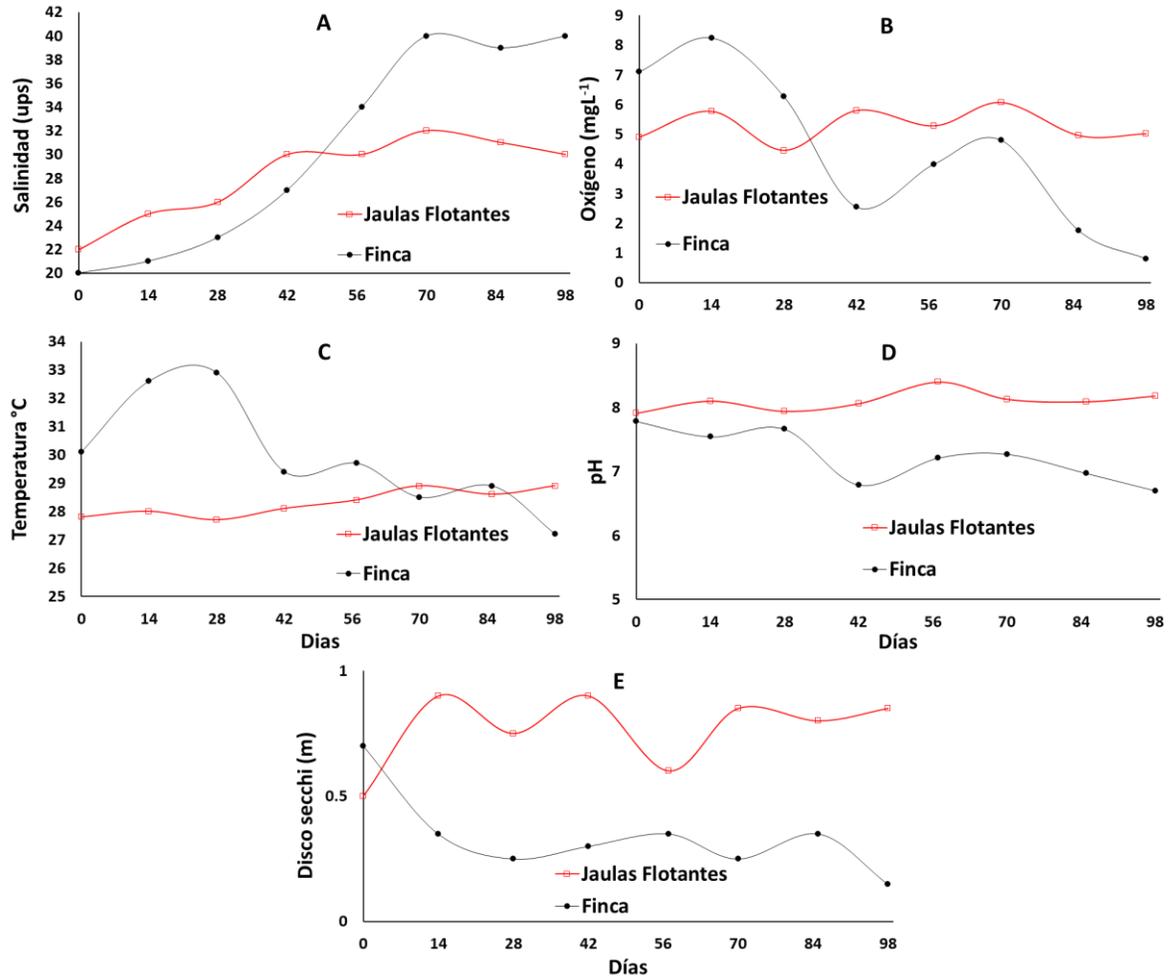
En este apartado se presentan los principales hallazgos obtenidos a través de la investigación, estructurados en función de los objetivos específicos planteados. En primer lugar, se expondrán los resultados relacionados con la determinación del crecimiento y supervivencia del camarón blanco cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades de siembra y su comparación con el cultivo en el estanque de tierra. Posteriormente, se presentarán los hallazgos relacionados con el diagnóstico qPCR de enfermedades infecciosas que suelen afectar a los camarones, comparando los hallazgos entre ambos sistemas (jaulas y estanque). Finalmente, se expondrán los análisis asociados al rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar.

### **1. Determinación del crecimiento y supervivencia del camarón blanco cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades de siembra**

#### 1.1 Variables fisicoquímicas

Durante el experimento, se observó un aumento general en todas las variables en las jaulas flotantes, a excepción del oxígeno disuelto, que mostró fluctuaciones dentro de un rango estable. En contraste, las variables en el estanque tendieron a disminuir, con excepción de la salinidad (Figura 12).

Al comparar la variación ( $\Delta$ ) entre las variables, se encontró que el rango de variabilidad fue mucho mayor en el estanque que en las jaulas flotantes, lo que indica una mayor estabilidad fisicoquímica en las jaulas flotantes (Cuadro 4). Es importante destacar que se observaron valores preocupantes en la variabilidad del estanque que podrían afectar la salud de los camarones, como una concentración de oxígeno disuelto de  $0.8 \text{ mgL}^{-1}$ .



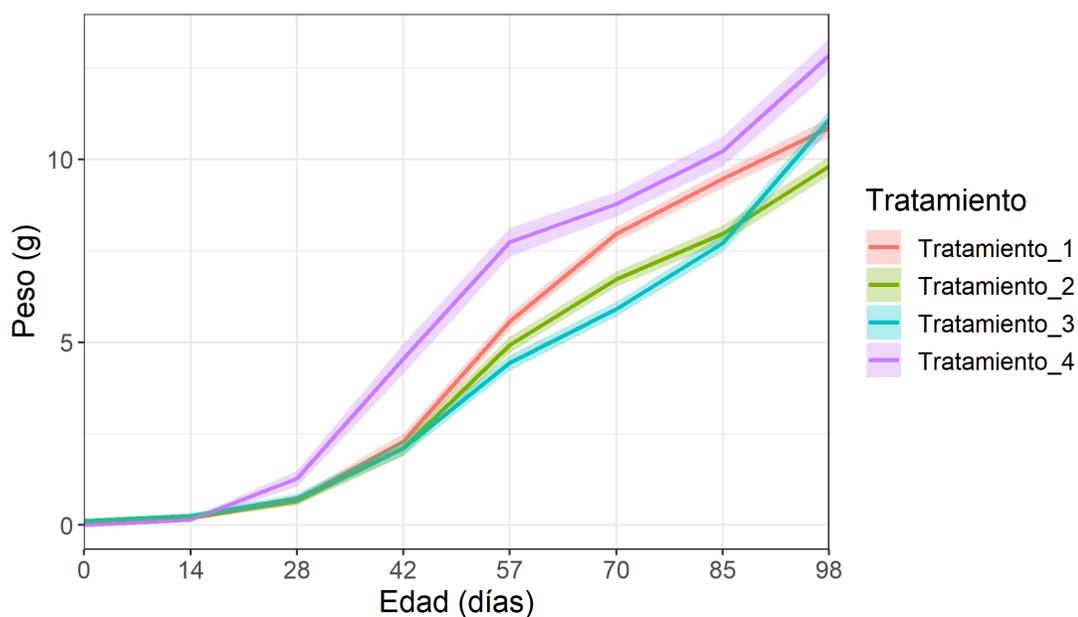
**Figura 12.** Caracterización fisicoquímica del agua en las jaulas flotantes y en estanque de camarones. A. Salinidad (ups), B. Oxígeno disuelto (mgL<sup>-1</sup>), C. Temperatura (°C), D. pH, E. Disco Secchi (m).

**Cuadro 4.** Caracterización fisicoquímica (valores mínimos y máximos) registradas en los sitios de cultivo durante el periodo de estudio (J: jaulas (Isla Venado); E: Estaque (Copal)). Δ (diferencia entre valor mínimo y máximo).

	Salinidad (ups)		Oxígeno (mgL <sup>-1</sup> )		Temperatura (°C)		pH		Disco secchi (m)	
	J	E	J	E	J	E	J	E	J	E
<b>Mín.</b>	22	20	4.45	0.8	27.7	27.2	7.91	6.79	0.5	0.15
<b>Máx</b>	32	40	6.07	8.25	28.9	32.9	8.4	7.78	0.9	0.7
<b>Δ</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>1.62</b>	<b>7.45</b>	<b>1.2</b>	<b>5.7</b>	<b>0.49</b>	<b>0.99</b>	<b>0.4</b>	<b>0.55</b>

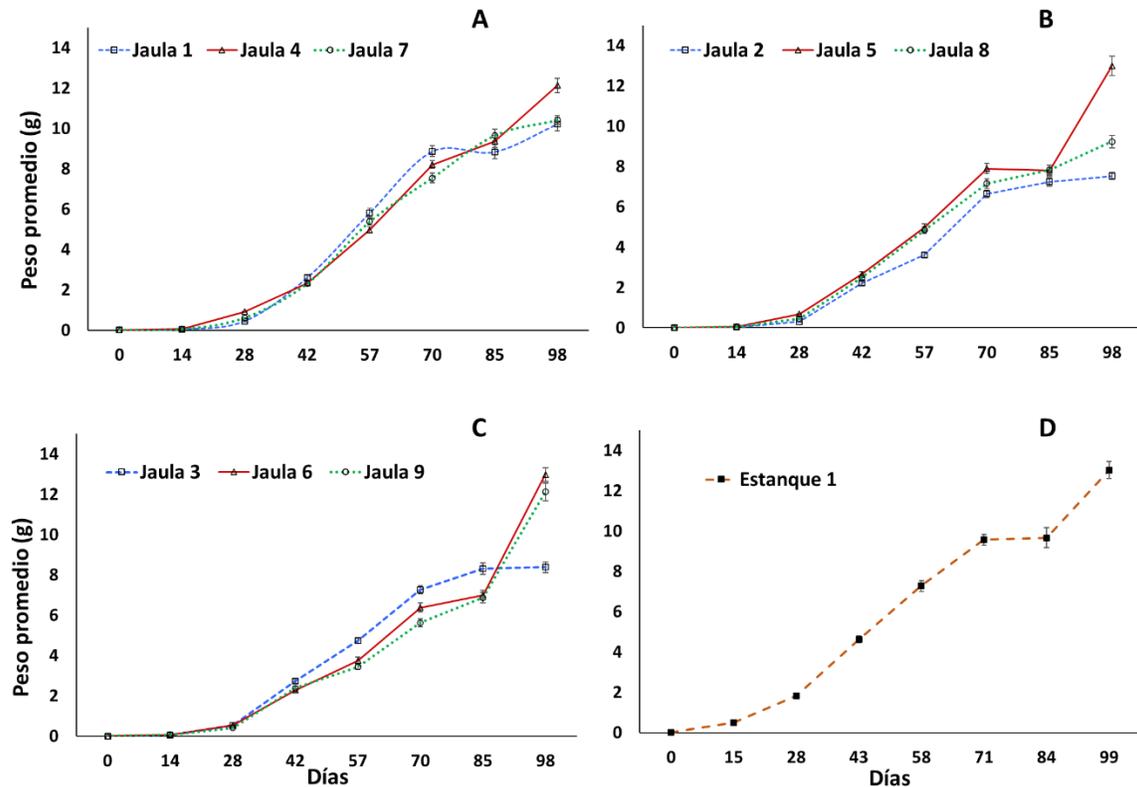
## 1.2 Crecimiento

Se obtuvo un mayor crecimiento en peso en el estanque de camaron, sin embargo, el crecimiento en las jaulas flotantes estuvo cerca del obtenido en el estanque, especialmente los tratamientos 1 y 3 que a la postre obtuvieron un crecimiento similar al final de periodo de estudio (Figura 13).



**Figura 13.** Modelo aditivo generalizado para los datos de crecimiento de *L. vannamei*. Tratamiento 1, 2 y 3 (Jaulas flotantes en Isla Venado). Tratamiento 4 (Estanque en Copal).

El crecimiento promedio registrado en cada muestreo para los tratamientos y sus repeticiones en jaulas flotantes y del estanque durante todo el periodo de estudio (Figura 14, anexo 1), muestra que dos jaulas 5 y 6, tratamientos 2 y 3 respectivamente, alcanzaron un crecimiento promedio final similar al estanque de tierra. Se aprecia un crecimiento bajo durante los primeros días de cultivo (primeros 30 días) en todas las jaulas flotantes con respecto a los registros del cultivo en estanque de tierra. Además, se puede observar un punto de inflexión hacia la baja en el sexto muestreo, en todas las curvas de crecimiento tanto en jaulas flotantes cómo en el estanque, recuperándose en el séptimo muestreo (85 días de crecimiento) en la mayoría de los casos.



**Figura 14.** Crecimiento promedio de los camarones (promedio, barras representan el error estándar (EE)) de las jaulas flotantes (Isla Venado) y finca camaronera (Copal). A: Tratamiento 1 (jaula 1, 4 y 7); B: Tratamiento 2 (Jaula 2, 5 y 8); C: Tratamiento 3 (Jaula 3, 6 y 9); y D. Estanque (Finca).

Al comparar los pesos promedios obtenidos al final del tratamiento de las jaulas flotantes se obtuvo diferencias significativas ( $p=0.003$ ) entre el tratamiento 2 con los tratamientos 1 y 3. Los índices de crecimiento (Cuadro 5) muestran similitud entre los

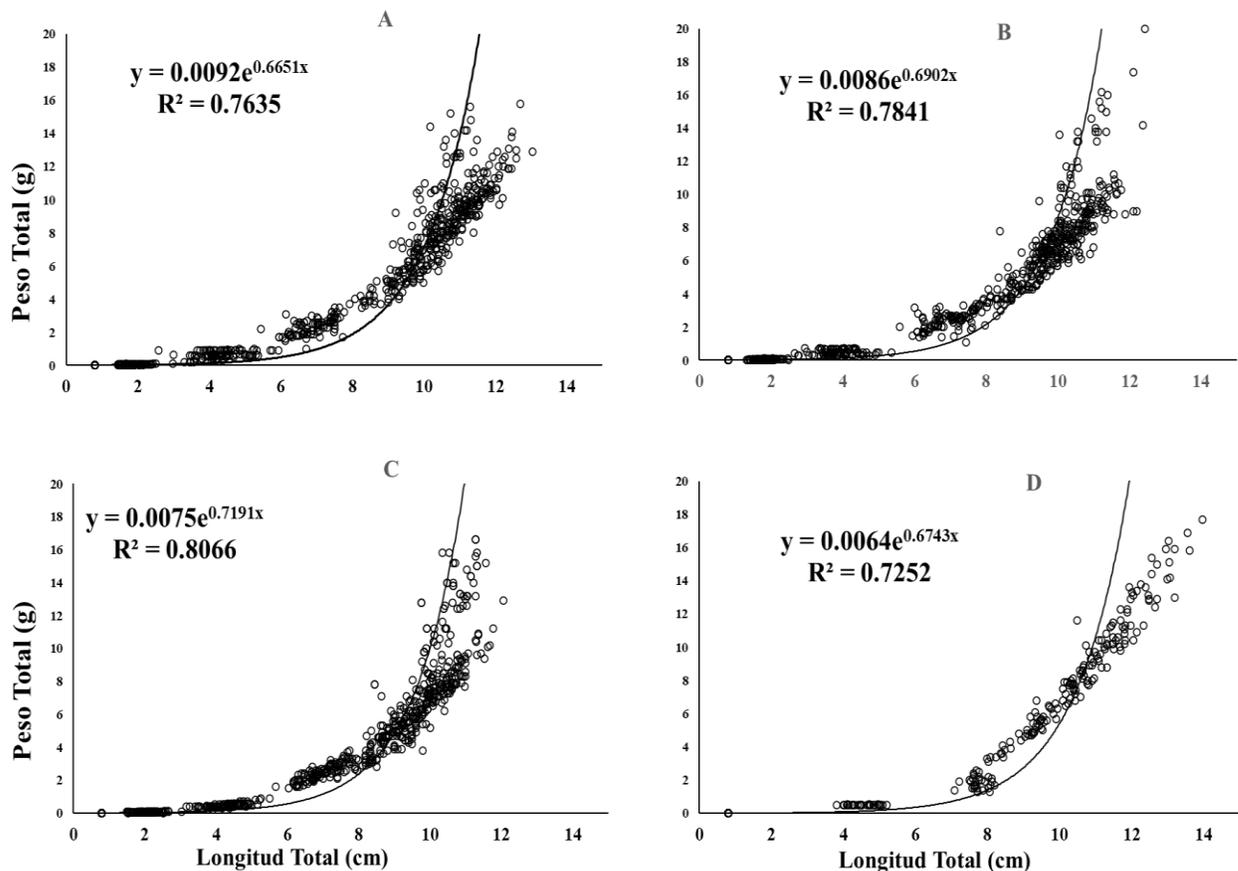
tratamientos 1 y 3 de las jaulas con mayor crecimiento. El mejor FCA se obtuvo en el tratamiento 1 de menor densidad. La supervivencia disminuye notablemente con el aumento de la densidad de cultivo.

En el estanque se obtuvo una supervivencia muy baja en comparación con lo reportado comúnmente para este tipo de cultivos. Las biomásas obtenidas al final del experimento a pesar de seguir una lógica según la densidad de siembra, los resultados no fueron directamente proporcional a la cantidad de organismos sobrevivientes según las larvas sembradas. Al integrar el tratamiento 4 (Estanque) podemos ver que el tratamiento 1 y 3 mantienen su similitud ( $p=0.001$ ).

**Cuadro 5.** Caracterización del crecimiento durante el periodo de cultivo (Promedio  $\pm$  EE). Pi: peso inicial en gramos; PG (g): peso ganado; TCA (g/d): Tasa de crecimiento absoluto; TCE (%pc/d): Tasa de crecimiento específica; FCA (g/g): Factor de conversión alimenticia; Supervivencia (%#); Factor de condición K. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ( $p=0.003$ ) entre tratamientos de las jaulas flotantes, letras mayúsculas representan diferencias significativas ( $p=0.001$ ) entre los cuatro tratamientos.

Parámetro	Cultivo en Jaulas flotantes			Finca
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Estanque 4
Pi	0.003	0.003	0.003	0.003
PG (g)	10.92 $\pm$ 0.61 <sup>B, b</sup>	9.91 $\pm$ 1.61 <sup>A, a</sup>	11.15 $\pm$ 1.41 <sup>B, b</sup>	13.01 <sup>C</sup>
TCA (g/d)	0.11 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.01	0.13
TCE (%pc/d)	8.37 $\pm$ 0.06	8.27 $\pm$ 0.16	8.39 $\pm$ 0.14	8.46
FCA (g/g)	1.49 $\pm$ 0.09	2.4 $\pm$ 0.14	2.4 $\pm$ 0.02	2.17
Supervivencia %	85.7	64.7	39.2	27
K	0.79	0.82	0.95	0.67
Biomasa total (Kg)	698.9	930.8	951.9	600

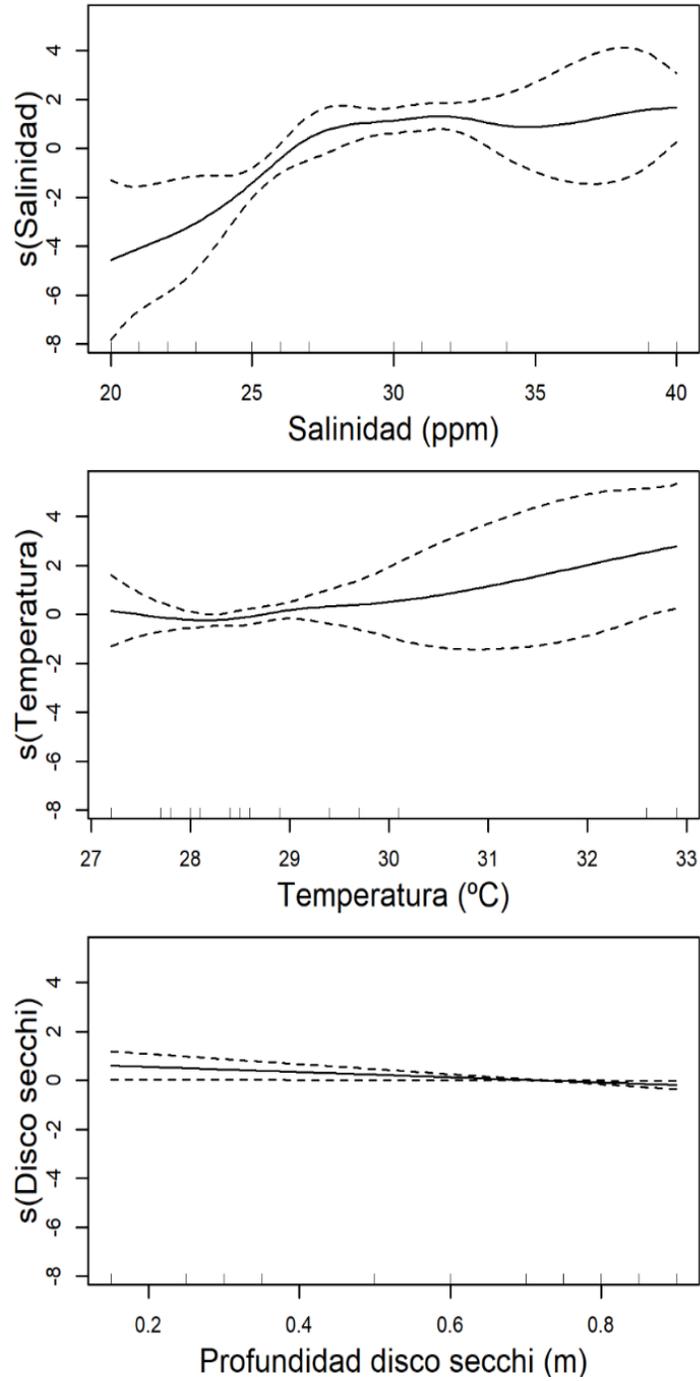
La relación talla-peso puede estar asociada a variables como las condiciones ambientales y puede variar en dependencia de la edad de los organismos. El tratamiento 3 presentó un mejor crecimiento ( $R^2 = 0.806$ ) (Figura 15). Además de presentar un mayor índice K, aunque este índice de condición indica que los organismos de todos los tratamientos estuvieron en condiciones de estrés, el tratamiento 3 fue el que en apariencia mejor condición mantuvo durante el experimento a pesar de ser el de mayor densidad y obtener la mayor mortalidad entre los tratamientos en jaulas flotantes.



**Figura 15.** Relación talla (cm) y peso (g) de los camarones en los diferentes tratamientos en jaulas flotantes y en estanque durante el periodo de crecimiento. A: Tratamiento 1. B: Tratamiento 2. C: Tratamiento 3. D: Estanque en tierra.

La representación del crecimiento de los camarones según el modelo *gam* (Figura 13) utilizando como entrada las variables de salinidad, temperatura y profundidad del disco secchi (mejor resultado de la función automática de modelos; ver anexo 1) obtuvo

un  $R^2$  de 0.907. En la figura 16, estas variables con mayor correlación e influencia sobre el crecimiento de los camarones nos indican que: según disminuya o aumente la salinidad el crecimiento en los camarones serán afectados (mejor crecimiento entre 29-32 ups), el mejor rango de temperatura para un adecuado crecimiento está entre 28 y 29 °C y una alta turbidez afecta negativamente el crecimiento de los camarones (mejor crecimiento entre 0.6 y 0.8 m) (Figura 16).



**Figura 16.** Efecto de la Salinidad (ups), Temperatura (°C) y profundidad del disco secchi (m) sobre el crecimiento de los camarones para el modelo *gam*.

### 1.3. Análisis proximal del camarón cosechado

Como complemento a los análisis de crecimiento se efectuó un análisis proximal adicional en el músculo de los organismos cosechados en cada uno de los cultivos (jaulas y estanque); a una muestra de al menos 100 g se les realizó el análisis por medio de la metodología AOAC. En el Cuadro 6 se pueden visualizar los resultados obtenidos, prestando particular énfasis en el porcentaje registrado de proteína, mismo que resultó ser mayor para el caso de los camarones cosechados en las jaulas flotantes.

**Cuadro 6.** Análisis proximal del músculo de camarón *Litopenaeus vannamei*, % en base seca A: Camarones de jaulas flotantes (Isla Venado) y B: Camarones de estanques en tierra (Copal).

Especie	Humedad %	Grasa extraíble %	Grasa total %	Proteína %	Cenizas %	Referencia
<i>Litopenaeus vannamei</i> (A)	78.30 ± 0.64	1.260 ± 0.090	1.911 ± 0.060	16.66 ± 0.88	2.833 ± 0.065	Esta investigación
<i>Litopenaeus vannamei</i> (B)	78.99 ± 0.68	1.02 ± 0.14	1.76 ± 0.15	14.12 ± 0.28	2.733 ± 0.064	Esta investigación
<i>Litopenaeus vannamei</i> *	-	-	1.49 ± 0.09	17.73 ± 0.79	3.42 ± 0.17	Silva <i>et al.</i> , (2020)
<i>Litopenaeus vannamei</i> **	73.14 ± 1.23	-	1.34 ± 0.18	19.99 ± 0.74	2.20 ± 0.88	Puga-López <i>et al.</i> , 2013
	73.9 ± 0.78	-	1.31 ± 0.48	19.93 ± 0.69	2.27 ± 0.45	
<i>Litopenaeus vannamei</i> ***	73.91 ± 1.06	-	1.27 ± 0.36	20.04 ± 0.93	2.26 ± 1.66	Puga-López <i>et al.</i> , 2013
	73.63 ± 0.86	-	1.32 ± 0.37	20.1 ± 0.52	2.1 ± 1.05	

\*Análisis realizado a camarones de un sistema de biofloc (42 días de cultivo).

\*\* Análisis realizado a camarones cultivados en dos granjas de cultivo.

\*\*\* Análisis realizado a camarones silvestres de dos zonas diferentes.

## **2. Detección de agentes infecciosos en camarones de estanque y jaulas flotantes mediante la técnica de qPCR**

Debido a la gran cantidad de muestras obtenidas a lo largo del proceso investigativo, solamente se analizaron 9 muestras de agua (3 muestras del cultivo de jaulas flotantes, 3 muestras del cultivo de estanque y 3 muestras del laboratorio), 3 muestras de lodo del cultivo de estanque y 3 muestras del lote de larvas (primer día de siembra). Además, se analizaron 60 muestras (30 grupos de muestras del cultivo de jaulas flotantes y 30 grupos de muestras del cultivo en estanque) a los 28 días de siembra (muestreo 3), a los 56 días de siembra (muestreo 5) y a los 84 días de siembra (muestreo 7), para un total de 180 muestras (900 organismos; 450 provenientes de jaulas flotantes y 450 del estanque en tierra).

En el sobrenadante de la muestra de agua del laboratorio solamente se detectó la presencia del agente infeccioso para IHNV, mientras que, en el agua de las jaulas flotantes, en el agua y en el lodo del estanque de cultivo no se detectaron agentes infecciosos mediante qPCR. Las post larvas también resultaron negativas a todos los agentes infecciosos investigados.

No se detectó la presencia de WSSV (Cuadro 7) en ninguno de los sitios investigados. En las muestras de camarones de jaulas flotantes se detectó la presencia de IHNV en los muestreos 3, 5 y 7 en 30 muestras, la presencia del plásmido de AHPND en el muestreo 5 en 1 muestra y ningún caso sospechoso de NHP. Mientras que en las muestras de camarones de estanque de tierra se determinó la presencia de IHNV en los muestreos 3, 5 y 7 en 37 muestras, la presencia del plásmido de AHPND en los muestreos 3, 5 y 7 en 4 muestras y se detectó NHP en los muestreos 5 y 7 en 40 muestras (Cuadro 8).

IHNV se detectó en todas las edades de cultivo y en ambos sitios de cultivo, con mayor prevalencia en el muestreo 7 (día 84 de siembra), un 96.7% de las muestras de estanque analizadas resultaron positivas para IHNV en comparación con las muestras provenientes de jaulas flotantes (40%).

**Cuadro 7.** Presencia o ausencia de los agentes infecciosos estudiados por medio de los diferentes medios de diagnóstico.

Técnica/agente	WSSV	IHHNV	AHPND	NHP
qPCR	-	+	+	+
PCR	-	+	-	+
Histopatología	-	+	-	+
Confirmación por secuenciación	-	+	-	+

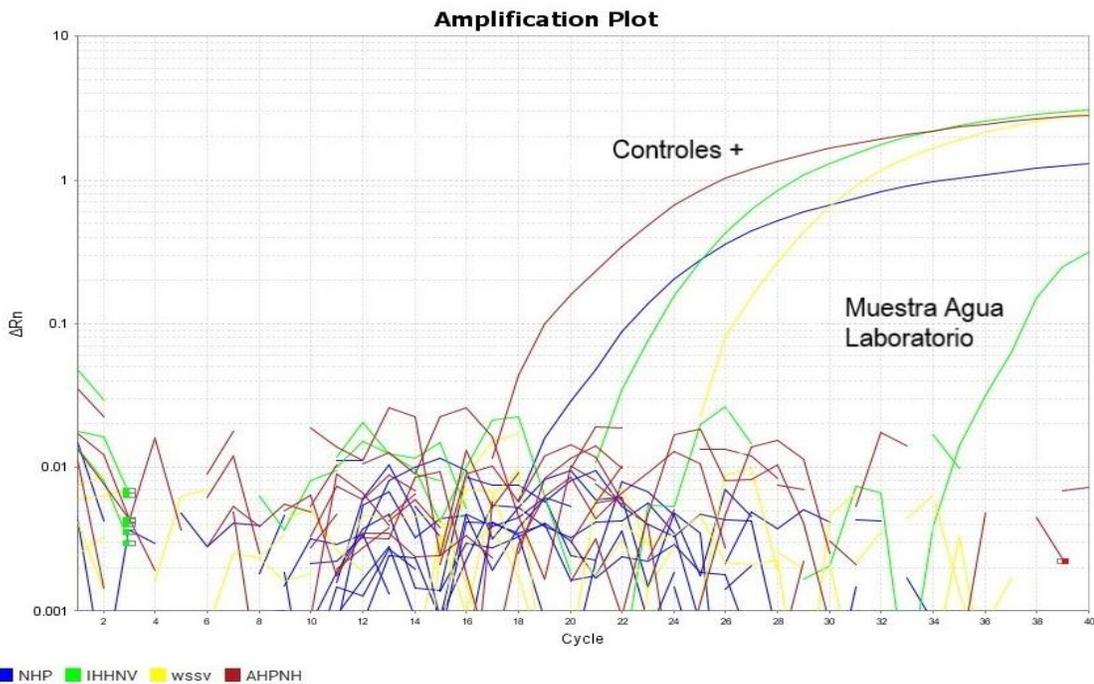
Algunas de las muestras que resultaron positivas en qPCR se presentan en las figuras 17 a 20.

**Cuadro 8.** Cantidad de muestras positivas (% prevalencia) de WSSV, IHHNV, AHPND y NHP en agua, lodo, post larvas y camarones cultivados en jaulas flotantes (sombreado) y camarones cultivados en estanque de tierra en diferentes días de post siembra (Muestreo 1: 1 día de siembra; Muestreo 3: 28 días de siembra; Muestreo 5: 56 días de siembra y Muestreo 7: 85 días de siembra).

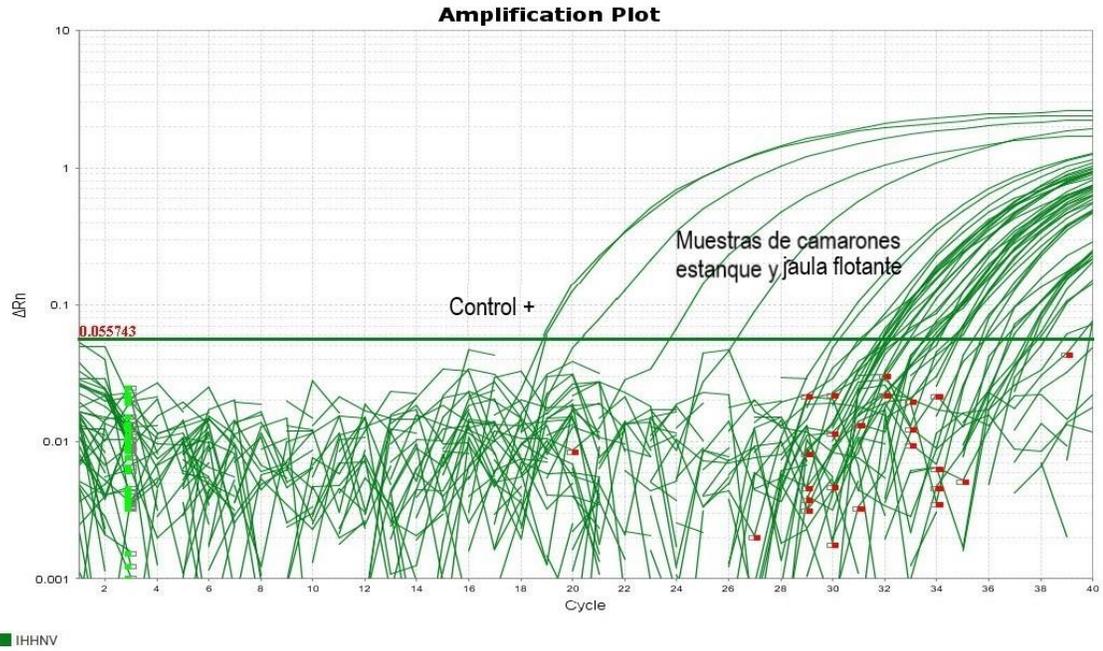
Muestra analizada	n	WSSV + (%)	IHHNV + (%)	AHPND + (%)	NHP + (%)
Muestreo 1 Agua del laboratorio	3	0	3	0	0
Muestreo 1 Agua de jaulas flotantes	3	0	0	0	0
Muestreo 1 Agua de estanque	3	0	0	0	0
Muestreo 1 Lodo de estanque	3	0	0	0	0
Muestreo 1 Post larvas (PI12)	3	0	0	0	0
Muestreo 3 Camarones en jaulas flotantes	30	0	13 (0.1%)	0	0
Muestreo 3 Camarones en estanque	30	0	1 (0.01%)	2 (0.014%)	0

**Cuadro 8.** Cantidad de muestras positivas (% prevalencia) de WSSV, IHHNV, AHPND y NHP en agua, lodo, post larvas y camarones cultivados en jaulas flotantes (sombreado) y camarones cultivados en estanque de tierra en diferentes días de post siembra (Muestreo 1: 1 día de siembra; Muestreo 3: 28 días de siembra; Muestreo 5: 56 días de siembra y Muestreo 7: 85 días de siembra). Continuación

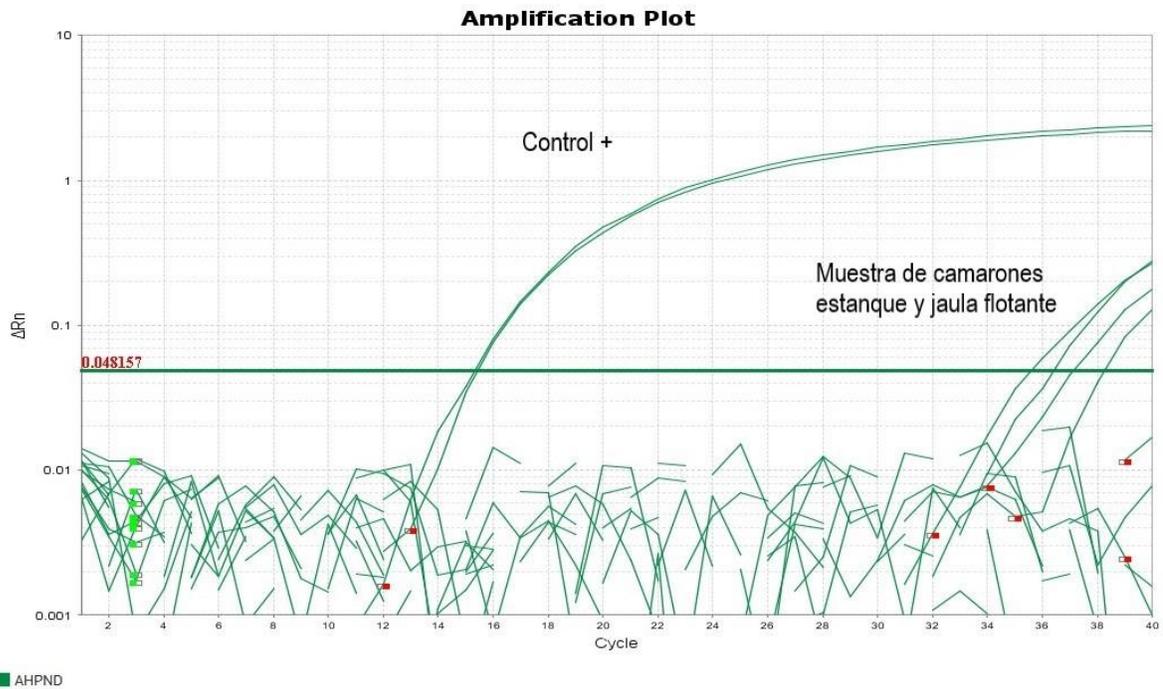
Muestra analizada	n	WSSV + (%)	IHHNV + (%)	AHPND + (%)	NHP + (%)
Muestreo 5 Camarones en jaulas flotantes	30	0	5 (0.04%)	1 (0.01%)	0
Muestreo 5 Camarones en estanque	30	0	7 (0.05%)	0	17 (0.15%)
Muestreo 7 Camarones en jaulas flotantes	30	0	12 (0.1%)	0	0
Muestreo 7 Camarones en estanque	30	0	29 (0.5%)	1 (0.01%)	23 (0.25%)



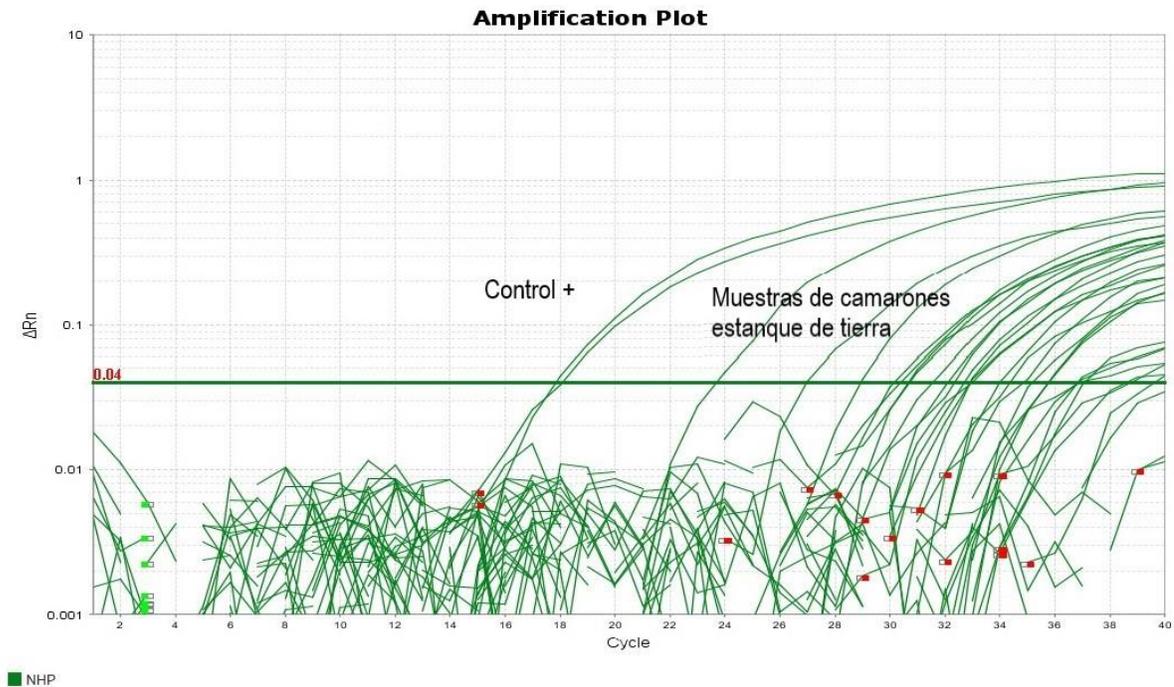
**Figura 17.** Detección de agentes infecciosos en agua por qPCR: Amarillo: WSSV, Verde: IHHNV, Café: AHPND y azul: NHP. Las amplificaciones de los controles positivos se dieron en los ciclos 19 a 27. La amplificación del agua de laboratorio amplificó en el ciclo 35 para IHHNV.



**Figura 18.** Detección de IHHNV en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: amplificación entre los 18 y 19 ciclos. Positivos en jaulas con amplificaciones entre los 23 y 39 ciclos. Positivos en estanque con amplificación entre 29 a 37 ciclos. Muestreo 7, día 85 de siembra.



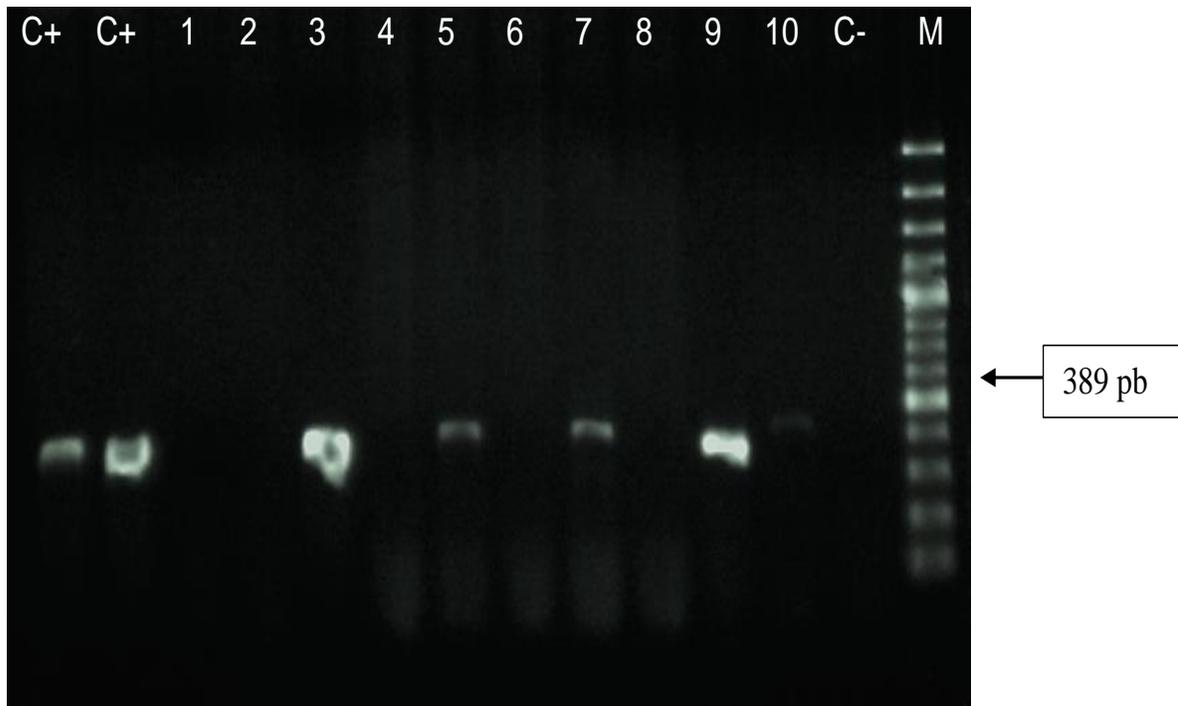
**Figura 19.** Detección de AHPND en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: con amplificación a los 15 ciclos. Positivos en estanque con amplificación en ciclos 35 y 36. Muestreo 3, día 28 de siembra.



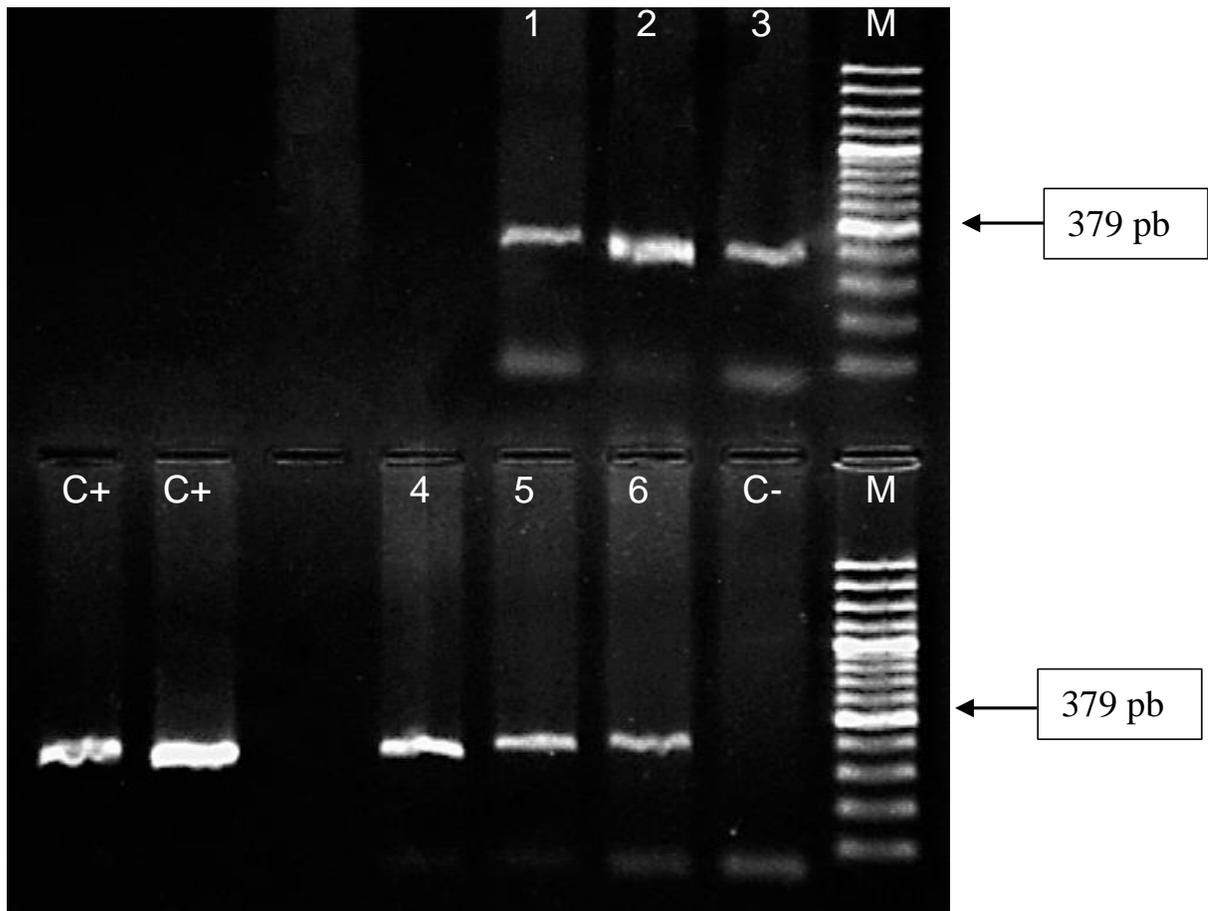
**Figura 20.** Detección de NHP en muestras de camarones analizadas por qPCR. Control +: con amplificación en ciclos 17. Positivos en estanque con amplificaciones entre los 23 y 38 ciclos. Muestreo 7, día 85 de siembra.

Mediante PCR punto final y secuenciación se confirmó la presencia de IHHNV en camarones de jaula y estanque (Figura 21) y de NHP en los camarones de estanque (Figura 22). Las muestras que amplificaron en el qPCR para AHPND no se lograron confirmar mediante PCR punto final y secuenciación.

Las 3 secuencias del segmento del gen ORF que codifica para una proteína no estructural de IHHNV aislada de camarones de jaula (día de cultivo 28) y camarones de estanque (día de cultivo 57 y 85) resultaron ser 100% (389/389 pb) similares con la secuencia MT270446 depositada en GenBank y aislada de camarones de estanque de Costa Rica (Parajeles-Mora *et al.*, 2021) y el segmento del gen 16S rRNA de NHP aislado de camarones de estanque (día de cultivo 57 y 85) resultaron ser 100% (379/379 pb) similares con la secuencia KY363553.1 depositada en GenBank, aisladas de camarones *Litopenaeus vannamei* en Sonora México (Martinez-Porchas *et al.*, 2016).

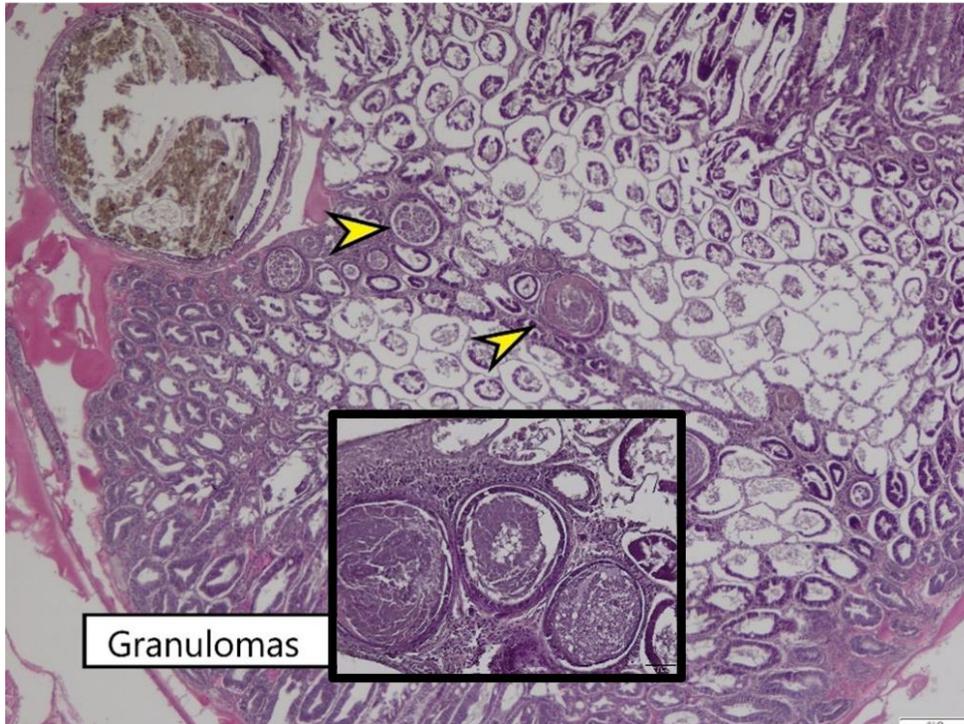


**Figura 21.** Presencia de IHHNV en camarones con electroforesis en gel de agarosa de los productos de PCR de estanque de Copal y camarones de jaulas flotantes de Isla Venado de Costa Rica. C+: Control positivo, C-: Control negativo, M: marcador de peso molecular de 100 Kb. Muestras de camarones en Copal (1, 2, 3 (M7: día 85), 4, 5, 6 (M5: día 57)). Muestras de camarones en jaulas flotantes (7, 8, 9 (M3: día 28), 10: muestra de agua del laboratorio de producción de post larvas.

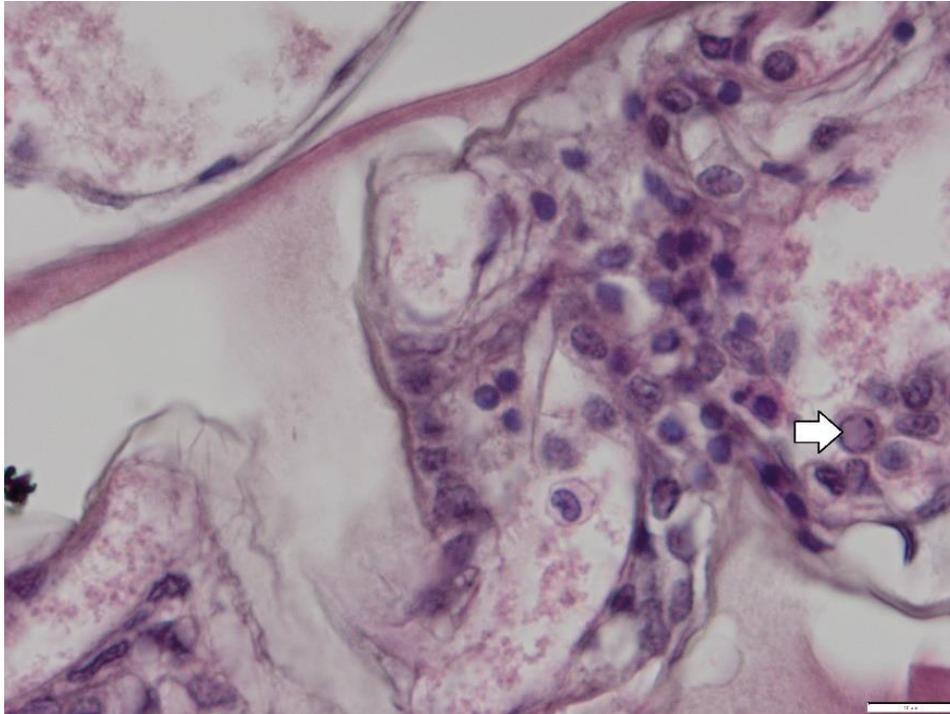


**Figura 22.** Presencia de NHP en camarones con electroforesis en gel de agarosa de los productos de PCR del cultivo en Copal: C+: Control positivo, C-: Control negativo, M: marcador de peso molecular de 100 Kb, Muestras de camarones: 1, 2, 3 (M7: día 85), 4, 5 y 6 (M5: día 57).

Por medio de los cortes histológicos se identificó en muestras PCR positivas a NHP la presencia típica de encapsulaciones multifocales y necrosis melanizadas con formación de granulomas coincidiendo con los hallazgos reportados en infecciones de NHP (Figura 23). En el caso de las muestras PCR positivas a IHNV se logró observar cuerpos de inclusión intranucleares característicos de IHNV en células de las branquias (Figura 24). No se identificó lesiones típicas ocasionadas por AHPND en los cortes realizados de camarones qPCR AHPND positivos.



**Figura 23.** Presencia de granulomas en hepatopáncreas de *L. vannamei*, hallazgo típico de NHP. Flechas: granulomas, aumentado en recuadro. Tinción con hematoxilina y eosina.



**Figura 24.** Cuerpos de inclusión intranucleares (resaltado) en células branquiales de *L. vannamei*, hallazgo típico de IHHNV. Tinción con hematoxilina y eosina.

### 3. Rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar

#### 3.1. Factibilidad Productiva

Durante el proceso investigativo se identificaron varios problemas y sus causas. Luego del análisis, se plantearon acciones estratégicas dirigidas a disminuir el impacto de los problemas o eliminarlos por completo (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Problemas, causas y acciones estratégicas obtenidos del análisis de la información recabada durante la investigación y periodo de crecimiento del cultivo de camarones en Isla Venado por medio de la cooperativa Coopeacuicultores RL.

**Problema 1:** Insuficiente rigurosidad y disciplina en las faenas diarias de manejo del cultivo

Causa	Acción estratégica
1.1. La formación tradicional del pescador, quien decide o no ir a pescar en el día a día, influye, en algunos casos, negativamente en la atención correcta y a tiempo de las actividades de cultivo.	1.1. Consolidación de una estructura de puestos de trabajo que permita identificar los productores con afinidad para el cultivo, con ello distribuir funciones de acuerdo con sus capacidades evitando el recargo de funciones. Definir un coordinador o jefe de cultivo de acuerdo con sus habilidades demostradas en el proceso de cultivo. 1.2. Implementación de un reglamento de cultivo claro, con aplicación justa y cumplida que contemple medidas correctivas ante escenarios de incumplimiento. 1.3 Mayor capacitación y acompañamiento a los productores en temas organización y gerencia de proyectos.
1.2. Indisciplina en la gestión del cultivo	

**Cuadro 9.** Problemas, causas y acciones estratégicas obtenidos del análisis de la información recabada durante la investigación y periodo de crecimiento del cultivo de camarones en Isla Venado por medio de la cooperativa Coopeacuicultores RL. Continuación.

**Problema 2:** Altos porcentajes de mortalidad en las jaulas con alta densidad

<b>Causa</b>	<b>Acción estratégica</b>
<p>2.1. La alimentación brindada en las jaulas del tratamiento con mayor densidad fue similar a la alimentación brindada en las jaulas con densidades intermedias, lo que implica que no se aplicó la cantidad de alimento sugerido, lo que pudo influir en inanición de un porcentaje de la población y en una alta tasa de canibalismo.</p> <p>2.2. Insuficiente área de superficie para aplicar el alimento en la jaula. Seis comederos demostraron ser insuficientes para todas las densidades, especialmente en las jaulas con mayor densidad.</p>	<p>2.1. Reglamentación y aplicación de un plan rutinario de alimentación estricto, que implique el control cruzado entre dos productores, junto con la revisión del coordinador o jefe de cultivo.</p> <p>2.2. Implementación de rutinas de alimentación con los instrumentos adecuados y guías diarias según el avance del cultivo</p> <p>2.3. Colocación en las jaulas estructuras con mayor superficie y duplicar el número de comederos en cada jaula.</p> <p>2.4. Diseño de redes con fondos de red antiáfidos que aumente la superficie de la jaula.</p>

**Problema 3:** Poca preparación y espacio insuficiente para la comercialización del camarón

<b>Causa Identificada</b>	<b>Acción estratégica</b>
<p>3.1. Desconocimiento del mercado</p> <p>3.2. Insuficiente orden en los procesos de comercialización ya sea en venta directa en el restaurante flotante o a los compradores por Kg y carnada.</p>	<p>3.1. Establecimiento de una estructura de comercialización que implique una distinción del producto fresco y con impacto social marino costero, canales de distribución y compradores responsables para evitar los intermediarios oportunistas.</p> <p>3.2. Ampliación de las instalaciones de atención del turismo que permitan una mayor venta directa sin intermediarios.</p> <p>3.3. Procesamiento el camarón (empacado) para dar valor agregado y obtener un mejor precio en el mercado.</p>

**Problema 3:** Poca preparación y espacio insuficiente para la comercialización del camarón.  
Continuación.

Causa Identificada	Acción estratégica
	3.4. Aplicación de mayor capacitación para una mejor atención al cliente y una comercialización eficiente. 3.5. Aumento de la cantidad de jaulas al máximo permitido por la viabilidad ambiental (20 jaulas) y así aplicar economía de escala

A pesar de haber identificado varios problemas que pudieron haber influido en los resultados finales del proyecto, se determinó que el proyecto comercial de cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes, manejado por grupos de pescadores artesanales es factible en el contexto técnico, inclusive los resultados técnicos productivos pueden mejorar con la aplicación de las acciones estratégicas descritas en el Cuadro 9.

### 3.2. Factibilidad Financiera

Con todos los datos primarios recopilados se corrieron los flujos de caja a 5 años, aplicando los indicadores financieros TIR y VAN descritos en los apartados de marco teórico y metodología.

Se desarrollaron 6 análisis financieros, los primeros cuatro con turismo integrado y los dos restantes sin turismo integrado. A todos se les aplicó margen de sensibilidad (escenario real, optimista y pesimista). Las variables ajustadas para el análisis de sensibilidad fueron el porcentaje de supervivencia, los precios de venta del kilogramo de camarón y la unidad de camarón para carnada. Los dos últimos análisis se basaron en determinar si puede haber factibilidad financiera sin actividades turísticas, o sea solo para la venta de consumo por kg. y venta para carnada. En el primer caso solo se aplicó el análisis a los escenarios real y optimista sin venta al turismo y en el segundo caso se hizo lo mismo, pero ajustando los porcentajes mínimos de venta por kg. para consumo y para carnada por unidad para que un proyecto de este tipo pueda ser rentable. En todos los casos se usaron 9 jaulas flotantes como parámetro de comparación (Cuadro 10).

En el Cuadro 10 queda demostrado que la producción y venta integrada con turismo realizada en esta investigación fue rentable. No obstante, los mejores indicadores financieros TIR y VAN en condiciones reales se obtuvieron en la densidad de cultivo de 25 mil post larvas por jaula. En escenarios optimistas todas las densidades de siembra se muestran rentables, mientras que en los análisis de venta sin turismo demuestran que los proyectos no son rentables, solamente si se aumenta el porcentaje de venta para carnada vrs la venta en kilogramos para consumo.

**Cuadro 10.** Análisis financieros con margen de sensibilidad de flujos de caja con indicadores VAN y TIR a 5 años. Se muestra el escenario real de la investigación, los ajustados a cada densidad y análisis sin venta al turismo con y sin ajuste del porcentaje de venta para carnada.

Escenario	Real		Pesimista		Optimista	
	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
Condiciones reales del cultivo durante la investigación (tres tratamientos con tres repeticiones cada uno (25, 50 y 75 mil post larvas) integrado con turismo.	€6 631 576,09	15%	-€11 645 277,89	6%	€34 631 938,28	28%
Cultivo adaptado a la densidad de 25 mil post larvas de camarón por jaula integrado con turismo.	€14 243 497,00	19%	€514 378,00	12%	€26 372 814,00	25%
Cultivo adaptado a la densidad de 50 mil post larvas de camarón por jaula integrado con turismo.	€6 285 586,00	15%	-€14 869 952,00	5%	€31 063 999,00	26%
Cultivo adaptado a la densidad de 75 mil post larvas de camarón por jaula integrado con turismo.	-€272 531,00	12%	-€28 305 937,00	2%	€33 902 581,00	27%
Cultivo adaptado a la densidad de 25 mil post larvas de camarón por jaula sin turismo integrado.	-€39 908 136,08	-18%	-	-	-€23 913 850,88	5%
Cultivo adaptado a la densidad de 25 mil post larvas de camarón por jaula, sin turismo integrado, pero ajustando los porcentajes de venta de carnada y consumo mínimos para tener rentabilidad.	€1 885 348,08	13% <sup>a</sup>	-	-	€1 912 854,66	13% <sup>b</sup>

a. 45% venta por Kg., 55% venta para carnada (346.709 ind/año) 950 ind/día

b. 70% venta por Kg., 30% venta para carnada (211.207 ind/año) 579 ind/día

## DISCUSIÓN

En este apartado se presentan algunas discusiones entre los principales resultados expuestos anteriormente y otros procesos investigativos que se vinculan de forma directa o indirecta con el cultivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

Se discutirán en primer lugar, los hallazgos vinculados al crecimiento y supervivencia del camarón blanco cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades de siembra, en función de la comparación realizada con el cultivo de estanque en tierra. Seguidamente se presentan algunas discusiones en torno a la presencia de enfermedades infecciosas que podrían afectar a los cultivos de camarones, en función de la comparación realizada con los camarones cultivados en estanque de tierra. Por último, se desarrollan algunas discusiones referentes al rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar.

### 1. Crecimiento y supervivencia

#### 1.1. Características fisicoquímicas

Los rangos obtenidos en esta investigación (Cuadro 4), muestran que las variables fisicoquímicas en las jaulas flotantes estuvieron la mayor parte del tiempo dentro de los rangos óptimos de crecimiento para el camarón blanco reportados por Sánchez *et al.*, (2018), temperaturas entre 26 y 32 °C, oxígeno disuelto con saturación mayor a 5 mgL<sup>-1</sup>, salinidades entre 5 y 30 ups, niveles de pH entre 7 y 9, disco secchi mayor a 35 cm.

Estas variables en las jaulas flotantes fueron similares a las reportadas en otros estudios de cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes (Lombardi *et al.*, 2006; Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019; Zarain-Herzberg *et al.*, 2006; Zarain-Herzberg *et al.*, 2010) quienes obtuvieron buenos resultados de crecimiento y supervivencia (Cuadro 11) y también similares a las variables fisicoquímicas reportadas por Chacón-Guzmán (2010) en la misma zona, en un estudio de densidad de cultivo con juveniles del pargo manchado *Lutjanus guttatus*, valores considerados por el autor como normales y

representativos del Golfo de Nicoya, además de ser viables para la ejecución de este tipo de investigaciones. También se debe destacar que los rangos considerados como adecuados según el modelo de *gam* (Figura 16) utilizando como entrada las variables de salinidad, temperatura y profundidad del disco secchi, coinciden con los rangos considerados adecuados para el cultivo de esta especie reportados por Sánchez *et al.* (2018).

No obstante, en el caso de las variables fisicoquímicas del estanque, se obtuvieron mediciones fuera de los rangos de tolerancia, siendo el valor de oxígeno de  $0.8 \text{ mgL}^{-1}$  el más sensible y que pudo haber incidido negativamente en el crecimiento y supervivencia de los camarones.

A pesar de que el camarón blanco *L. vannamei* es un organismo eurihalino y euritermo, capaz de tolerar bajos niveles de oxígeno y altas variaciones de pH y transparencia del agua (Valdez *et al.*, 2008), se ha demostrado que los rangos óptimos de cultivo son significativamente estrechos que los rangos de tolerancia natural, valores bajos por debajo de los límites de oxígeno y altos valores por encima de los límites de salinidad pueden afectar los cultivos de camarón blanco, por ejemplo, Valverde-Moya y Alfaro-Montoya (2014) encontraron en ciclos cortos de cultivo que niveles de oxígeno superiores a  $3.0 \text{ mgL}^{-1}$  brindaron un mejor crecimiento, consumo de alimento y mejor tasa de conversión alimenticia que en otros cultivos con valores inferiores a  $3.0 \text{ mgL}^{-1}$ . Valores de oxígeno de  $0.8 \text{ mgL}^{-1}$  como los obtenidos en este estudio se consideran críticos, de un nivel letal que puede causar flotamiento y mortalidad del camarón dependiendo del tiempo de exposición (Martínez *et al.*, 1998).

Los resultados del Cuadro 4, muestran además una marcada inestabilidad de las variables fisicoquímicas del agua del estanque versus el agua de las jaulas. Paquotte *et al.*, (1998) afirman que el mar abierto proporciona mejores condiciones para que el proceso de crecimiento de los camarones cultivados se realice satisfactoriamente, así mismo, Effendi, *et al.*, (2016) señalan que el cultivo en mar abierto posibilita la intensificación de la producción, esto debido a la alta capacidad de carga de la columna de agua marina algo que no es posible cuando el cultivo se efectúa en estanques terrestres.

Lo anterior implica que los cultivos con menor variación en sus variables fisicoquímicas, siempre y cuando estén en los rangos óptimos de la especie, cómo los obtenidos en esta investigación en las jaulas marinas, permitirán condiciones para obtener mejor supervivencia, disminuyendo significativamente los efectos de estrés ambiental y posibles episodios de mortalidad por sobrepasar los límites de tolerancia.

Además, la estabilidad fisicoquímica de los cultivos contribuirá a una menor incidencia de enfermedades comunes por la supresión inmunológica generada por estrés, en caso contrario la incidencia de enfermedades será mayor. Por ejemplo, Parajeles-Mora *et al.*, (2021) evaluaron la presencia del virus de la Necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa (IHHNV) en 15 fincas de cultivo entre el periodo 2017 y 2018 del Pacífico Central y Golfo de Nicoya, encontrándose una alta incidencia de estas enfermedades, así cómo, variaciones considerables de los parámetros fisicoquímicos que podrían estar estrechamente relacionados a la presencia de estos patógenos (salinidad hasta 63.03 ups, temperatura hasta 34.53 °C, bajos índices de pH hasta de 4.51 y valores de oxígeno disuelto cercanos a cero 0.13 mgL<sup>-1</sup>). Lo anterior demuestra que la inestabilidad y valores fuera del rango óptimo obtenidos en el presente estudio en el estanque pueden ser recurrentes en la zona de estudio (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Características fisicoquímicas reportadas en la literatura para el cultivo de *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes y estanques de camarón.

Salinidad (ups)	Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Disco Sechii (m)	Referencia
<i>Jaulas flotantes</i>					
31.4±3.5	6.2±0.63	30.2±1.68	7.94±0.17	-	Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019
33±2.2	-	24.2±1.83	-	-	Lombardi <i>et al.</i> , 2006
34.8	5.4 < 7.1	30.3 < 31.7	8.3 < 8.4	-	Zarain-Herzberg <i>et al.</i> , 2006
35.2±0.5	5.3±0.85	27.2±3.10	8.26±0.17	-	Zarain-Herzberg <i>et al.</i> , 2010
<b>22-32</b>	<b>4.45-6.07</b>	<b>27.7-28.9</b>	<b>7.91-8.4</b>		<b>Presente Investigación</b>
<i>Estanque de Tierra</i>					
> 0.5	> 3	> 23 - < 34	7 - 8	-	Godínez-Siordia <i>et al.</i> , 2011

**Cuadro 11.** Características fisicoquímicas reportadas en la literatura para el cultivo de *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes y estanques de camarón. Continuación.

Salinidad (ups)	Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Disco Sechii (m)	Referencia
-	2.17-9.79 1.83-9.72	28.6-34.1 26.7-33.9	-	0.38-0.69 0.37-0.55	Valverde-Moya & Alfaro-Montoya, 2013
20-43	5.3	31.3	-	0.46	Valverde-Moya & Varela-Mejías, 2018
Min 21.57 Max 63.03	Min 0.13 Max 6.5	Min 27.2 Max 34.53	Min 4.51 Max 8.24		Parajelez-Mora, 2019
22.39	3	34.5	8.24	-	Peña-Navarro, <i>et al.</i> , 2020
<b>20-40</b>	<b>0.8-8.25</b>	<b>27.2-32.9</b>	<b>6.79-7.78</b>	<b>0.15-0.7</b>	<b>Presente investigación</b>

La diferencia en el comportamiento de las variables fisicoquímicas encontradas en la granja flotante versus el estanque puede ser explicada por las siguientes razones.

- a) La alta estabilidad de las variables fisicoquímicas encontradas en las jaulas flotantes es el resultado de la ubicación de las jaulas en un canal de una zona estuarina, canal que recibe el efecto de la variación de las mareas diarias, generando corrientes que promueven la renovación constante de agua, de hasta varias veces el 100% del volumen de cada jaula por minuto. Este recambio constante de agua mantiene estable especialmente los valores de oxígeno disuelto. Se reporta en otros estudios que renovaciones adecuadas de agua en este tipo de cultivos implican variaciones moderadas o bajas de los parámetros fisicoquímicos (Zarain-Herzberg *et al.*, 2010). Caso contrario a lo encontrado en el estanque en tierra, donde el recambio y circulación de agua son dependientes de los recambios esporádicos por bombeo y en la época lluviosa por el aporte de la lluvia.
- b) Respecto a la salinidad, se debe considerar que las estaciones climáticas que afectan al Golfo de Nicoya son muy marcadas, las precipitaciones disminuyen considerablemente en el verano, lo que representa una enorme variación estacional de los flujos de agua dulce por escorrentía que recibe el golfo (Tabash-Blanco, 2007), esta condición en conjunto con la evaporación aumenta considerablemente la

salinidad de los estanques en la época seca tal como ocurrió en la presente investigación.

- c) La concentración de oxígeno en el agua también depende de las variables de temperatura y salinidad, en donde a mayores valores de éstas disminuye el contenido de oxígeno disuelto (Brugnoli y Morales, 1999), congruente con las concentraciones mínimas observadas en el estanque de camarones en Copal.
- d) La estabilidad de la temperatura de la granja se puede explicar debido a que el Golfo de Nicoya posee carácter de zona estuarina-tropical por lo tanto las variaciones en la temperatura superficial son pequeñas, además depende de la radiación solar que recibe (incrementándose en época seca) y a la gran capacidad que posee el agua de mar de almacenar calor sin presentar grandes cambios (Brenes, León, & Chaves, 2001).
- e) La intensificación de los vientos alisios durante el verano que entre diciembre y marzo producen movimientos en la columna de agua del Pacífico Tropical Este (Lizano, 2008), podrían ser los causantes de la disminución de la temperatura registrada en el estanque de Copal hacia el final del cultivo.
- f) Los valores de pH del agua podrían estar influenciados por varios factores. En el estanque de tierra puede estar fuertemente relacionado con el pH del suelo, además, este variará de acuerdo con las horas en que se realicen las mediciones: será bajo el pH por las mañanas y aumentará con los procesos de fotosíntesis (Martínez *et al.*, 2019). Esto concuerda con las horas de mediciones, que por lo general se realizaron en horas de la mañana.
- g) Los resultados de la incidencia de la luz solar presentan mayor profundidad en el agua donde se encuentran las jaulas flotantes (0.5 y 0.9 m) en comparación con el agua del cultivo en estanque terrestre (0.15 m). De este modo, la turbidez del agua en la zona de cultivo terrestre es mayor, lo que puede deberse a suspensión de residuos sólidos, exceso de materia orgánica o una alta concentración de plancton (FAO, 2021).

Por lo tanto, en este estudio ha logrado identificar importantes diferencias en el comportamiento de las variables fisicoquímicas entre el cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes respecto al cultivo en los estanques y considerando los resultados de crecimiento y supervivencia obtenidos en esta investigación en las jaulas flotantes, estos rangos de las variables fisicoquímicas pueden ser considerados como adecuados y servir de base comparativa para otros estudios similares.

## 1.2. Crecimiento

Al comparar el crecimiento promedio obtenido entre los sistemas de cultivo (Figuras 13 y 14), se evidencia que a excepción de los primeros 15 días de cultivo, el crecimiento fue mayor en el estanque a pesar de que las variables fisicoquímicas fueron inestables y la incidencia de enfermedades fue mayor que en las jaulas. Sin embargo, considerando la enorme diferencia de densidad por metro cuadrado, el crecimiento demostrado en los tres tratamientos de densidad en las jaulas flotantes se considera aceptable.

Un aspecto relevante de indicar es que en todos los tratamientos se presentó una disminución en el crecimiento entre el muestreo 6 y 8; esto pudo deberse a que en el cultivo de jaulas flotantes se incrementó la frecuencia del uso de alimento elaborado con descartes de la pesca (Cuadro 1) implicando una disminución en la cantidad proteica e influyendo en el crecimiento (Lee & Lee, 2018), o se produjo un retardo del crecimiento por la adaptación al alimento fresco proporcionado en mayor cantidad. En el cultivo del estanque pudo deberse a irregularidades en la aplicación de las raciones alimenticias, aunque también en este periodo se incrementa el porcentaje de organismos enfermos, especialmente por los agentes IHHNV y NHP descritos anteriormente.

A pesar de la diferencia de la densidad, las jaulas 5 y 6 de los tratamientos 2 y 3 alcanzaron un peso promedio final cercano al obtenido en el estanque, esto sugiere que con mejoras técnicas el cultivo super intensivo en jaulas flotantes sería posible lograr pesos promedio finales similares a los obtenidos en estanques en ciclos cortos menores a 3 meses. En densidades de cultivo entre 8 y 10 ind/m<sup>2</sup> y en periodos de cultivo entre 84 y 107 días, Valverde-Moya y Alfaro-Montoya (2014) reportaron pesos promedio en la

cosecha de 13.2 g. similares a los obtenidos en el estanque de la presente investigación 13.01 g.

Los índices de crecimiento obtenidos (Cuadro 5) muestran importantes hallazgos entre los tratamientos de las jaulas y respecto a estos con el estanque. El peso ganado fue significativamente inferior en el tratamiento 2 con respecto a los otros tres tratamientos, y el del estanque significativamente mayor al de las jaulas, aunque en términos técnicos se puede considerar que diferencias de aproximadamente 2 gramos son aceptables para las jaulas teniendo en cuenta la alta densidad de cultivo, además, estos valores de peso ganado en las jaulas son superiores a los reportados en otros trabajos en jaulas flotantes. Lombardi *et al.*, (2006) obtuvieron un crecimiento promedio de 7.01 g en 103 días de cultivo; Zarain-Herzberg *et al.*, (2006) 8.71 g después de 2 meses de cultivo. Paquotte *et al.*, (1998) reportaron 15 g de peso promedio en cosecha, pero en 153 días de cultivo, mientras que el estudio con valores cercanos al actual se realizó en Costa Rica, donde se produjeron camarones en jaulas flotantes más pequeñas a nivel experimental donde se obtuvo después de 121 días de cultivo un crecimiento de 12 g (Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019).

Otras investigaciones en otras especies de camarón cultivados en jaulas refuerzan el hecho de que el peso ganado en este estudio es uno de los más altos registrados hasta la fecha independientemente de la alta densidad de siembra empleada en los tres tratamientos. Peixoto *et al.*, (2013) sembraron individuos de camarón *Farfantepenaeus brasiliensis* con un peso inicial de 1.15 g y al final del periodo de 65 días obtuvieron un peso de 7.93 g. mientras que Maheswarudu *et al.*, (2016) reportan un crecimiento de 4.5 g del camarón *Penaeus monodon* en un periodo similar al de la presente investigación de 100 días.

Las tasas de crecimiento TCA ( $\text{gd}^{-1}$ ) (Cuadro 5) aunque más bajas en jaulas flotantes, igualmente estuvieron cerca de los valores registrados en el estanque (Cuadro 4). No obstante, algo importante de indicar es que las tasas de crecimiento del estanque estuvieron entre los valores reportados por Valverde-Moya y Alfaro-Montoya (2014) en ciclos cortos entre 0.11 y 0.14  $\text{gd}^{-1}$ , e inclusive las TCA de los tratamientos 1 y 3 se

encontraron en el valor inferior de este rango ( $0.11 \text{ gd}^{-1}$ ) confirmando los buenos resultados de crecimiento para ser ésta una investigación piloto.

En el caso de las jaulas flotantes las tasas de crecimiento absoluto y específico son más altas que las reportadas en la misma especie y en otras especies similares. En jaulas de  $8 \text{ m}^2$  Peixoto *et al.*, (2013) obtuvo una tasa de crecimiento  $0.104 \text{ g/d}$  y el crecimiento específico (TCE) de  $2.97 \text{ \%pc/d}$  para una densidad de siembra de  $10 \text{ ind/m}^2$ , para la densidad de  $20 \text{ ind/m}^2$  obtuvo una tasa de crecimiento  $0.104 \text{ gd}^{-1}$  y un crecimiento específico de  $2.97 \text{ \%pc/d}$  y para la densidad de  $40 \text{ ind/m}^2$  una tasa de crecimiento  $0.092 \text{ gd}^{-1}$  y un crecimiento específico de  $2.69 \text{ \%pc/d}$ .

En la misma especie Paquette *et al.*, (1998) obtuvo una tasa de crecimiento similar de  $0,11 \text{ gd}^{-1}$ , Lombardi *et al.*, (2006) utilizando jaulas flotantes de  $1 \text{ m}^2$  con una densidad de siembra d de  $100 \text{ ind/m}^2$  obtuvo una tasa de crecimiento de  $0.05 \pm 0.01 \text{ gd}^{-1}$  y Radulovich & Fuentes-Quesada (2019) reportaron una tasa mayor de crecimiento absoluto de ( $0.15 \text{ gd}^{-1}$ ), no obstante, calculada en un cultivo entre 1 y 18 g.

### 1.3. Factor de conversión alimenticio

Uno de los parámetros de mayor interés en los cultivos de camarones es el Factor de Conversión Alimenticio (FCA). En esta investigación el FCA fue menor en el tratamiento 1 de las jaulas (Cuadro 5), con un valor ( $1.49 \pm 0.09$ ) muy aceptable para un cultivo superintensivo y cercano de lo obtenido en estanques, no obstante. Los FCA de los otros dos tratamientos 2 y 3 tampoco se consideran muy altos para este tipo de cultivos, sin embargo, son mayores a los que normalmente se presentan en los cultivos de camarón en estanques en condiciones normales, por ejemplo, Valverde-Moya y Alfaro-Montoya (2014) para ciclos cortos en cultivos similares reportaron FCA de 1.07, 1.60 y 1.00.

El FCA del estanque de camarón en esta investigación fue mayor a lo normalmente reportado para estos sistemas (2.17) lo que corrobora que en este estudio se presentaron afectaciones importantes en la supervivencia y crecimiento de la población de camarones cultivada en el estanque.

En comparación con otros cultivos en jaulas flotantes los FCA obtenidos en esta investigación son mejores que los reportados por Paquette *et al.*, (1998) (2.58 - 3); Effendi *et al.* (2016) (3.43); Maheswarudu *et al.*, 2016 el FCA 3.97 y Radulovich & Fuentes-Quesada; (2019) (6.46). No obstante, conviene aclarar que con este último estudio se realizó el suministro de una mayor cantidad de alimento fresco (producto fresco elaborado con descartes de la pesca). Fue similar al reportado por Peixoto *et al.*, (2013) (1.5) en el caso del tratamiento 1, y fueron inferiores a los reportados por Zarain-Herzberg *et al.*, (2006 y 2010) (0.72 y 1.1 y 1.0 respectivamente).

Un aspecto relevante de considerar en la alimentación es que los estanques presentan alta productividad primaria generalmente estimulada por el productor y que permanece constante en el sistema la mayor parte del tiempo si se le dan los nutrientes necesarios. Caso contrario se da en las jaulas, donde a pesar de que hay un flujo de agua constante por la corriente, la población de fito y zooplancton es menor y recorre la jaula rápidamente por el efecto de las corrientes siendo difícil para los camarones capturar las presas, por ello la alimentación en las jaulas termina siendo un arte, que conlleva una estrategia cuidadosa que en los estanques de camarón.

En este contexto, en la presente investigación se utilizaron 6 comederos por jaula, aunque se considera se debe aumentar el área de alimentación ante la presencia de las altas densidades (8-10) comederos o usar bandejas en el fondo y a media agua. Otro aspecto que se considera exitoso en este estudio fue que, a diferencia de los estanques de camarón, la aplicación de alimento en los primeros 15 días fue constante, para así cubrir las necesidades alimenticias que normalmente son cubiertas por el fito y zooplancton en los estanques.

#### 1.4. Supervivencia

En los resultados del cuadro 5, quedó demostrado que la supervivencia obtenida en el estanque (27%) es representativa de condiciones irregulares de cultivo y que son cada vez más comunes en la industria camaronera de Costa Rica. Estas distan de las supervivencias promedio reportadas en cultivos de ciclo corto en condiciones normales en la zona (63-75%) (Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2014).

En el caso de la supervivencia en las jaulas flotantes, la obtenida en el tratamiento 1 (85.7%), se puede considerar excepcional ya que supera inclusive lo reportado en estanques, la del tratamiento 2 (64.7%) se puede considerar buena y normal ya que está dentro del rango reportado para la zona en estanques y la del tratamiento 3 si se considera baja (39.2%). Algo importante de resaltar es que en ninguna de las jaulas se presentaron eventos de mortalidad masiva observable, esto sugiere que la mortalidad fue constante en el tiempo y que producto de las altas densidades los camarones muertos eran rápidamente consumidos por sus compañeros de jaula.

Las supervivencias obtenidas en este estudio, especialmente las del tratamiento 1 y 2 son superiores o similares a las reportadas en otras investigaciones. Paquotte *et al.*, (1998) en densidades de 97 ind/m<sup>2</sup> y 227 ind/m<sup>2</sup>, obtuvieron supervivencias de 76±13.5% y 63±10.3% respectivamente; Effendi, *et al.* (2016) en estudio en el que se compara el crecimiento de la especie *L. vannamei* en dos sistemas de cultivo (biofloc y perifiton) obtuvieron una supervivencia de 27.36% y un 58.93% respectivamente; Radulovich & Fuentes-Quesada (2019) obtuvieron una media de supervivencia de 59.7±6,4% y solamente Zarain-Herzberg *et al.*, (2006) utilizando densidades inferiores a las de este estudio (100 ind/m<sup>2</sup>) obtuvieron supervivencias superiores a las reportadas en esta investigación (90%).

Estos resultados demuestran que las condiciones en las jaulas de cultivo fueron buenas, que la dieta, raciones y frecuencia de alimentación aplicada funcionaron y que solamente se deben hacer ajustes en la densidad de siembra y en los métodos de alimentación, ya que supervivencia del tratamiento 3 fue baja, probablemente por la competencia debida a la alta densidad, lo que ocasionó que todos no tuvieran acceso al alimento, generándose por lo tanto una alta tasa de canibalismo.

#### 1.5. Índice de condición K

Los índices de condición obtenidos muestran que el tratamiento del estanque fue el menor de todos (0.67) lo que coincide con la baja producción y supervivencia, ya que fueron sometidos a mayor condición de estrés tanto por la aparición de enfermedades cómo por los valores críticos de oxígeno a los que fueron expuestos en algunos tramos

del estudio. No obstante, llama la poderosamente la atención que el índice de condición final del tratamiento 3, de mayor densidad en las jaulas, fuese el mejor de todos, por encima de los otros dos tratamientos con menor densidad y mayor supervivencia (1 y 2).

Haciendo un análisis exhaustivo de esta condición, se puede sugerir, tomando en cuenta que no fue posible evidenciar episodios de mortalidades masivas en estas jaulas y que la cantidad de alimento suministrada fue similar a la del tratamiento 2, que en este tratamiento se dio mayor mortalidad por falta de alimento, lo que generó una elevada tasa de canibalismo, por lo que los organismos pequeños pudieron ser devorados por los más grandes. Esta tesis explicaría igualmente porqué la jaula con mayor densidad y menor sobrevivencia obtuvo el promedio de peso mayor al final del cultivo y porque en este tratamiento muchos de los camarones tenían solo un ojo.

#### 1.6. Producción por biomasa obtenida

La biomasa obtenida en el cultivo de organismos marinos en jaulas flotantes se calcula normalmente en metros cúbicos, debido a que la profundidad normalmente es mayor a un metro, cómo en el presente estudio donde la profundidad de cada jaula fue de 2.8 m. No obstante, para tener una mayor claridad con las unidades de medida, compararemos los resultados obtenidos en función del área en metros cuadrados. En este contexto esta investigación compara un cultivo con un área de 252 m<sup>2</sup> (jaulas flotantes) con un cultivo de 15.000 m<sup>2</sup> (estanque).

El cultivo en jaulas flotantes realizado en esta investigación es considerado súper-intensivo ya que su densidad de siembra (1.786 ind/m<sup>2</sup>) sobrepasó los 450 ind/m<sup>2</sup> establecidos por FAO (2021) como super intensivo. La biomasa final obtenida por metro cuadrado en las jaulas flotantes (10.2 kg/m<sup>2</sup>) y por metro cúbico (3.65 kg/m<sup>3</sup>), es una de las más altas reportadas en este tipo de estudios hasta la fecha.

Otros estudios en jaulas flotantes reportan una variedad de kg producidos por metro cuadrado, Paquotte *et al.*, (1998) reportaron producciones inferiores de 0.8 kg/m<sup>2</sup>; Lombardi *et al.*, (2006) utilizando jaulas flotantes de 1 m<sup>2</sup> con una densidad de siembra de 100 ind/m<sup>2</sup> obtuvieron una producción de 2.36±0.76 kg/m<sup>2</sup>/año, Zarain-Herzberg *et al.*,

(2006) utilizando densidades de 100, 150 y 200 ind/m<sup>2</sup> obtuvieron rendimientos variados de producción entre 0.82 y 1.3 kg/m<sup>2</sup>; Zarain-Herzberg *et al.*, (2010) utiliza jaulas de 200 m<sup>2</sup> con dos diferentes densidades de cultivo de 45 y 180 ind/m<sup>2</sup> produjeron una biomasa final de 0.6 y 1.9 kg/m<sup>2</sup> respectivamente.

Effendi, *et al.* (2016) comparando el uso de sistemas de biofloc y perifiton; con una primera fase de cría realizada en laboratorio y una segunda fase de engorde ejecutada en aguas abiertas, con una densidad poblacional de 550 ind/m<sup>2</sup> en jaulas de 27 m<sup>3</sup> obtuvieron una tasa de producción de biomasa de 6.45±1.63 kg/m<sup>2</sup> y de 2.7±0.28 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente.

En *Penaeus monodon* Maheswarudu *et al.*, 2016 realizaron un trabajo para validar la viabilidad del cultivo en donde propone el uso de estructuras flotantes como alternativa para evitar enfermedades en el cultivo de camarón; utilizó una jaula de 128 m<sup>3</sup> con una densidad de siembra de 1179 PL/m<sup>3</sup> al final del cultivo obtuvo una biomasa total de 207 kg.

En términos productivos, esta investigación ha demostrado el potencial técnico del cultivo de camarón en jaulas flotantes en el Golfo de Nicoya y que sin lugar a duda tiene margen de mejora tecnológica.

En el caso del cultivo en el estanque de Copal con una siembra inicial de 11.6 ind/m<sup>2</sup> y una cosecha de 600 kg obtenida en 98 días, puede ser calificado cómo semi-intensivo (Peña-Navarro y Chacón-Guzmán, 2019; FAO, 2021). Un cultivo semi intensivo estándar en condiciones normales en Costa Rica, puede producir una biomasa promedio en un rango de 848 a 904 kg/ha por periodo de ciclo corto (Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2014).

En estas condiciones del estanque, por la experiencia, el dueño de la finca esperaba una producción entre los 1.300 y 1.500 kg., no obstante, ésta fue menor en un rango entre 54-60% de lo obtenido con condiciones normales. Este resultado indica claramente que en este sistema de cultivo y en el periodo estudiado se presentaron factores externos que afectaron la producción final, entre ellos se sugieren los valores extremos de variables fisicoquímicas ya descritas y explicadas en el apartado anterior,

pero especialmente por la incidencia de enfermedades comunes en la industria camaronera actual y que serán explicadas en el siguiente apartado.

## **2. Diagnóstico mediante la técnica de qPCR de las principales enfermedades infecciosas que afectan a los camarones.**

En el cultivo de camarones es importante la prevención de enfermedades que causan daños en las economías de los productores. Las evidencias indican, que una vez que aparecen en el cultivo y cuando ocurren variaciones extremas en los factores ambientales, estos van a influir en el desarrollo y en el sistema inmune de los crustáceos (Rodríguez y Le Moullac, 2000; Aoki *et al.*, 2011; Millard *et al.*, 2020). Una vez se aparecen será difícil eliminar los agentes infecciosos, ya que el estrés ambiental afecta la capacidad de respuesta de los organismos ante un patógeno que ataca su sistema (Abad-Rosales *et al.*, 2011).

En esta investigación se encontró mayor presencia de agentes infecciosos en el estanque, donde los factores ambientales presentaron mayor variación; se registraron mayores temperaturas, bajos niveles de oxígeno y mayor cantidad de materia orgánica suspendida en la columna de agua. La supervivencia obtenida al final del periodo en el estanque indica que se presentó mortalidad probablemente por efecto de uno o varios de los agentes infecciosos detectados y por los factores ambientales desfavorables; mortalidad que no fue detectada o no fue reportada por el productor ni fueron visibles en los muestreos realizados.

Caso contrario sucede en las jaulas donde el alto recambio genera estabilidad ambiental y por ende se reducen los estresores ambientales, manteniendo una población más sana en cultivo. La alta mortalidad detectada en el tratamiento 3 de las jaulas flotantes, cómo se explicó anteriormente pudo deberse a la relación densidad respecto al acceso del alimento lo que influyó en una mayor tasa de canibalismo especialmente en los primeros días de cultivo.

## 2.1. Presencia del virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV)

No se observó la presencia del virus WSSV durante el periodo analizado. Este virus fue detectado por Peña-Navarro *et al.* (2020a) en una de un total de 15 camaronas ubicadas en el Golfo de Nicoya y el Pacífico Central de Costa Rica, mediante técnicas moleculares), y se reporta una prevalencia de 21,7 en la región latinoamericana (Morales *et al.*, 2011). Según registros del Servicio Nacional de Salud de Costa Rica se han reportado 98 casos en 10 años (SENASA, 2017).

Varela y Peña (2013) detectaron 45 casos con técnicas moleculares, mientras que, en otro estudio, analizaron tres fincas en dos periodos en el 2013 y 2014 y no encontraron la presencia del virus (Peña-Navarro & Varela-Mejías; 2016). Esta diferencia en los reportes puede deberse al tipo de estudios realizados o a las técnicas moleculares utilizadas (Peña-Navarro *et al.*, 2020a).

En el presente trabajo no se obtuvo resultados positivos utilizando qPCR e histopatología, debido al pequeño número de muestras analizadas (un estanque). La ausencia de WSSV se debe a un buen manejo de los estanques post cosecha, que incluyen la limpieza y desinfección con procesos químicos y secado al sol (Sánchez-Paz, 2010) y la utilización de reproductores libres de WSSV por medio de selección genética (Figueredo *et al.*, 2020).

Los monitoreos realizados por el SENASA podrían no estar detectando todos los casos de WSSV, debido a la poca cantidad de muestras que se analizan debido al alto costo de los exámenes (Com. per, Carolina Elizondo). Este virus puede permanecer viable hasta 12 días en el agua o en crustáceos infectados persistentemente o en forma subclínica, hay una fuerte relación entre la temperatura y la aparición de la enfermedad; los camarones pueden permanecer asintomáticos en temperaturas superiores a los 27 °C (Cuéllar-Anjel, 2013).

## 2.2. Presencia del virus de la necrosis hipodérmica y hematopoyética infecciosa o síndrome del enanismo (IHHNV)

El virus causante de IHHNV se ha reportado en Costa Rica, desde el año 2006 (OMSA, 2021). Por medio de técnicas de histología y PCR Peña-Navarro & Varela-Mejías (2016) detectaron dicha enfermedad en un 2.2% del total de muestras obtenidas (180) de tres fincas camaroneras que presentaban mortalidades entre un 70-100% en el Golfo de Nicoya. Además, se ha reportado la aparición de cuadros clínicos como la presencia de deformidades cuticulares, poco e irregular crecimiento; característico al síndrome de la deformidad y enanismo causado por el IHHNV en el camarón blanco en etapa crónica (OMSA, 2009).

En los análisis realizados en esta investigación se detectó IHHNV desde el inicio del periodo de producción en el agua del laboratorio y el agente se mantuvo presente en todos los camarones de todas las edades analizadas, tanto en jaulas flotantes como en el estanque de tierra, con mayor prevalencia a mayor la edad de cultivo y sobre todo en la finca de Copal. La presencia de IHHNV no se detectó en las larvas (PL12), ni en el agua de mar, agua de estanque y el lodo, pero aparece a los 14 días del cultivo.

IHHNV es capaz de transmitirse de forma vertical y horizontal (Tang *et al.*, 2002, OMSA, 2023), es posible que en el cultivo de jaulas flotantes organismos silvestres infectadas ingresaran en las redes a la hora de cambiarlas, y en el estanque a la hora del recambio de agua, y que permanecieran ahí durante el periodo de cultivo, pasando el virus a los otros camarones en forma horizontal (Nunan *et al.* 2001, Tang & Lightner 2001). También puede ser, que las larvas vinieran infectadas con el virus, pero no se detectara en la presente investigación, porque se analizó solamente un 3% de las muestras de las larvas (Parajeles-Mora *et al.*; 2021).

La presencia de cuerpos de inclusión intracelulares, prominentes, eosinofílicos en los análisis histológicos confirma la presencia de la enfermedad en los sitios de cultivo (Morales, 2010). Según Morales *et al.*, (2011), la prevalencia en Latinoamérica es del 13,4%, y se hipotetiza que su presencia se da en los laboratorios de las larvas y no ocasionan altas mortalidades. Últimamente, se ha disminuido la presencia del virus en

los cultivos debido al mayor control sanitario en los laboratorios productores de larvas. Sin embargo, tanto en el presente trabajo, como en el trabajo de Parajeles-Mora *et al.*, (2021) se encontró IHHNV en agua de laboratorio y no en larvas, lo que podría indicar una baja prevalencia del agente en larvas.

La secuencia de las muestras positivas del presente trabajo fue idéntica a las reportadas por Parajeles-Mora *et al.* (2021), aunque se determinó el linaje III de IHHNV, que se considera un linaje patógeno, se recomienda secuenciar el genoma completo de IHHNV presente en Costa Rica para confirmar el linaje.

### 2.3. Enfermedad de la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) o síndrome de la mortalidad temprana (EMS)

AHPND se detectó con bajas prevalencias en ambos sitios de cultivo mediante qPCR, no se pudo confirmar los resultados mediante secuenciación o histopatología.

En el cultivo del estanque terrestre se detectó la presencia de AHPND en el día de muestreo 3 (28 días) y 7 (56 días), mientras que en las jaulas flotantes en el día de muestreo 5 (85 días). Es posible que los camarones en el presente trabajo no se vieran afectados por AHPND ya que parece afectar sobre todo camarones de edades tempranas (10-30 días), en los que puede ocasionar un 100% de mortalidad, según Cuéllar-Angel (2013b); Aranguren *et al.*, (2017); Pantoja y Lightner, (2014); Tran *et al.*, (2013).

El contagio con AHPND se da en forma horizontal, por consumo de organismos infectados (Cuéllar-Angel, 2013b). Es importante investigar en futuros trabajos, si AHPND ingresó al estanque y a las redes por crustáceos infectados en el recambio de agua y en el cambio de redes, respectivamente. Peña-Navarro *et al.* (2020b) reportó por primera vez la presencia de AHPND en Costa Rica, en 2 de 15 fincas analizadas mismas que presentaron condiciones bajas de oxígeno disuelto durante los muestreos.

#### 2.4. Presencia de la enfermedad hepatopancreatitis necrotizante (NHP)

Esta enfermedad solo estuvo presente y fue detectada por qPCR en el estanque de tierra, con mayor prevalencia en la etapa final del cultivo. La presencia de gránulos característicos de la enfermedad se corroboró con cortes histológicos, además se encontraron células basofílicas internas y poco o nula reserva de lípidos, provocado por la proliferación de bacterias en el citoplasma de las células epiteliales de los túbulos del hepatopáncreas (Morales-Covarrubias, 2008). NHP ha sido reportado en la mayoría de los países productores de camarón en América Latina con prevalencias promedio de 39.3% (Morales-Covarrubias *et al.*, 2011), y en Costa Rica 67% entre el 2000 y 2015 (Morales-Covarrubias *et al.*, 2018).

Varela y Peña (2015) describieron un brote de NHP en el Golfo de Nicoya en el 2014, las fincas positivas registraron altas temperaturas y altas salinidades. En la finca en Copal se registró temperaturas de 29.7 y 28.9 °C y salinidades de 34 y 39 ups en los muestreos positivos (muestreo 5 y 7).

Otros factores como niveles bajos de oxígeno, valores extremos de pH, niveles altos de sólidos suspendidos pueden detonar la enfermedad; aunque puede pasar por desapercibida por días, una vez que aparece puede convertirse rápidamente en un evento fuera de control (Morales-Covarrubias *et al.*, 2011).

*Hepatobacter penaei* se transmite en forma horizontal por canibalismo o por agua contaminada (OMSA, 2023), se hipotetiza que puede haber ingresado por agua de recambio. En esta investigación, se confirmó su presencia por medio de qPCR, secuenciación e histopatología. El resultado de su secuenciación representa el primer reporte para Costa Rica y se someterá al banco de datos de GenBank.

### **3. Análisis del rendimiento productivo y financiero del cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes**

La implementación de nuevas alternativas productivas en la maricultura depende de manera fundamental de un programa integrado de investigación científica y desarrollo tecnológico. La acuicultura del país necesita la intervención de instituciones capaces de producir ideas productivas con un enfoque multidisciplinario y de manejo acorde a las condiciones ecológicas, económicas, políticas y sociales de la zona, para que los sectores beneficiados puedan llevarlas a cabo en el corto plazo. En este contexto, es esencial determinar la viabilidad productiva y financiera de las ideas innovadoras, como en el caso de la presente investigación.

El cultivo de camarones en jaulas flotantes representa una alternativa productiva distinta a la actividad diaria de los pescadores artesanales del Golfo de Nicoya, quienes comercializan su producción diariamente. A diferencia de esta práctica, el cultivo en jaulas es similar a la de un agricultor, quien cosecha y comercializa su producción después de varios meses de cultivo. Según Radulovich y Fuentes-Quesada (2019), es esencial adoptar una mentalidad de agricultor, lo que implica invertir recursos y mano de obra con un cierto riesgo, y obtener ganancias o ingresos en el futuro.

#### **3.1. Factibilidad productiva**

Los resultados presentados en este estudio representan la primera producción comercial de camarones *L. vannamei* en jaulas flotantes a pequeña escala, manejada por pescadores del Golfo de Nicoya. Anteriormente, sólo se habían reportado investigaciones con recomendaciones para implementar esta técnica a mayor escala, como lo demuestran los trabajos de Paquotte *et al.*, (1998), Lombardi *et al.* (2006), Zarain-Herzberg *et al.*, (2006) y (Zarain-Herzberg *et al.*, 2010), Peixoto *et al.*, (2013), Effendi *et al.*, (2016), Maheswarudu *et al.*, (2016), Radulovich & Fuentes-Quesada (2019), Cuvin-Aralar *et al.*, (2009), Peixoto *et al.*, (2013) y Maheswarudu *et al.*, (2016).

Luego del análisis de los resultados se ha determinado que el cultivo de camarón en jaulas flotantes en altas densidades es factible en términos productivos por las siguientes razones:

- a. Las condiciones del área de cultivo y en general de la parte interna del Golfo de Nicoya son propicias para el desarrollo de este tipo de cultivos. Las variables fisicoquímicas estuvieron dentro de los rangos aceptables y no presentaron inestabilidad durante el estudio.
- b. Los camarones crecieron adecuadamente con tallas promedio de cosecha y tasas de crecimiento absoluto cercanas a las obtenidas en cultivos en estanques desarrollados en la zona.
- c. La supervivencia en tratamientos 1 y 2 fueron superiores o similares a las obtenidas en condiciones normales en cultivos en estanques.
- d. Los análisis proximales del camarón mostraron una mejor calidad en términos de porcentaje de proteína mayor que en el estanque estudiado (Cuadro 6). Effendi *et al.*, (2016) sugieren que las condiciones brindadas por el cultivo en jaulas flotantes permiten que la carne de camarón producida cuente con mejor sabor, textura, olor y color.
- e. La incidencia de enfermedades fue menor en las jaulas que en el estanque y es de esperar que la respuesta inmune fuese mejor en las jaulas debido a la estabilidad de las variables ambientales, demostrado en índices de condición K mayores.
- f. En comparación con otros cultivos en jaulas, la presente investigación registró los valores más altos de producción por metro cuadrado registrados hasta la fecha, tasas de crecimiento altas y porcentajes de sobrevivencia adecuados.
- g. Se suministró alimento formulado desde el primer día de siembra y con una cantidad razonable de comederos distribuidos en la parte inferior de las jaulas en respuesta a la baja disponibilidad de alimento natural.
- h. Todo el camarón fue cosechado y vendido sin pérdidas adicionales fuera de los procesos normales de cultivo.

Sumado a lo anterior, la investigación abordó un escenario real de un proyecto comercial y por ende las variables en todos los sentidos fueron a escala real. Esto supone que los acontecimientos desarrollados en el proceso de estudio son los esperables en futuros proyectos similares y no una representación menor a escala de laboratorio. Los principales gestores de la producción fueron los propios productores artesanales, quienes siguieron las instrucciones de alimentación y mantenimiento de las jaulas.

Respecto a la producción obtenida comparada entre los tratamientos y con otros estudios en estanques de camarón, se puede asumir que el tratamiento con mejor rendimiento productivo fue el 1 (25 mil post larvas/jaulas). A pesar de que la biomasa cosechada fue mayor en el tratamiento dos y tres (Cuadro 5) el rendimiento en kg por millar de larvas sembrado fue mayor en el tratamiento 1, respecto al 2 y al 3 (9.32, 6.21 y 4.23 kg/millar respectivamente). No obstante, a pesar de que el rendimiento del tratamiento 1 (9.32 kg/millar) fue superior al rendimiento de 3.3 kg/millar obtenido en el estanque, se encuentra por debajo del rendimiento promedio indicado por Valverde-Moya y Alfaro-Montoya (2014) en varios estanques en el Golfo de Nicoya en condiciones normales de cultivo en ciclos cortos similares al de esta investigación (14.4 kg/millar).

Lo anterior indica que a pesar de ser factible el cultivo de camarón en jaulas aun requiere de mejoras tecnológicas para alcanzar rendimientos similares a los cultivos en estanques en condiciones normales de ciclo corto.

Por ello se considera relevante el ejercicio participativo entre todas las partes, realizado en esta investigación, donde se determinaron los principales problemas, las causas y con ello establecieron acciones estratégicas para mejorar la producción.

Según los resultados descritos en el Cuadro 9, tres problemas principales fueron definidos cómo prioritarios de abordar, sin embargo, cuando se realiza el análisis en conjunto, se determina que los tres tienen un denominador común, y tienen que ver con la cultura organizativa del pescador, acostumbrado a trabajar individualmente ya que en la mayoría de los casos tienden a definirse su propio horario y método de trabajo lejos de las recomendaciones de los profesionales.

Este individualismo fue reflejado en algunas acciones durante la gestión del cultivo ya que se logró observar algunos errores de manejo en todos los procesos desde la siembra, aclimatación, el cultivo y la cosecha. Sin embargo, conociendo las causas, todos estos inconvenientes pueden mejorarse, con acciones estratégicas tal cómo fueron igualmente planteadas en el Cuadro 9 y en consecuencia mejorar aún más la factibilidad productiva de estos proyectos. Esto implica que estos proyectos deben tener un fuerte componente de acompañamiento y capacitación previa y durante su desarrollo.

### 3.2. Factibilidad financiera

El cultivo desarrollado en esta investigación se desarrolló en el marco de un proyecto de cultivo en jaulas flotantes integrado con actividades turísticas. Los camarones producidos fueron a) vendidos por kilogramo para consumo fuera de la granja, b) vendidos por unidad como carnada para la pesca artesanal y c) como insumo principal en el restaurante flotante.

Esta modalidad de proyectos permite que un alto porcentaje del producto sea vendido a buenos precios directamente al público en el sitio de cultivo, evitando los bajos precios pagados por los intermediarios y evitando además los costos de la cadena de frío y transporte. Además, permite la venta de otros productos no producidos en la granja y la ejecución de otras actividades turísticas como tours que llegan a favorecer los ingresos económicos del proyecto integral.

En este contexto, la rentabilidad puede variar si las características de los proyectos varían, si son solo de cultivo para consumo en kilogramos o integran actividades como el turismo y la venta para carnada.

En este trabajo, los resultados de los flujos de caja a 5 años (Cuadro 10), demuestran que el cultivo de camarón en jaulas flotantes es o no rentable dependiendo del objetivo de comercialización que se ejecute.

En las condiciones reales en que se desarrolló el cultivo en esta investigación (proyecto de cultivo de camarón blanco integrado con turismo con tres densidades de siembra, con un promedio de 1.786 post larvas por metro cuadrado) se determinó que la actividad es rentable con posibilidades de mejorar financieramente si aumenta especialmente la supervivencia.

Al hacer el análisis de cada densidad investigada en un escenario similar al real, se ha logrado determinar que la densidad con mejores rendimientos productivos es la de 25.000 post larvas por jaula equivalente a una siembra en nueve jaulas de 225 mil post larvas a una densidad de 893/m<sup>2</sup>. Inclusive en un escenario pesimista, según los parámetros modificados en esta investigación para las tres densidades, brinda resultados VAN y TIR bajos pero positivos.

El escenario de flujo de caja para la densidad de siembra de 50 mil post larvas por jaula (1786/m<sup>2</sup>) fue también positivo en condiciones similares, no obstante, el VAN y la TIR son más bajas que los obtenidos en la densidad de 25 mil post larvas por jaula, aunque también aceptables. Caso contrario a lo encontrado en la densidad más alta de 75 mil post larvas por jaula (2.679/m<sup>2</sup>) donde el VAN es negativo y la TIR igual a la tasa de descuento, por lo que un proyecto de este tipo se debería rechazar, aunque este integrado con turismo.

Ante la gran pregunta si este tipo de proyecto es rentable sin el complemento del turismo, tomando como base la densidad 893 camarones/m<sup>2</sup>, se logró determinar que es rentable siempre y cuando exista un porcentaje de venta para carnada igual o superior al 55%, o del 30% en un escenario optimista, algo factible solamente en zonas de pesca responsable o similares.

Para lograr la rentabilidad del cultivo con el objetivo tradicional de venta por kg. para consumo que se realiza en las camaroneras en tierra, se requiere aun mejorar en las jaulas el crecimiento, ya que la supervivencia fue bastante buena en la densidad del tratamiento 1 definida como la de mejores resultados.

Para mejorar el crecimiento es importante trabajar en la nutrición y estrategias de alimentación en este tipo de cultivo en jaulas marinas, ya que uno de los principales costos de la producción en acuicultura corresponde a la compra de alimentos formulados que representan más del 50% de los costos de producción (Yapuchura *et al.*, 2018).

En esta investigación el uso de alimento elaborado con descartes de la pesca influyo positivamente en el rendimiento financiero del cultivo, además de darle un valor agregado a la pesca desarrollada en los alrededores de Isla Venado, implicó además un efecto positivo al medio ambiente y un impacto socioeconómico adicional para el grupo de mujeres que lo elaboraron. Radulovich & Fuentes-Quesada, (2019) al utilizar los descartes y subproductos de la pesca como alimento, señalaron que puede ser una buena acción para mejorar la rentabilidad.

Mejorar la fórmula de la dieta e incluirla mayor tiempo podría mejorar el crecimiento y a su vez disminuir los costos de producción.

Otros aspectos que pueden mejorar la rentabilidad son bajar los costos de inversión y escalar la producción con mayor cantidad de jaulas, una estrategia necesaria de desarrollar en futuras investigaciones.

En general, queda demostrado que el uso de estructuras flotantes es una buena opción de producción de camarones, con un potencial alternativo de producción para familias de bajos ingresos en áreas costeras (Lombardi-Herzberg *et al.*, 2010; Lombardi *et al.*, 2006; Paquotte *et al.*, 1998; Wasielesky *et al.*, 2001; Zarain-Herzberg *et al.*, 2006; Radulovich & Fuentes-Quesada, 2019). Sin embargo, esta investigación demuestra que la rentabilidad de los cultivos dependerá de los objetivos de comercialización y que para alcanzar rentabilidades positivas en la forma tradicional de comercialización se requieren mejorar varios aspectos técnicos ya identificados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1.1 Conclusiones

1. El recambio continuo de agua marina debido a la variación de las mareas y corrientes en las jaulas flotantes ubicadas en el mar, hace que las variables fisicoquímicas del agua se encuentren la mayoría del tiempo en los rangos considerados óptimos para el cultivo del camarón blanco. Además, permanecen estables, lo que evita la inmunosupresión por estrés ambiental, que podría provocar un bajo crecimiento, episodios de mortalidad y la proliferación de enfermedades comunes en el cultivo del camarón.
2. Aunque las tasas de crecimiento obtenidas en este trabajo se consideran buenas a pesar de la alta densidad de cultivo en las jaulas, siguen estando por debajo de las obtenidas en las fincas camaroneras. Esto implica que se deben mejorar varios aspectos técnicos en el cultivo en jaulas flotantes, lo que se considera limitante para obtener rentabilidades positivas en los escenarios de comercialización tradicional por intermediarios.
3. A pesar de que se incluyó alimento fresco elaborado con descartes de la pesca y otros insumos al final del período de cultivo, se lograron obtener FCA aceptables. Esto sugiere que las estrategias de alimentación fueron eficientes, aunque aún es necesario mejorar en este campo para lograr un mejor crecimiento.
4. La supervivencia obtenida en las jaulas flotantes en los tratamientos 1 y 2, es muy buena, especialmente en el tratamiento 1. Por lo tanto, se concluye que las condiciones de cultivo y su gestión fueron eficientes en términos técnicos y que, aunque se detectaron algunas enfermedades, estas no afectaron significativamente el cultivo.
5. El elevado índice de condición K final del tratamiento 3 de las jaulas flotantes, considerando la elevada densidad de siembra, la insuficiente alimentación aplicada en este tratamiento y el peso promedio final en la cosecha, sugiere que se presentó

un elevado canibalismo que influyó en que solamente sobrevivieran los más fuertes y grandes. Es posible que esta densidad sea demasiado alta para una jaula flotante, lo que provoca que un porcentaje de la población no acceda fácilmente al alimento, lo que genera una alta variación de tallas.

6. La biomasa obtenida en esta investigación ya sea por metro cuadrado o cúbico, es una de las más altas registradas hasta la fecha en trabajos similares de cultivo de camarón blanco en jaulas flotantes en el mar. Esto sugiere que las metodologías empleadas, la gestión del cultivo y la selección del sitio de cultivo contribuyeron a los buenos resultados.
7. La densidad óptima de cultivo se encontró en 25 mil post larvas por jaula, mientras que la densidad de 50 mil post larvas se consideró aceptable tanto técnica como económicamente. Sin embargo, la densidad de 75 mil post larvas se consideró inviable financieramente a menos que se produzca un aumento significativo en el porcentaje de supervivencia.
8. La capacitación y el acompañamiento técnico por parte de instituciones especializadas son fundamentales para corregir y solventar problemas técnicos en la implementación de los cultivos. Se necesita un esfuerzo continuo para mejorar la biotecnología del cultivo y las buenas prácticas de manejo para garantizar el control sanitario y la protección ambiental adecuados durante todo el proceso.
9. La inclusión de alimentos elaborados artesanalmente con descartes de la pesca en las etapas finales del cultivo puede ser una estrategia válida para reducir los costos de producción sin afectar significativamente el crecimiento de los camarones.
10. El cultivo en el estanque presentó problemas de estabilidad en las variables fisicoquímicas y la presencia de enfermedades comunes en la industria del camarón en Costa Rica y otros países. Se necesitan estrategias tecnológicas para mejorar la resistencia de los camarones a estas enfermedades y mejorar las condiciones ambientales de cultivo en estos sistemas.

11. El análisis financiero realizado para esta investigación concluye que el cultivo desarrollado en este proyecto de investigación integrado con turismo fue rentable, que la densidad con mejor rendimiento financiero es la de 25 mil post larvas por jaula, que para un escenario sin turismo la rentabilidad se obtiene solamente con un porcentaje de venta para carnada del 55% y que en el escenario donde no haya venta para carnada aún se requieren mejoras técnicas para mejorar el crecimiento y con ello posiblemente alcanzar la rentabilidad económica positiva.
12. A partir de todo el proceso investigativo llevado a cabo, es posible concluir de forma general, que el sistema de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes representa una alternativa productiva viable para ser implementada por agrupaciones organizadas en la zona del Golfo de Nicoya de Costa Rica. Esto último hace posible que las personas pescadoras de la zona cuenten con más y mejores alternativas productivas, con un menor impacto sobre el ambiente. Asimismo, al ser el camarón blanco una especie altamente comercializada en la zona, siempre habrá una alta demanda del producto. De esta manera se constituye como una actividad que puede consolidarse de forma constante y beneficiar económicamente al sector pesquero artesanal.
13. Para lograr un crecimiento sostenible en la camaronicultura, especialmente en sistemas intensivos de cultivo, es esencial desarrollar constantemente conocimientos en biotecnología del cultivo y buenas prácticas de manejo para garantizar el control sanitario y la protección ambiental adecuados durante todo el proceso (Abad-Rosales *et al.*, 2011). Con este propósito, la presente investigación ha permitido la implementación de alternativas de cultivo que generan conocimientos sobre el manejo de un recurso, para establecer sistemas productivos mejores y más innovadores, adaptados a las condiciones ambientales del cultivo y las necesidades del sector pesquero, al mismo tiempo que se minimizan los efectos negativos sobre el medio ambiente.

## 1.2. Recomendaciones

1. Para mejorar el crecimiento de los camarones en las jaulas flotantes debe trabajarse en aspectos nutricionales como: optimizar la fórmula de la dieta fresca aportada en este trabajo y mejorar significativamente el acceso de todos los camarones al alimento suministrado por medio de sistemas de alimentación, con mayor área de superficie y mayor frecuencia de alimentación, que evite la disparidad de tallas y disminuya el canibalismo.
2. Es necesaria la Implementación de estructuras de puestos y reglamentos que mejoren la disciplina en el manejo del cultivo en los grupos de productores, gracias a la capacitación organizacional y al acompañamiento institucional.
3. Se recomienda la implementación de prácticas de manejo adecuadas para la prevención y control de enfermedades, tanto en estanques terrestres como en jaulas flotantes; prácticas como el secado sanitario de los estanques de cultivo y la implementación de monitoreos constantes de las principales enfermedades presentes en el país (Morales *et al.*, 2011). Es necesario impulsar estudios para mejorar las especies de cultivo, generar semilla que sea resistentes a enfermedades a través del mejoramiento genético (Pantoja y Lightner, 2014). Además, en caso de verificar la presencia de una enfermedad por medio de técnicas moleculares será necesario confirmar por medio de otro método.
4. Para tener un mejor panorama de la situación sanitaria del país, es recomendable el estudio sistemático de todos los agentes infecciosos por un periodo de al menos dos años consecutivos, con muestreos en época seca y época lluviosa. Al detectar tres agentes infecciosos en un mismo sitio de cultivo, presentando una alta mortalidad al final del proceso (cultivo en estanque) indica que la presencia de estos puede estar ocasionando pérdidas considerables en los cultivos de camarones a nivel país. Es necesario la intervención con aplicaciones de buenas prácticas de cultivo para disminuir brotes epidemiológicos ocasionados por estrés.

5. Los muestreos realizados quincenalmente nos permiten obtener una cantidad considerable de muestras para analizar, sin embargo, las técnicas utilizadas requieren de reactivos y procesos complejos, por lo que se vuelven poco viables económicamente. Sin embargo, nos permiten conocer el perfil de infección poblacional en un sitio de cultivo. Además, sería importante aplicar técnicas *in situ* como el cultivo de cepas bacterianas y análisis en fresco.
6. El camarón blanco es un recurso valioso en la industria alimenticia mundial con grandes proyecciones de demanda a futuro. Se recomienda seguir estudiando y mejorando aspectos técnicos del cultivo en jaulas flotantes que permitan su rentabilidad para ser comercializado para consumo de la forma tradicional. Lograr esta rentabilidad implicaría para Costa Rica el desarrollo de una nueva industria marina capaz de generar empleo y riqueza en las zonas costeras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Rosales, S. M., M. Betancourt-Lozano, F. Vargas-Albores y A. Roque. (2011). Interacción de factores físicos, químicos y biológicos en el cultivo del camarón. In: Ruiz-Luna, A., C. A. Berlanga-Robles & M. Betancourt-Lozano (Eds.). *Avances en Acuicultura y Manejo Ambiental*. Mazatlán. Trillas, pp. 151-164.
- Ahn, Y. S., Piamsomboon, P., Tang, K. T. F., Han, J. E. and Kim, J. H. (2017). Complete Genome Sequence of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease - Causing *Vibrio campbellii* LA16- V1, Isolated from *Penaeus vannamei* Cultured in a Latin American Country. *Genome Announcements*, 5 (37). <https://doi.org/10.1128/genomeA.01011-17>
- Alfaro, R. R., Blanco, C. S., y Corrales, L. V. (2017). Avances biotecnológicos sobre maricultura en Costa Rica. Una revisión de la investigación desarrollada por la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional. *Uniciencia*, 31(2), 111-119. <https://doi.org/10.15359/ru.31-2.8>
- Alpuche J., Pereyra, A. y C. Agundis. (2005). Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5): 1-10.
- Ananda, R., Sridhar, R., Balachandran, C., Palanisammi, A., Ramesh, S., & Nagarajan, K. (2017). Pathogenicity profile of *Vibrio parahaemolyticus* in farmed Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish Shellfish Immunology*, 67: 368-381. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.020>
- Aoki, T., Wang, H. C., Unajak, S., Santos, M. D., Kondo, H., & Hirono, I. (2011). Microarray analyses of shrimp immune responses. *Marine Biotechnology*, 13(4), 629-638. <https://doi.org/10.1007/s10126-010-9291-1>
- Arias, S., Zúñiga, G., Zamora, E., y Zurburg, W. (1998). Perspectivas para el cultivo de ostras en el golfo de Nicoya (ING). *Uniciencia*, 15(1), 9-26

- Baena, G. (2017). Metodología de la investigación (3a. ed.). Grupo Editorial Patria. ISBN ebook: 978-607-744-748-1.
- Baez-Paleo, (2008). Ventajas de las jaulas. In: Espinosa de los Monteros, J. (Ed.), Ingeniería de la Acuicultura Marina. Instalación de peces en el mar. Publicaciones Científicas y Tecnológicas del Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España. 73–78 pp.
- Bell, T. A., & Lightner, D. V. (1988). A Handbook of Normal Shrimp Histology. Special Publication No. 1, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, 114 pp.
- Boada, M., De Donato, M. y Rodulfo, H. (2008). Detección del virus de la Necrosis Infecciosa Hipodérmica y Hematopoyética (IHHNV) en camarones blancos cultivados asintomáticos, *Litopenaeus vannamei* (BOONE), en Venezuela. *Revista Científica*, 18(1), 07-11.
- Boyd, C. (1992). Shrimp pond effluents: observations of the nature of the problem on commercial farms. Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society. USA. 1992.
- Brenes, C. L., León, S., Y Chaves, J. (2001). Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(2), 145–152. <https://doi.org/10.15517/rbt.v49i2.26302>
- Brugnoli, E., Y Morales, A. (1999). Parámetros físico-químicos de la columna de agua, en la zona de Punta Morales, Golfo de Nicoya, durante un evento "El Niño". *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 6(2): 52-57.
- Bustillo, M. I., Escobedo, C. M., Y Sotelo, R. R. (2009). Revisión de patogénesis y estrategias moleculares contra el virus del síndrome da la mancha blanca en camarones peneidos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100001>

- Cabrera, P. J., Zamora, M. E. y Urpí, P. O. (1983). Determinación del tamaño comercial de la ostra de manglar, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) en sistema de cultivo suspendido en Estero Viscaya, Limón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31(2), 257-261. <http://doi.org/10.15517/RBT.V31I2.24989>
- Carvajal, D. F. (2013). Pesca artesanal y pobreza en comunidades aledañas al Golfo de Nicoya. *Revista de Ciencias Sociales*, 2(140), 137-152. <https://doi.org/10.15517/RCS.V0I140.12319>
- Castellanos, G. J. (2003). PyMES Innovadoras. Cambios de Estrategias e Instrumentos. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 47, 10-33.
- Castillo, G. C. y Martínez, J. M. (2011). ¿Qué es la TIR de un proyecto de inversión? *Extoikos*, (2), 129-130.
- Cavalli, L. S., Marins, L. F., Netto, S., & Abreu, P. C. (2008). Evaluation of White Spot Syndrome Virus (WSSV) in wild shrimp after a major outbreak in shrimp farms at Laguna, Southern Brazil. *Atlántica Rio Grande*, 30(1): 45-52.
- Chacón-Guzmán, J. (2010). Efectos de la tecnología de cultivo del pargo manchado *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) (pisces: Lutjanidae) en jaulas flotantes en el Golfo de Nicoya, Costa Rica (Tesis de Maestría). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Chacón-Guzmán, J., Carvajal-Oses, M., & Herrera-Ulloa, Á. (2021). Optimización del cultivo larvario para la producción de juveniles del pargo manchada *Lutjanus guttatus* en Costa Rica. *Uniciencia*, 35(2), 1-21. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-2.2>
- Chien, Y. (1992). "Water quality requirements and management for marine shrimp culture. Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming". World Aquaculture Society. USA.
- Chim, L., Castex, M., Pham, D., Brun, P., Lemaire, P., Wabete, N., Schmidely, P. & Mariojous, C. (2008). Evaluation of floating cages as an experimental tool for

- marine shrimp culture studies under practical earthen conditions. *Aquaculture*, 279, 63–69.
- Cowley J. A., Dimmock, C. M., Spann, K. M., & Walker, P. J. (2000). Detection of Australian gill-associated virus (GAV) and lymphoid organ virus (LOV) of *Penaeus monodon* by RT-nested PCR. *Diseases of Aquatic Organisms*, 36: 159-167. <http://doi.org/10.3354/dao039159>.
- Cowley, J. A., Rao, M., & Coman, G. J. (2018). Real-time PCR tests to specifically detect IHHNV lineages and an IHHNV EVE integrated in the genome of *Penaeus monodon*. *Diseases of aquatic organisms*, 129(2), 145-158. <https://doi.org/10.3354/dao03243>
- Cuéllar-Anjel, J., Lara, C., Morales, V., De García, A., y García-Suárez, O. (2010). Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. Oirsa-Ospesca. El Salvador, C.A. pp 132.
- Cuéllar-Anjel, J; Morales, V; Lara, C; & García, O. (2014). Buenas prácticas y bioseguridad para el cultivo del camarón blanco *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* (Boone, 1931). En: Morales, V. & J. Cuéllar-Anjel (eds.). 2014. Guía Técnica – Patología e Inmunología de Camarones Penaeidos. OIRSA, Panamá, Rep. de Panamá. 382 pp
- Cuéllar-Anjel, Jorge. (2013). "Enfermedad de las manchas blancas". Center for Food Security and Public Health. Fichas de las enfermedades. 50. [http://lib.dr.iastate.edu/cfsph\\_factsheets\\_es/50](http://lib.dr.iastate.edu/cfsph_factsheets_es/50)
- Cuéllar-Anjel, Jorge. (2013b). "Síndrome de mortalidad temprana (EMS)". Center for Food Security and Public Health. Fichas de las enfermedades. 50. [http://lib.dr.iastate.edu/cfsph\\_factsheets\\_es/50](http://lib.dr.iastate.edu/cfsph_factsheets_es/50)
- Cuvin-Aralar, M. L., Lazartigue, A. G. & Aralar, E. V. (2009). Cage culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) at different stocking densities in a shallow eutrophic lake. *Aquaculture Research*, 40, 181–187.

- De la Rosa-Vélez, J., y Bonami, J. R. (2006). Detección molecular de enfermedades virales que afectan el desarrollo del cultivo del camarón. *Hidrobiológica*, 16(3), 275–293. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v16n3/v16n3a9.pdf>
- Dhar, A. K., Roux, M. M. & Klimpel, K. R. (2001). Detection and Quantification of Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus and White Spot Virus in Shrimp Using Real-Time Quantitative PCR and SYBR Green Chemistry. *Journal Of Clinical Microbiology*, 39(8): 2835–2845. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.8.2835-2845.2001>
- Durand, S. V., Tang, K. F. & Lightner, D. V. (2000). Frozen commodity shrimp: potential avenue for introduction of white spot syndrome virus and yellow head virus. *Journal of Aquatic Animal Health*, 12: 128-135. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(200006\)012<0128:FCSPAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(200006)012<0128:FCSPAF>2.0.CO;2)
- Effendi, I., Suprayudi, M. A., Surawidjaja, E. H., & Sukenda, M. Z. (2016). Production performance of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under sea floating net cages with biofloc and periphyton juvenile. *Bioflux*, 9(4), 823-832. <http://www.bioflux.com.ro/aac1>
- Eng, C.T. & Tech, E. (2002). Introduction and history of cage culture. In: Woo, P. T. K., Bruno, D. W., Lim, L. H. S. (Eds.), *Diseases and Disorders of Finfish in cage Culture*. CAB International publishing, Oxon (UK). 1–40 pp.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1995). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vertebrados. 1:418-537.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). Programa Información de Especies Acuáticas, 11-15.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). Métodos sencillos para la Acuicultura. [http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/f1\\_s.htm](http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/f1_s.htm)
- Figueredo, A., Fuentes, J., Cabrera, T., León, J., Patti, J., Silva, J., Ron, E., Pichardo, O. & Marcano, N. (2020). Bioseguridad en el cultivo de camarones penaeidos: una revisión. *Revista Iberoamericana de Acuicultura*, 2. 1-22. <https://doi.org/10.33936/at.v2i1.2409>.
- Fonseca-Rodríguez, C., Chavarría-Solera, F., & Mejía-Arana, F. (2013). Variación estacional de la composición proximal en tres especies de importancia comercial del Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 429–437.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis, and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22:241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Gavidia, D. (2018). Efecto de la densidad en el crecimiento (engorde) de langostino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), cultivado en jaulas flotantes en el litoral de Máncora. Tesis para optar el grado de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional de Piura. Perú.
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., ... & Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1(9), 1317-1324. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0257-9>
- Godínez-Siordia, D., Chávez-Sánchez, M., y Gómez-Jiménez, S. (2011). Acuicultura epicontinental del camarón blanco del pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1),55-62.
- Gómez, B., A. Roque., Y Guerra, A. (2001). Enfermedades infecciosas más comunes en la camaronicultura en México y el impacto del uso de antimicrobianos. In: Paez-Osuna F. (ed.). Camaronicultura y medio ambiente. ICMYL-UNAM, México. 448 p.

- González, S. C., Ávila, E. B., y Venegas, A. G. (2017). Impacto socioeconómico y ambiental del Área Marina de Pesca Responsable en el sector de Costa de Pájaros, Puntarenas, 2015. *Pensamiento Actual*, 17(29), 83-94. <https://doi.org/10.15517/PA.V17I29.31552>
- Gordo, Á., y Serrano, A. (2008). Estrategias y prácticas cualitativas de investigación. Pearson Educación S.A. Madrid, España. ISBN: 9788483224205.
- Han, J. E., Tang, K. F., Tran, L. H., & Lightner, D. V. (2015a). *Photorhabdus* insect-related (Pir) toxin-like genes in a plasmid of *Vibrio parahaemolyticus*, the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) of shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 113: 33-40.
- Han, J., Tang, K., Lightner, D. V. (2015c). Genotyping of virulence plasmid from *Vibrio parahaemolyticus* isolates causing acute hepatopancreatic necrosis disease in shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 115: 245–251.
- Han, J.E., Tang, F. J., Pantoja, R. C., White, L. B., & Lightner, V. D. (2015b). qPCR assay for detecting and quantifying a virulence plasmid in acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) due to pathogenic *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture*, 442, 12-15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.024>.
- Herrera-Ulloa, A., Chacón-Guzmán, J., Zúñiga-Calero, G., & Jiménez-Montealegre, R. (2010). Spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) aquaculture research and development as socio-economic alternative for Costa Rican fisheries communities. *World Aquaculture*, 41, 20-22.
- Herrera-Ulloa, Á., Chacón-Guzmán, J., Zúñiga-Calero, G., Fajardo, Ó., y Jiménez-Montealegre, R. (2009). Acuicultura de pargo la mancha *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en Costa Rica dentro de un enfoque ecosistémico. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 1, 197-213. <https://doi.org/10.15359/revmar.1.11>.
- Jang, In-Kwon., Meng, Xian-Hong., Seo, Hyung-Chul., Cho, Yeong-Rok., Kim, Bong-Rae., Ayyaru, Gopalakannan. & Kim, Jong-Sheek. (2009). A TaqMan real-time PCR assay for quantifying white spot syndrome virus (WSSV) infections in wild

- broodstock and hatchery-reared postlarvae of fleshy shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *Aquaculture*, 287(1-2), 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.038>.
- Jiménez-Guzmán, F. (2009). Técnica de Diagnóstico Presuntivo para Enfermedades de Camarón. Curso Teórico Práctico, Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero, México, 115 p.
- Joshi, J., Srisala, J., Truong, Y., Chen, I., Nuangsaeng, B., Suthienkul, O., Lo, C., Flegel, T., Sritunyalucksana, K. & Thitamadee, S. (2014). Variation in *Vibrio parahaemolyticus* isolates from a single Thai shrimp farm experiencing an outbreak of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Aquaculture*, 428–429: 297-302. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.030>
- Jouffray, J. B., Blasiak, R., Norström, A. V., Österblom, H., & Nyström, M. (2020). The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean. *One Earth*, 2(1), 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.016>
- Krause, G., Brugere, C., Diedrich, A., Ebeling, M.W., .... Ferse, C. A. (2015). A revolution without people? Closing the people-policy gap in aquaculture development. *Aquaculture*, 447: 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.009>.
- Kumlu, M., Eroldogan, O. T. & Aktas, M. (2000). Effect of temperature and salinity on larval growth, survival, and development of *Penaeus semisulcatus*. *Aquaculture*, 188: 167-173.
- Lee, C. & Lee, K. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0105-0>.
- Lightner D. V. (ED.) (1996). A Handbook of Shrimp Pathology and Diagnostic Procedures for Diseases of Cultured Penaeid Shrimp. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, 304 pp

- Lightner, D. V., & Redman, R.M. (1998). Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture*, 164: 201-220.
- Lizano, O. (2008). Dinámica de aguas alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 31– 48.
- Lledó, P. (2007). Comparación entre distintos Criterios de decisión (VAN, TIR y PRI). Recuperado de: <https://pablolledo.com/content/articulos/03-03-07-Criterios-decision-Lledo.PDF>.
- Lo, C., Aoki, T., Bonami, J., Flegel, T., Leu, J., Lightner, D., Stentiford, G., Söderhäll, K., Walker, P., Wang, H., Xun, X., Yang, F. & Vlak J. (2012). Nimaviridae. In: *Virus Taxonomy: Classification and Nomenclature of Viruses: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*, King A. M. Q., Adams M. J., Carstens E. B., & Lefkowitz E. J. (Eds). Elsevier Academic Press, San Diego, CA. USA, pp: 229–234.
- Lombardi, J. V., de Almeida Marques, H. L., Pereira, R. T. L., Barreto, O. J., & de Paula, E. J. (2006). Cage polyculture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and the Philippines seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Aquaculture*, 258(1-4), 412-415. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.022>
- Lotz, J. & Soto., A. (2002). Model of white spot syndrome virus (WSSV) epidemics in *Litopenaeus vannamei*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 50: 199–209. <https://doi.org/10.3354/dao050199>
- Loy, J., K., Frelie, P. F., Varner, P. & Templeton, J. W. (1996). Detection of the etiologic agent of Necrotizing Hepatopancreatitis in cultured *Penaeus vannamei* from Texas and Peru by polymerase chain reaction. *Diseases of Aquatic Organisms*, 25:117–122.
- Loy, J., K; Dewhirst, F. E., Weber, W., Frelie, P. F., Garbar, T. L., Tasca, S. I., Templeton, J. W. (1996b). Molecular phylogeny and in situ detection of the etiologic agent of necrotizing hepatopancreatitis in shrimp. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(9): 3439-3445.

- Maheswarudu, G., Rao, G. S., Ghosh, S., Ranjan, R., Dash, B., Muthukrishnan, P., & Veena, S. (2016). Experimental culture of black tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius, 1798 in open sea floating cage. *Indian Journal of Fisheries*, 63(2), 47-54.
- Maldonado, G. L. y Paredes, G. M. (2015). Procedimiento manual del cálculo de los indicadores VAN y TIR de un Flujo de Caja. Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1214.4807>
- Martínez, I., Amaya, A., Arrieta, C., Roque, M., Hernández, C., Cea, N. Y Torres, B. (2019). Comparación de la productividad primaria con aplicaciones de lombriabono y fertilizante comercial, en cultivos de camarones blancos (*Litopenaeus vannamei*). *Ciencia e Interculturalidad*, 24(01), 174–188. <https://doi.org/10.5377/rci.v24i01.8013>
- Martínez, L. (1994). Cultivo de Camarones Peneidos, principios y prácticas. AGT Editor. México.
- Martinez-Porchas, M., Manuel-Leyva, J., Gollas-Galvan, T., Vargas-Albores, F. and Villalpando-Canchola, E. (2016). Proteomic and Genomic characterization of the necrotizing hepatopancreatitis bacterium.
- Mena, L. (1987). Cultivo de camarón marino aprovechando las salinas en la estación lluviosa: Lepanto de Puntarenas, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Práctica Dirigida de Licenciatura no publicada. Universidad de Costa Rica.
- Millard, R. S., Ellis, R. P., Bateman, K. S., Bickley, L. K., Tyler, C. R., van Aerle, R., & Santos, E. M. (2020). How do abiotic environmental conditions influence shrimp susceptibility to disease? A critical analysis focused on White Spot Disease. *Journal of invertebrate pathology*, 107369. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107369>
- Morales, M. S. (2010). Enfermedades del camarón. Detección mediante análisis en fresco e histología, 180 pp. Trillas, México.

- Morales, M. S., Ruiz, A., Pereira, A., Solís, V. T., Y Conroy, G. (2011). Prevalencia de enfermedades de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) cultivados en ocho regiones de Latinoamérica. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 21(5): 434-446.
- Morales, V. y Cuéllar, J. A. (eds.). (2014). Guía Técnica – Patología e Inmunología de Camarones Penaeidos. OIRSA, Panamá, República de Panamá. 382 pp.
- Morales-Covarrubias, M. S. (2008). Enfermedades bacterianas. En: V. Morales, y J. Cuéllar- Anjel, editores, Guía técnica - Patología e inmunología de camarones penaeidos. Programa CYTED Red II-D Vannamei, Panamá, República de Panamá. p. 117-134.
- Morales-Covarrubias, M. S., Cuéllar-Anjel, J., Varela-Mejías, A., & Elizondo-Ovares, C. (2018). Shrimp bacterial infections in Latin America: A review. *Asian Fisheries Science*, 31, 76–87. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2018.31.s1.005>
- Moreno-Díaz, M. L., y Alfaro, E. J. (2018). Valoración socioeconómica del impacto de la variabilidad climática sobre la pesca artesanal en Costa Rica. *Uniciencia*, 32(1), 18-31. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.32-1.2>
- Moustafa, E. M., Saad, T. T., Khalil, R. H., Dawood, M. A., & Lolo, E. E. (2020). The ameliorative role of synbiotic culture techniques application in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during nursery stage. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 8(3), 260-277. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.3.260.277>
- Nunan, L. M., Arce, S. M., Staha, R. J. & Lightner, D. V. (2001). Prevalence of infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus (IHHNV) and white spot syndrome virus (WSSV) in *Litopenaeus vannamei* in the Pacific Ocean off the coast of Panamá. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32: 330-334.
- Nunan, L. M., Pantoja, C. & Lightner, D. V. (2008). Improvement of a PCR method for the detection of necrotizing hepatopancreatitis in shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 80, 69-73. <https://doi.org/10.3354/dao01908>

- Nunan, L. M., Pantoja, C. R., Gomez-Jimenez, S. & Lightner, D. V. (2013). "*Candidatus Hepatobacter penaei*," an intracellular pathogenic enteric bacterium in the hepatopancreas of the marine shrimp *Penaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda). *Applied and Environmental Microbiology*, 79(4):1407-1409. <http://aem.asm.org/content/79/4/1407.abstract>
- Nunan, L., Lightner, D., Pantoja, C. & Gomez-Jimenez, S. (2014). Detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico. *Diseases Of Aquatic Organisms*, 111: 81-86.
- OMSA. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2021). Situación de la enfermedad, OIE-WAHIS. <https://wahis.oie.int/#/dashboards/country-or-disease-dashboard>
- OMSA. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2022). Necrosis Hipodérmica y Hematopoyética infecciosa. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-manual-acuatico/>
- Otárola, A. (2008). Producción acuícola continental en Costa Rica. *Ambientico*, 179, 3-6.
- Pacheco-Urpí, O. y Ulate-Garita, G. (2016). Programa Desarrollo integral de la zona rural del Golfo de Nicoya: Logros y experiencias. *Universidad en Diálogo. Revista de Extensión*, 6(1), 199-214.
- Palomo, G. M. (2005). Los procesos de gestión y la problemática de las PYMES. *Ingenierías*, 28, 25-31.
- Pantoja, C. R. y Lightner, D. V. (2014). Enfermedades virales del camarón. En: Morales, V. y Cuéllar-Anjel. J. (eds). Guía técnica. Patología e inmunología de camarones penaeidos, pp 99-164. OIRSA, Panamá.
- Paquotte, P., Chim, L., Martin, J. L. M., Lemos, E., Stern, M., & Tosta, G. (1998). Intensive culture of shrimp *Penaeus vannamei* in floating cages: Zootechnical, economic and environmental aspects. *Aquaculture*, 164(1-4), 151–166. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00183-5)

- Parajeles-Mora, J. F., Peña-Navarro, N., Solorzano-Morales, A. & Dolz, G. 2021. Detection of IHNV in *Litopenaeus vannamei* farms in Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 587-598. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v32i2.43179>.
- Paulette, O. O., y Abarca, J. B. (1998). Crecimiento de juveniles de pargo mancha (*Lutjanus guttatus*) utilizando alimento granulado en condiciones de laboratorio. *Uniciencia*, 15(1), 45-48.
- Peixoto, S., Lopes, D., Wasielesky, W. (2013). Estuarine cage culture of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* at different stocking densities. *Journal of Shellfish Research*, Vol. 32, No. 2, 559–563, 2013. 559–563.
- Peña N. 2009. Práctica laboral y profesional realizada en producciones de engorde de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en la zona de San Buenaventura de Colorado de Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Práctica de bachiller en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia, Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, 26 pp.
- Peña-Navarro, N., & Varela Mejías, A. (2015). Análisis histopatológico en *Litopenaeus vannamei* infectado con *Vibrio parahaemolyticus*. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 43. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16892>
- Peña-Navarro, N., & Varela-Mejías, A. (2016). Prevalence of the principal infectious diseases in cultured white shrimp *Penaeus vannamei* in Nicoya Gulf, Costa Rica. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3), 553–564. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572016000300007>
- Peña-Navarro, N., Castro-Vásquez, R. & Dolz, G. (2020a). White spot syndrome virus and *Enterocytozoon hepatopenaei* in shrimp farms in Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 31:479-489. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.39627>
- Peña-Navarro, N., Castro-Vásquez, R., Vargas-Leitón, B. & Dolz, G. (2020b). Molecular detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in *Penaeus vannamei* shrimps in Costa Rica. *Aquaculture*, 523, 735190. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735190>

- Peña-Navarro, N., y Chacón-Guzmán, J. (2019). Acuicultura en Costa Rica. *World Aquaculture*, (July), 23–28.
- Pequeux, A. (1995). Osmotic regulation in crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 15, 160.
- Puga-López, D., Ponce-Palafox, J., Barba-Quintero, G., Romero- Beltran, E., Garcia-Ulloa, G., Arredondo-Figueroa, J. & Torres Herrera, M. (2013). Physicochemical, proximate composition, microbiological and sensory analysis of farmed and wild harvested white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931). *Current Reserarch Journal of Biological Sciencies*, 5(3): 130-135. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/848>
- Quesada, R. Q., Castro, E. M., Montoya, J. A., Urpí, O. P., y Madriz, E. Z. (1985). Crecimiento y supervivencia del ostión de manglar (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828), trasladado de Estero Vizcaya, Costa del Caribe a estanques de cultivo de camarones en Chomes, Costa Pacífica de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 33(1), 7-12.
- Quesada-Céspedes, R. (2018). Identificación de los sitios óptimos para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya, Costa Rica utilizando los sistemas de información geográfica como insumo para el ordenamiento espacial marino. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Quiroz-Cercado, A. M., y Chiquito-Reyes, C. P. (2017). Estudio de la importancia de determinar el VAN y la TIR en las PyMES de Guayaquil. Tesis de Ingeniería en Gestión Empresarial. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/24065>
- Radulovich, R., & Fuentes-Quesada, J. P. (2019). Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) artisanal production in floating cages at sea and polyculture with oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 512, 734354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734354>

- Ramírez, S. (2019). Crecimiento del langostino blanco (*Litopenaeus vannamei*- Boone 1931) cultivado en jaulas flotantes a diferentes densidades en la fase de engorde en el estuario de Virrila-Sechura, Piura, Perú. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2046>
- Rodríguez, C. F., y Pérez, A. (2017). Composición bioquímica y perfil de aminoácidos de la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) cultivada en el Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(2), 090-098.
- Rodríguez, J., & Le Moullac, G. (2000). State of the art of immunological tools and health control of penaeid shrimp. *Aquaculture*, 191(1-3), 109-119. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00421-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00421-X)
- Rodríguez, M., Linné, M., Gerzon, D., y Mata, J. M. (2001). Manual de enfermedades de camarones peneidos en México. Boletín programa nacional de sanidad acuícola y la red de diagnóstico. Conapesca. 2:14.
- Sadat Hoseini Madani, N., Adorian, T. J., Ghafari Farsani, H., & Hoseinifar, S. H. (2018). The effects of dietary probiotic Bacilli (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) on growth performance, feed efficiency, body composition and immune parameters of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture Research*, 49(5), 1926–1933. <https://doi.org/10.1111/are.13648>
- Salazar-Araya. S. (2012). Situación actual de la pesca artesanal en Costa Rica. *Anuario De Estudios Centroamericanos*, 39 (1), 311-342. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/1180>
- Sánchez, S. G., Agis, A. J., Salome, B. O., González, M. R., & Torres, J. Z. (2018). Variables fisicoquímicas ambientales que inciden en el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*, en Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5 (2), 135-155.
- Sánchez-Paz, A. (2010). White spot syndrome virus: an overview on an emergent concern. *Veterinary Research*, 41(6):43. <https://doi.org/10.1051/vetres/2010015>

- SENASA. Servicio Nacional de Seguridad Animal. (2010). Protocolo de Vigilancia Epidemiológica para La Enfermedad de las Manchas Blancas: Programa nacional de sanidad acuícola. <https://www.senasa.go.cr/resultados-de-busqueda?q=protocolo>
- SENASA. Servicio Nacional de Seguridad Animal. (2017). Informe OIE WAHID. <http://www.senasa.go.cr/senasa/informacion/centro-de-informacion/informacion/estado-sanitario/oie/informes-organización-mundial-de-sanidad-animal-oie>
- SENASA. Servicio Nacional de Seguridad Animal. (2020). Protocolo de Vigilancia Epidemiológica para El Síndrome de la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND). <https://www.senasa.go.cr/resultados-de-busqueda?q=protocolo>
- SEPSA. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2020). Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria N° 30, serie cronológica 2016-2019. <http://www.sepsa.go.cr/productos.html>
- Servín-Vega, L. E. (2004). Manual de entrenamiento para usuarios. Sistema de PCR en tiempo real ABI Prism 7000 SDS. *Applied Biosystems*. 29 pp.
- Silva, O. B., Bee, T. J., Lemos, de M. G., Martínez-Porchas, M. & Coelho, E. M. (2020). Does vertical substrate could influence the dietary protein level and zootechnical performance of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system? *Aquaculture International*, 28, 1227–1241. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00521-4>
- Simisterra-Quiñonez, E. P., Rosa-Monserrate, R. A., & Suárez-López, S. C. (2018). La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). *ProSciences Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 2(17), 9–15. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss17.2018pp9-15>
- Tabash-Blanco, F. A. (2007). Un modelo biogeoquímico para el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 55(1), 33–42.

- Tang, K. F., & Lightner, D. V. (2001). Detection and quantification of infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus in penaeid shrimp by real-time PCR. *Diseases of Aquatic Organisms*, 44, 79–85.
- Tang, K. F., Poulos, B. T., Wang, J., Redman, R. M., Shih, H., & Lightner, D. V. (2003). 2003 Geographic variations among IHNV isolates. *Diseases of Aquatic Organisms*, 53, 91–99. <https://doi.org/10.3354/dao053091>.
- Tantulo, U. & Fotedar, R., 2007. Osmoregulation and ionic regulation of black tiger prawn (*Penaeus monodon* Fabricius 1798) juveniles exposed to K<sup>+</sup> deficient inland saline water at different salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 146: 208–214.
- Theethakaew, C., Nakamura, S., Motooka, D., Matsuda, S., Kodama, T., Chonsin, K, Suthienkul, O., & Iida, T. (2017). Plasmid dynamics in *Vibrio parahaemolyticus* strains related to shrimp acute hepatopancreatic necrosis syndrome (AHPNS). *Infection, Genetics and Evolution*, 51: 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2017.04.007>
- Tran, L., Nunan, L., Redman, R. M., Mohny, L. L., Pantoja, C. R., Fitzsimmons K., & Lightner, D. V. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases Of Aquatic Organisms*, 105:45-55. <https://doi.org/10.3354/dao02621>.
- Urpí, P. P., Peña, J. C., y Madriz, E. Z. (1983). Crecimiento y madurez sexual de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) cultivada en sistema suspendido en estero Vizcaya, Limón, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31(2), 277-281.
- Valdez, G., Díaz, F., Re, A. & Sierra, E. (2008). Efecto de la salinidad sobre la fisiología energética del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Hidrobiológica*, 18(2), 105-115.
- Valverde, J. & Alfaro-Montoya, Jorge. (2014). Productividad y rentabilidad del cultivo de camarones marinos en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. 6. 9-25.

- Valverde-Chavarría, S., y Boza-Abarca, J. (1999). Inducción al desove en hembras del pargo mancha, *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). *Uniciencia*, 15, 65-69.
- Valverde-Moya, J. A. y Alfaro-Montoya, J. (2013). La experiencia del cultivo comercial de camarones marinos en estanques de producción en Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 5(87). <https://doi.org/10.15359/revmar.5.6>
- Valverde-Moya, J. A. y Varela-Mejías, A. (2018). Cultivo comercial de camarones *Litopenaeus vannamei* en Costa Rica durante el niño 2015: incidencia de enfermedades. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(1), 188. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14187>
- Varela, A. & N, Peña. (2013). El virus del Síndrome de las Manchas Blancas (WSSV): una revisión y su impacto en la camaronicultura costarricense. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 28(2): 51-69.
- Varela, M. A., Peña, N. & Aranguren, C. L. F. (2017). Necrosis aguda del hepatopáncreas: una revisión de la enfermedad en *Penaeus vannamei*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 735. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.27788>
- Varela-Mejía, A., Y Peña-Navarro, N. (2015). Hepatopancreatitis Necrotizante asociada al Fenómeno del Niño, en cultivos de camarones del Golfo de Nicoya. *Repertorio Científico. Universidad Estatal a Distancia*, 18(1), 29–34.
- Vargas, R. G., y Delgado, M. D. (1998). Cultivo del pargo de la mancha *Lutjanus guttatus* (pisces: Lutjanidae) en jaulas flotantes. *Uniciencia*, 15(1), 27-34.
- Vega-Corrales, L. A. & Marín-Vindas, C. (2014). Evaluation of *Escherichia coli* concentrations in *Crassostrea gigas* and seawater in two oyster growing areas in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 6, 155-166. <https://doi.org/10.15359/revmar.6.11>
- Walford, J. & Lam, T.J. (1987). Floating hatchery and net cage culture of *Penaeus indicus* in the Straits of Johore, Singapore. *Aquaculture*, 62, 11–31.

- Wasielesky Jr., Poersch, L. H., Jensen, L. & Bianchini, A. (2001). Effect of stocking density on pen reared pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) (Decapoda, Penaeidae). *Nauplius*. 9 (2), 163–167.
- Yapuchura, S. C., Mamani, C. S., Pari, Q. D. & Flores. M. E. (2018). Curvas de crecimiento y eficiencia en la alimentación de truchas arcoiris (*Oncorhynchus Mikyys*) en el costo de producción. *Comuni@cción*, 9(1), 68-77. Recuperado en 24 de febrero de 2023, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2219-71682018000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682018000100007&lng=es&tlng=es).
- Zarain-Herzberg, M., Campa-Córdova, A. I., & Cavalli, R. O. (2006). Biological viability of producing white shrimp *Litopenaeus vannamei* in seawater floating cages. *Aquaculture*, 259(1–4), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.044>
- Zarain-Herzberg, M., Fraga, I., & Hernandez-Llamas, A. (2010). Advances in intensifying the cultivation of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages. *Aquaculture*, 300(1–4), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.12.016>

## ANEXOS

La realización de este trabajo cuenta con permiso de acceso a elementos y recursos genéticos y bioquímicos de la biodiversidad otorgado por la CONAGEBIO R-CM-UNA-011-2022-OT-CONAGEBIO, expediente CM-UNA-008-2022.

**Anexo 1.** Datos generales de crecimiento de los camarones cultivados en Jaulas flotantes y en Estanque de tierra.

Crecimiento Tratamiento 1 (25 000 PL)			
DÍA	Jaula 1	Jaula 4	Jaula 7
0	0.003	0.003	0.003
14	0.054	0.058	0.041
28	0.453	0.906	0.609
42	2.603	2.323	2.303
57	5.813	4.970	5.373
70	8.863	8.207	7.547
85	8.843	9.357	9.657
98	10.217	12.127	10.413

Crecimiento Tratamiento 2 (50 000 PL)			
DÍA	Jaula 2	Jaula 5	Jaula 8
0	0.003	0.003	0.003
14	0.034	0.068	0.052
28	0.298	0.677	0.460
42	2.210	2.643	2.480
57	3.610	4.960	4.840
70	6.647	7.893	7.150
85	7.243	7.800	7.830
98	7.523	12.980	9.227

Crecimiento Tratamiento 3 (750000 PL)			
DÍA	Jaula 3	Jaula 6	Jaula 9
0	0.003	0.003	0.003
14	0.058	0.051	0.072
28	0.520	0.539	0.409
42	2.723	2.277	2.380
57	4.737	3.750	3.433
70	7.263	6.380	5.623
85	8.303	6.987	6.867
98	8.380	12.980	12.113

Crecimiento Tratamiento Finca (175 000 PL)	
DÍA	Estanque 1
0	0.003
15	0.508
28	1.833
43	4.617
58	7.273
71	9.563
84	9.663
99	13.017

**Anexo 2.** Resultados de la selección automática de modelos con Criterios de Información de Akaike (AIC) menores. Las columnas representan las variables incluidas en cada modelo, los grados de libertad (gl), los AIC y el delta correspondiente a la diferencia del AIC en comparación con el mejor modelo.

Disco secchi	Edad Tratamiento x	Oxígeno	pH	Salinidad	Temperatura	gl	AIC	delta
+	+			+	+	19	7982.7	0.0
	+	+	+	+	+	19	7982.7	0.1
+	+	+		+	+	19	7982.8	0.1
+	+		+	+	+	19	7982.8	0.1
	+		+	+	+	19	7982.9	0.2
	+			+	+	19	7982.9	0.2
	+	+		+	+	19	7982.9	0.2
+	+	+				19	7983.0	0.3
	+	+	+		+	19	7983.0	0.3
+	+	+			+	19	7983.0	0.3

Consejo Central de Posgrado  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

**UNA-MCMC-ATFG-001-2023**

**ACTA DE DEFENSA PÚBLICA DE TESIS DE MAESTRÍA**

Sesión del Tribunal Examinador de la presentación pública de trabajo final de graduación celebrada a las 10 horas del 19 de mayo de 2023 bajo la modalidad virtual por medio de la plataforma zoom de:

<b>Nombre de la persona sustentante</b>	<b>Número identificación</b>	<b>Ubicación geográfica durante la defensa</b>
Elman Calvo Elizondo	112610283	Casa de habitación, Chacarita, Puntarenas

Quien se acoge a la Normativa de Trabajos Finales de Graduación en Posgrado y el Reglamento Interno de la Maestría en Ciencias Marinas y Costeras, bajo la modalidad de tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Ciencias Marinas y Costeras con énfasis en Manejo de los Recursos Marinos y Costeros.

Están presentes los siguientes miembros del Tribunal Examinador:

<b>Grado académico</b>	<b>Nombre completo</b>	<b>Puesto</b>	<b>Ubicación geográfica durante la defensa</b>
Doctorado	Greivin Rodríguez Calderón	Representante del Consejo Central de Posgrado, quien preside	Casa de habitación, San Pablo Heredia
Máster	Cristian Fonseca Rodríguez	Coordinador (a) del posgrado o representante	Oficina, Escuela de Ciencias Biológicas
Máster	Jonathan Chacón Guzmán	Tutor (a) de tesis	Casa de habitación, Esparza, Puntarenas
Doctorado	Gaby Dolz Wiedner	Miembro del Comité Asesor	Casa de habitación, Ulloa, Heredia
Máster	Carolina Elizondo Ovaes	Miembro del Comité Asesor	Oficina, Servicio Nacional de Salud Animal. Ulloa, Heredia

f

### **ARTÍCULO 1: Presentación de la persona sustentante**

La persona que preside abre formalmente la sesión del Tribunal Examinador e inquiriere a la coordinación del posgrado sobre el cumplimiento de los requisitos para este acto por parte de la persona sustentante.

El o la representante del posgrado declara que la persona sustentante ha cumplido con todos los requisitos del Plan de Estudios correspondiente, ha realizado su proceso de investigación bajo los cánones del rigor académico, con el auxilio de su comité asesor de tesis, y ha satisfecho sus obligaciones académicas y financieras con el Programa de Posgrado, lo cual le hace idónea para este acto.

### **ARTÍCULO 2: Defensa y réplica**

La persona que preside le solicita a la persona sustentante que proceda a hacer la exposición oral, para lo cual le otorga un plazo máximo de 45 minutos.

La persona sustentante hace la exposición oral del trabajo de graduación titulado: ***"CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO (LITOPENAEUS VANNAMEI, BONNE 1931) EN JAULAS FLOTANTES COMO ALTERNATIVA PRODUCTIVA PARA EL SECTOR PESQUERO ARTESANAL DEL GOLFO DE NICOYA, COSTA RICA"***.

Terminada la presentación, la persona que preside otorga la palabra a los miembros del Tribunal Examinador para que se refieran a la tesis de maestría presentada. Los miembros del Tribunal Examinador interrogan a la persona sustentante, quien con la venia de la persona que preside procede a hacer su réplica para satisfacer las cuestiones que se le plantean.

### **ARTÍCULO 3: Deliberación privada del Tribunal Examinador**

La persona que preside solicita a la persona sustentante y a la concurrencia que se retiren con el fin de que el Tribunal Examinador proceda a su deliberación privada en relación con el trabajo escrito, exposición oral y su capacidad de réplica ante las preguntas y comentarios del Tribunal.

### **ARTÍCULO 4: Evaluación de la tesis**

La persona que preside comunica a la persona sustentante el resultado de la deliberación, por el cual este Tribunal Examinador considera el trabajo de graduación:

X	Aprobado
	Reprobado
	Con observaciones
X	Sin observaciones

Dichas observaciones deben ser incorporadas y entregadas en el plazo establecido en el Reglamento Interno del Posgrado.

De acuerdo con el artículo 55 del Reglamento del Sistema de Estudios de Posgrado y el Artículo 80 del Reglamento General del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje de la Universidad Nacional, se le confiere la calificación de 10. De acuerdo con el artículo 81 del Reglamento General del Proceso de Enseñanza y Aprendizaje se le otorga la mención de:

	Cum Laude
X	Magna Cum Laude
	Summa Cum Laude
	No aplica

**Justificación de la mención otorgada:**

El trabajo de investigación refleja un riguroso desarrollo investigativo interdisciplinario, innovador desde una perspectiva metodológica que involucra un trabajo directo del investigador con el entorno y contexto del objeto de estudio. Los resultados de investigación aportan conocimiento en diversas áreas como; en el desarrollo sostenible, costero-rural y desarrollo de capacidades en las personas de las zonas costeras mediante herramientas que propician el crecimiento económico. Aporta a las instituciones involucradas insumos que faciliten liderar políticas públicas en pro del mejoramiento de la producción y comercialización del camarón blanco. Este proyecto es el reflejo del compromiso de diversas instituciones lideradas por el investigador de la Universidad Nacional, esto reafirma el compromiso de la UNA en pro del desarrollo del desarrollo sostenible, social y económico en las zonas de menor desarrollo humano del país.

**ARTÍCULO 5: Otorgamiento del grado de Máster**

La persona que preside el Tribunal Examinador declara a Elman Calvo Elizondo, acreedor (a) al grado de Magister Scientiae en Ciencias Marinas y Costeras con énfasis en Manejo de los Recursos Marinos y Costeros.

## **ARTÍCULO 6: Cierre de la defensa pública**

La persona que preside indica a la persona sustentante su obligación de presentarse al acto público de juramentación, al que será oportunamente convocada por la Universidad Nacional.

Se da lectura al acta que firma el representante del Consejo Central de Posgrado, quien preside, a las 12:30 horas del viernes 19 de mayo de 2023.

### **Observaciones indicadas por el Tribunal Examinador al documento final y/o de la defensa pública:**

Sin comentarios adicionales al documento.  
Le incentivamos a publicar su trabajo.

GREIVIN RODRIGUEZ CALDERON (FIRMA)  
PERSONA FISICA, CPF-06-0308-0449.  
Fecha declarada: 22/05/2023 02:42:38 PM  
Esta es una representación gráfica únicamente,  
verifique la validez de la firma.

Dr. Greivin Rodríguez Calderón  
Representante  
Consejo Central de Posgrado, quien preside.



UNIVERSIDAD NACIONAL

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*, BONNE 1931)  
EN JAULAS FLOTANTES COMO ALTERNATIVA PRODUCTIVA PARA EL  
SECTOR PESQUERO ARTESANAL DEL GOLFO DE NICOYA,  
COSTA RICA.

POR:

ELMAN JAVIER CALVO ELIZONDO

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Programa Maestría en  
Ciencias Marinas y Costeras para optar al grado de Magister Scientiae en Ciencias  
Marinas y Costeras con énfasis en Manejo de Recursos Marinos y Costeros

Puntarenas, Costa Rica, 2023