

## Efecto de la variación temporal de la temperatura sobre la producción del camarón *Penaeus vannamei* en sistemas de cultivo en lagunas

### Effect of temporal temperature variation on *Penaeus vannamei* shrimp production in pond farming systems

Ana Noemi Narváez Vega<sup>2</sup>, Patricio Colón Velásquez López<sup>2</sup>, Génesis Estefanía Romero Bustamante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador

**Correspondencia:** Ana Noemi Narváez Vega **E-mail:** [anarvaez08@hotmail.com](mailto:anarvaez08@hotmail.com)

Artículo original | Original article

#### Palabras clave

Acuicultura,  
calidad de agua,  
cultivo de camarón,  
cambio climático,  
sistemas de producción.

#### Keywords

Aquaculture,  
water quality,  
shrimp farming,  
climate change,  
production systems.

**RESUMEN** | El presente estudio analizó las variaciones de temperatura durante el cultivo de *Penaeus vannamei* en sistemas abiertos con un método de transferencia trifásico para comprender los patrones de variación en las estaciones lluviosa (EL) y seca (ES) y su efecto sobre el oxígeno disuelto (OD), el consumo de alimento y el rendimiento de producción de camarón. En la ES la mínima temperatura se registró por la mañana en la Fase 1 con 23,8 °C y la máxima temperatura por la tarde en la Fase 3 con 29,8 °C. En la EL, la mínima temperatura fue de 20,5 °C y la máxima por la tarde con 34,7 °C, correspondientes a la fase 3 de cultivo. En la ES la mínima concentración de oxígeno se registró en la Fase 1 con 2,04 mg/L y la máxima con 11,8 mg/L en la tarde. En la EL la mínima concentración de OD en el agua se registró en la fase 1 con 2,16 mg/L y la máxima fue en el atardecer de las fases 2 y 3 con 11,8 mg/L. Durante la EL, la temperatura tuvo una variabilidad más significativa que en la ES, mientras que las concentraciones de OD registradas en ambas estaciones no fueron significativamente diferentes. Durante la EL se registró mayor mortalidad y un crecimiento semanal superior en comparación con la ES. Sin embargo, la biomasa producida en la ES fue 17,62% superior, generando mejores ingresos económicos. Los patrones estacionales en Ecuador están aumentando la temperatura por encima de los niveles permisibles, influyendo en las concentraciones de OD en el agua y afectando la productividad del camarón *P. vannamei* en sistemas de cultivo abierto.

**ABSTRACT** | The present study analyzed the variations of water temperature during the cultivation of *Penaeus vannamei* in open systems with a three-phase transfer method, to understand the variation patterns in the dry (DS) and rainy (RS) seasons and their effect on the dissolved oxygen, feed consumption, and yield shrimp production. During the DS the minimum temperature was recorded in the morning in the phase 1 at 23.8 °C, and the maximum temperature in the afternoon in phase 3 at 29.8 °C. In the RS, the minimum temperature was 20.5 °C and the maximum in the afternoon was 34.7 °C, both temperatures corresponding to phase 3 of cultivation. The minimum oxygen concentration in the DS was recorded in Phase 1 at 2.04 mg/L and the maximum at 11.8 mg/L in the afternoon. In the RS, the minimum concentration of DO in the water was recorded in phase 1 with 2.16 mg/L, and the maximum was in the evening of phases 2 and 3 with 11.8 mg/L. During the RS, the temperature had more significant variability than the DS, while DO concentrations recorded in both seasons were not significantly different. During the RS, higher mortality and weekly growth were recorded compared to the DS, but the biomass produced in the DS was 17.62% higher, generating better economic income. The seasonal patterns in Ecuador are increasing the temperature above permissible levels influencing the DO concentrations in the water and affecting the productivity of the shrimp *P. vannamei* in open culture systems.

## INTRODUCCIÓN

Según FAO (2022), la producción acuícola mundial en el 2018 alcanzó 114,5 millones de toneladas de peso vivo de organismos acuáticos, con un valor de \$ 263.600 millones, correspondiendo \$ 9,4 millones a la producción de crustáceos. La Cámara Nacional de Acuicultura del Ecuador (2024), reportó que en el período enero-diciembre del 2023 se exportaron un total de 1,21 millones t, dando un valor total de \$ 6.289 millones, convirtiendo a la industria camaronera en uno de los sectores productivos más importantes del Ecuador.

En Ecuador, cerca del 90 % de la producción de *Penaeus vannamei*, se origina en cultivos que se desarrollan bajo el sistema tradicional o abierto, utilizando estanques de tierra que abarcan entre 4 a 10 ha de terreno (Hirono 2009). Desde el inicio de la actividad camaronera, la estabilidad de la temperatura ambiente ha sido considerada como una ventaja para que el cultivo de camarón se lleve a cabo durante todo el año en Ecuador. Sin embargo, estudios climáticos que investigan el comportamiento del clima en el Ecuador proyectan un aumento en los eventos de calentamiento, con un pronunciado incremento de la temperatura en la estación lluviosa (diciembre - abril) y la presencia de extremas bajas temperaturas en estación seca (Montenegro *et al.* 2022). Este cambio climático plantea un desafío significativo para la industria acuícola, especialmente para el cultivo del camarón (Boyd 2020). Para el mundo de la acuicultura y de manera específica en el cultivo del camarón, el cambio climático es un asunto complejo que requiere adoptar medidas para el manejo del agua, sin embargo, las iniciativas y acciones varían de un productor a otro debido a las diferencias socioeconómicas y criterios entre propietarios de granjas camaroneras (Do y Ho 2022).

Debido al calentamiento global, los cuerpos de agua de los sistemas de cultivo tienden a incrementar los niveles de temperatura tanto en la estación seca como lluviosa e incidiendo en el nivel del oxígeno disuelto, lo cual afecta a muchas especies acuáticas, incluido el camarón blanco *P. vannamei*. Para manejar la calidad del agua en el cultivo del camarón en Ecuador, se ha documentado que la aplicación de un sistema de transferencias es un mecanismo utilizado como medida para sostener la producción durante las dos estaciones climáticas del año en el Ecuador (Castillo-Ochoa y Velásquez-Lopez 2021). El método de cultivo mediante sucesivas transferencias de una parte de la población de organismos cultivados, es una técnica que permite iniciar estanques con una alta densidad e ir reduciendo las densidades mediante transferencias sucesivas para obtener mejores tallas comerciales del camarón (De Castro Freire *et al.* 2021, Seabra de Malgahaes 2004).

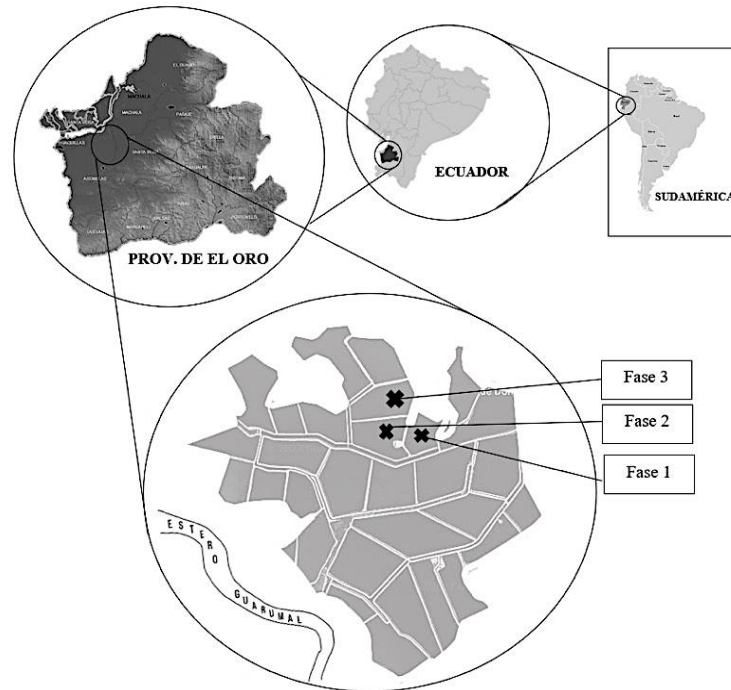
Estudios sobre el comportamiento fisiológico del camarón *P. vannamei* muestran que este organismo es capaz de adaptarse a ciertos intervalos de temperatura por medio de la autorregulación, pero tiene un límite de tolerancia (Wang *et al.* 2019). Otros estudios recientes desarrollados por Fóes *et al.* (2021), relacionados a la tolerancia térmica de *P. vannamei*, reportan que las mejores supervivencias y conversiones alimenticias se obtuvieron a temperaturas de 20 a 26 °C, en comparación con temperaturas de 30 °C. Así mismo, es bien conocido que cambios o variaciones del oxígeno disuelto (OD) en el agua causan alteraciones moleculares y bioquímicas en el organismo. Se ha reportado que las variaciones de temperatura en el agua causan alteraciones a nivel de la expresión génica del camarón *P. vannamei* (Camacho-Jiménez *et al.* 2018) y cambios a nivel enzimático que afectan la función branquial (Camacho-Jiménez *et al.* 2019). Estudios desarrollados por González-Ruiz *et al.* (2022), determinaron que altas temperaturas provocaron un mayor contenido de glucosa y lactato, ocasionando normoxia e hipoxia, así como cambios en el metabolismo anaeróbico, causando un significativo estrés que puede provocar la mortalidad de los camarones.

A pesar de la extensa información se ha documentado sobre la capacidad de resistencia de *P. vannamei* a variaciones de temperatura y OD, la información de lo que ocurre en cuerpos de agua de cultivo es escasa y más aún, en sistemas de cultivo desarrollados en Ecuador, principal país productor de camarón. Frente a la evidente incidencia del cambio climático en el Ecuador, el presente estudio tiene como objetivo analizar las variaciones de temperatura y OD en el agua durante el cultivo de camarón en la estación lluviosa con una salinidad de 18 ppm y estación seca con salinidad de 25 ppm y su posible incidencia en la producción del camarón cultivado en sistemas abiertos en el Sur del Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de realización del trabajo

El estudio se realizó en una granja camaronera ubicada contigua a la ciudad de Machala en la provincia de El Oro, Ecuador, durante junio 2021 a mayo 2022, realizando un monitoreo de temperatura y OD en el agua y el crecimiento semanal del camarón (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la camaronera motivo de estudio en la Provincia de El Oro, Ecuador.

**Figure 1.** Geographic location of the shrimp farm under study in the Province of El Oro, Ecuador.

Todos los estanques analizados siguieron el mismo protocolo de cultivo, que corrientemente se emplea en la granja camaronera estudiada. Los administradores de la granja facilitaron información sobre la preparación de estanques, adquisición de postlarvas, siembra y alimentación. El estudio se basó en el acompañamiento para el análisis de temperatura y OD en el agua y el control de crecimiento del camarón.

El protocolo de preparación de estanques antes de la siembra o antes de cada transferencia, consistió en el drenaje y secado del suelo del estanque y aplicación de hidróxido de calcio a razón de 500 kg/ha. En los charcos de agua remanentes, se adicionó 500 g de barbasco (planta leguminosa que contiene rotenona) disuelto en 20 L de agua con la finalidad de eliminar larvas de peces, moluscos y pequeños crustáceos. En el suelo se aplicó Nutrilake a una cantidad de 10 kg/ha para enriquecer el fondo del estanque. El tipo de suelo de los estanques es generalmente conocido como suelo limo-arcilloso. No se realizó un análisis de materia orgánica, pero la condición del suelo fue aceptable puesto que permitió caminar sin provocar hundimientos.

Después de la preparación del estanque, se llenó la mesa de la piscina (40% aproximadamente) y se aplicó una mezcla de melaza a razón de 90 kg con 25 kg de Nutrilake y 45 kg de carbonato de calcio para promover la productividad primaria en el agua. Cinco días posteriores a la siembra, el estanque alcanzó el máximo nivel de agua y a partir de este día, se realizó recambios de agua de alrededor del 15% diario. La salinidad del agua en la estación lluviosa fue de 18 ppm y en la estación seca fue de 25 ppm.

Las postlarvas utilizadas en el cultivo fueron obtenidas de laboratorios localizados en la península de Santa Elena, perteneciente a la provincia homónima, Ecuador, provenientes de reproductores sometidos a maduración sexual controlada.

Sistema de cultivo mediante transferencias

El sistema de cultivo de camarón descrito en este estudio es un sistema adaptado a tres fases sucesivas, cada una con su estanque de cultivo donde se llevan a cabo transferencias de una parte de la población cultivada.

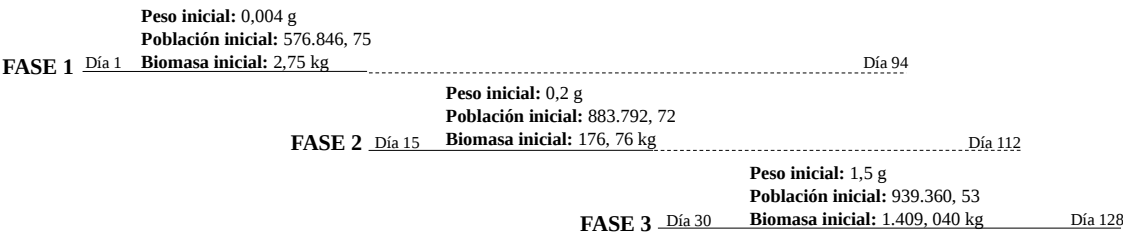
El sistema de cultivo de transferencias consistió en el manejo de una alta población de postlarvas sembradas en un estanque inicial, la cual da inicio a transferencias sucesivas, en las que se realizó un monitoreo en las dos estaciones lluviosa y seca. El estanque inicial (Fase 1) cumplió la de arranque, donde se transfiere una parte de la población a un estanque secundario (Fase 2). En el estanque secundario continua el periodo de crecimiento del camarón, pero luego de un tiempo ocurre la transferencia de una parte de la población a un tercer estanque (Fase 3). En el tercer estanque o fase 3, se cumple la fase final del sistema de transferencias. En este sistema denominado trifásico, en los tres estanques el camarón se desarrolla en crecimiento y engorde hasta la cosecha final. Es decir que, el monitoreo de parámetros y de cultivo fue sostenido en los tres estanques.

La figura 2 muestra datos de cada estanque. Para la estación seca, las postlarvas sembradas tuvieron un peso de 0,004 g y luego de 15 días de residencia en el primer estanque (Fase 1), cuando los organismos alcanzaron la edad de prejuvenil con un peso alrededor de 0,2 g fueron transferidos al segundo estanque (Fase 2). Después de aproximadamente 30 días de cultivo en el segundo estanque, una vez que los organismos alcanzan la edad juvenil con un peso de 1,5 g fueron transferidos al tercer estanque (Fase 3).

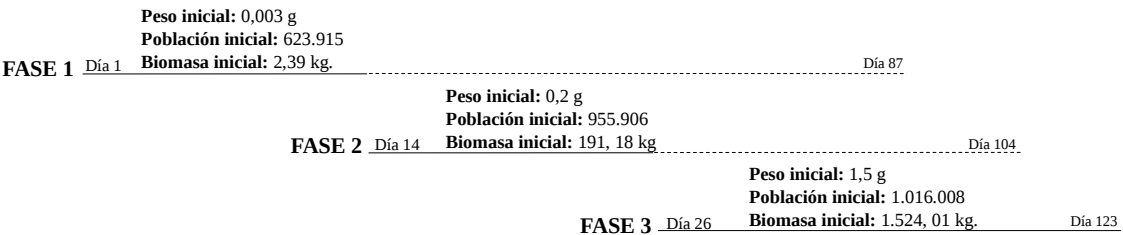
En la estación lluviosa, el camarón tuvo un tiempo de residencia diferente en cada estanque. En el primer estanque (Fase 1) los organismos permanecieron hasta el día 87, para el segundo estanque (Fase 2) permanecieron hasta el día 104 y en el tercer estanque hasta el día 123 (Fase 3). Los tiempos de transferencia entre los cultivos de las dos estaciones climáticas difieren en alrededor de 1 a 4 días, por lo tanto, el manejo del cultivo fue prácticamente similar en la estación seca y lluviosa.

Tal como se muestra en la figura 2, en la estación seca los organismos fueron sembrados en la misma edad y peso que la estación lluviosa, pero los días de transferencia variaron ligeramente. En la estación seca los organismos tuvieron un tiempo de residencia de 94 días en el primer estanque (Fase 1); hasta el día 112 en el segundo estanque (Fase 2); y hasta el día 128 en el tercer estanque (Fase 3).

ESTACIÓN SECA



ESTACIÓN LLUVIOSA



**Figura 2.** Secuencia de los periodos de residencia del camarón en tres estanques de cultivo mediante sistema de transferencia en tres fases. Se muestra el peso inicial promedio de los organismos en la etapa de siembra en el primer estanque, la población inicial, biomasa inicial y días de cultivo en cada estanque o fase de transferencia en la estación lluviosa y estación seca.

**Figure 2.** Sequence of shrimp residence periods in three culture ponds using a three-phase transfer system. The average initial weight of the organisms in the stocking stage in the first pond, the initial population, initial biomass, and days of culture in each pond or transfer phase in the rainy season and dry season are shown.

## Alimentación durante el cultivo

En el primer estanque de ambas estaciones (seca y lluviosa) en la etapa de Postlarvas, se proporcionó alimento balanceado por el método al voleo 35% de proteína marca Aquaxcel (0,8 mm). Es decir, este método fue empleado solo durante 15 días de la fase 1 previo a la transferencia a la fase 2. Posteriormente, el alimento balanceado fue distribuido mediante el uso de los alimentadores automáticos tipo “timer”. En la fase juvenil del camarón se proporcionó alimento balanceado formula Aquaxcel 35% de proteína (1,2 mm) y en la fase final de desarrollo del camarón el alimento balanceado formula Ecofeed 35% de proteína (3,5 mm).

Los alimentadores automáticos fueron programados para distribuir las raciones desde las 10:00 horas hasta las 24:00 horas, distribuyéndose un total de 120 raciones en un intervalo de 7,5 minutos durante el tiempo de 14 horas. El volumen de alimento liberado en cada entrega del equipo estuvo en función de la dosis diaria de alimento. Las dosis de alimento fueron proporcionadas según el peso y la población de camarones a la fecha, ajustando la cantidad de alimento cada día según la biomasa estimada y las tablas de alimentación sugeridas por fabricantes de alimento balanceado. Un ajuste a la dosis diaria de alimento fue realizado considerando la observación de los platos testigos, los cuales entregan información de la cantidad de alimento no consumido y lo que permite deducir si se aumenta o se disminuye el alimento balanceado de la dosis diaria. La efectividad de este proceso dependió de los operadores de la granja camaronera.

## Control de población y crecimiento del camarón

El crecimiento del camarón fue determinado mediante muestreos semanales, tomando en cuenta el número de lances aproximados.

$$Cxl = \frac{\#Tc}{\#L}$$

**Cxl:** Camarón por lance

**#Tc:** Número total de camarones

**#L:** Número de lances (realizados en cada piscina)

$$\text{Pesos (P)} = \frac{PTO (g)}{\#To}$$

**PTO:** peso total de los organismos (g),

**#TO:** número total de organismos (obtenidos de los lances realizados)

El peso fue determinado utilizando una balanza “Digital Camry” con precisión 0,01 g y aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Incremento de peso semanal (PS)} = \text{ISN} - \text{ISA}$$

**ISN:** Incremento de peso de la semana nueva

**ISA:** Incremento de la semana anterior

La supervivencia (% Supervivencia) se calculó con los datos de la densidad inicial, biomasa cosechada y el peso final obtenido de los camarones cosechados.

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\text{Número de camarones cosechados} \times 100}{\text{Número de camarones sembrados}}$$

El factor de conversión alimenticia (FCA) expresa la ganancia en peso del organismo que es cultivado con relación al peso del alimento que fue utilizado, para lo cual se basó a partir de esta fórmula:

$$FCA = \frac{\text{Balanceado consumido (kg)}}{\text{Camarón cosechado (Kg)}}$$

## Control de oxígeno y temperatura

Los parámetros de oxígeno y temperatura se midieron dos veces al día, al amanecer a las 05:00 horas y al atardecer a las 17:00 horas, con ayuda del instrumento multiparámetro YSI modelo Pro-20, calibrado a la salinidad del agua. Ambos parámetros fueron medidos sumergiendo el electrodo a 20 cm sobre el fondo del estanque.

## Análisis de datos

Como los estanques fueron sembrados de manera secuencial acorde a las fases previamente indicadas, en la estación lluviosa y la estación seca, los datos de oxígeno, temperatura, crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia fueron organizados en una hoja Excel en la que posteriormente se realizó un análisis de datos para cada estanque o fase de cultivo. El promedio, valor mínimo, valor máximo y el coeficiente de variación fueron determinados de acuerdo con el arreglo de datos de la mañana y de la tarde a fin de evaluar las variaciones y comparar los resultados entre el amanecer y el atardecer en cada fase o estanque y en cada estación climática. Adicionalmente, los resultados fueron cotejados con documentación científica que reporta valores permisibles para el camarón *P. vannamei* y estableciéndose un análisis comparativo en las variaciones de los parámetros temperatura y oxígeno disuelto, consumo de alimento y producción de camarón entre las dos estaciones climáticas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

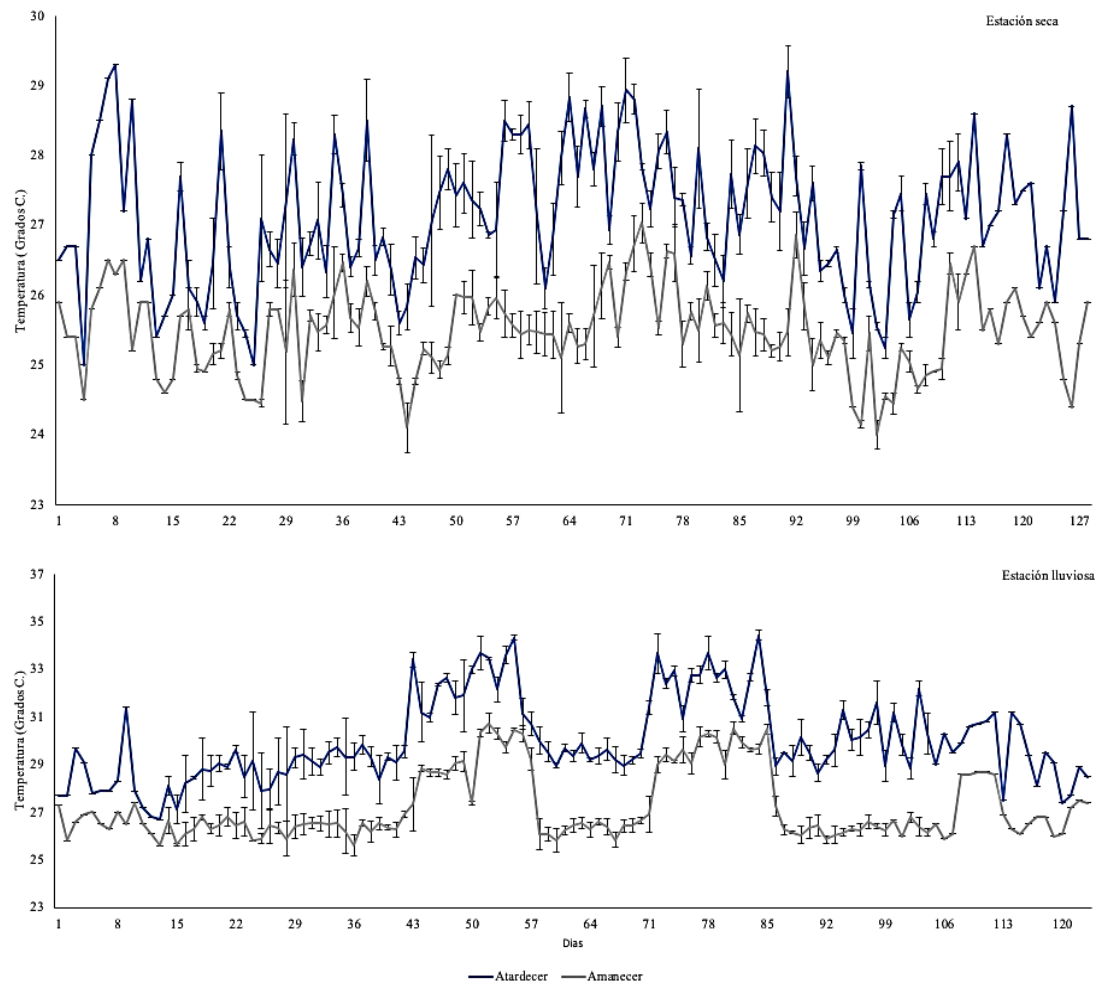
Los resultados evidencian variaciones de temperatura durante el cultivo tanto en la estación seca como en la estación lluviosa. Aparentemente, tales variaciones de temperatura en cada estación climática tuvieron un efecto directo sobre la disponibilidad de OD en el agua y consecuentemente sobre la supervivencia de los organismos y la productividad camaronera.

### Variación de temperatura del agua

En la figura 3 se puede observar que en varios días de la estación seca la temperatura del agua estuvo alrededor de 29 °C en las tres fases de cultivo. Así mismo, en la estación seca la temperatura del agua descendió a alrededor de 23,8 °C. En cambio, en la estación lluviosa, la temperatura del agua alcanzó a 34,6 °C y descendió a 20 °C, es decir, 3 °C de diferencia con relación a la temperatura mínima registrada en estación seca.

En la tabla 1 se muestran los valores promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación de temperatura en la estación lluviosa y estación seca en las tres fases de cultivo. En general, la temperatura promedio diaria en la estación seca fluctuó alrededor de  $26,36\text{ °C} \pm 0,83$ . Como era de esperar, los niveles más altos de temperatura se registraron al atardecer y los niveles más bajos fueron registrados al amanecer en ambas estaciones del año.

De los resultados analizados para las dos estaciones climáticas, se puede observar que la diferencia entre los promedios de las temperaturas entre el amanecer y al atardecer en todas las fases de cultivo fue de alrededor de 2 °C durante la estación seca y de alrededor de 3 °C en estación lluviosa. Al comparar las dos estaciones climáticas, se determina que la diferencia de la temperatura mínima y máxima fue de 11°C, aspecto que merece ser tomado en cuenta para el manejo estacional del cultivo. Consecuentemente, el análisis del coeficiente de variación diario de temperatura demuestra que en la estación seca la temperatura del agua fluctuó alrededor de 2,6% al amanecer y 4,4% al atardecer, mientras que en la estación lluviosa la variación de temperatura al amanecer fue del 7,8% y al atardecer de 6,9%. Evidentemente, la mayor variabilidad de temperatura se registró durante el amanecer en la estación lluviosa.



**Figura 3.** Variación diaria de la temperatura del agua (mañana y tarde) en las tres fases de cultivo de camarón y durante la estación seca y estación lluviosa. Se muestra el promedio de temperatura diaria y las barras cruzadas muestran la desviación estándar en días cuando las tres fases se juntan.

**Figure 3.** Daily variation of water temperature (morning and afternoon) in the three phases of shrimp culture and during the dry season and rainy season. The average daily temperature is shown and the cross bars show the standard deviation in days when the three phases come together.

**Tabla 1.** Temperatura (°C) durante el cultivo de camarón en la estación seca y lluviosa en un sistema de cultivo abierto.

**Table 1.** Temperature (°C) during shrimp farming in the dry and rainy season in an open culture system.

|                               | TEMPERATURA ESTACIÓN SECA<br>TEMPERATURE (°C) DRY SEASON |       |        |       |        |       | TEMPERATURA ESTACIÓN LLUVIOSA<br>TEMPERATURE (°C) RAINY SEASON |       |        |       |        |       |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|----------------------------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                               | Fase 1                                                   |       | Fase 2 |       | Fase 3 |       | Fase 1                                                         |       | Fase 2 |       | Fase 3 |       |
|                               | AM                                                       | PM    | AM     | PM    | AM     | PM    | AM                                                             | PM    | AM     | PM    | AM     | PM    |
| Promedio                      | 25,55                                                    | 27,15 | 25,39  | 27,05 | 25,59  | 27,14 | 27,35                                                          | 30,11 | 27,32  | 30,21 | 27,17  | 30,24 |
| DE                            | 0,64                                                     | 1,28  | 0,67   | 1,18  | 0,07   | 0,12  | 1,57                                                           | 2,09  | 1,68   | 2,17  | 3,14   | 2,05  |
| Mínimo                        | 23,8                                                     | 24,7  | 23,8   | 24,7  | 23,9   | 24,6  | 25,1                                                           | 26,2  | 24,9   | 20,9  | 29,8   | 20,5  |
| Máximo                        | 27,4                                                     | 29,6  | 26,9   | 29,8  | 27,3   | 29,8  | 30,8                                                           | 34,6  | 30,6   | 34,4  | 31,3   | 34,7  |
| Coefficiente de variación (%) | 2,49                                                     | 4,73  | 2,63   | 4,38  | 2,69   | 4,31  | 5,72                                                           | 6,95  | 6,16   | 7,17  | 11,55  | 6,79  |

\*AM: Amanecer, PM: Atardecer

Se ha reportado ampliamente que la temperatura del agua ejerce efectos sobre la supervivencia, consumo de oxígeno, comportamiento nutricional y metabolismo de los camarones. En el presente estudio los incrementos de temperatura en la estación lluviosa fueron hasta 5 °C por encima del límite permisible de 30 °C para *P.*

*vannamei* (Ponce-Palafox *et al.* 1997). Estudios de Wyban *et al.* (1995), indican que la temperatura óptima de *P. vannamei* está alrededor de 30 °C. Por otra parte, Piña-Valdez *et al.* (2015) indican que el nivel de consumo de oxígeno es normal con menor gasto energético a una temperatura menor a 30 °C. Un estudio que involucró camarones infectados con virus de la mancha blanca (WSSV) y sostenidos a 30 °C se reportó mejor supervivencia en aquellos organismos que estuvieron expuestos a temperaturas alrededor de 26 °C (Wigglesworth 2002).

Para entender la dinámica de la temperatura en el agua de los estanques de cultivo del camarón en Ecuador, datos de la temperatura superficial del agua del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), demuestran que, frente a la costa de la Provincia de El Oro, los niveles de temperatura durante la estación seca fluctuaron alrededor de  $23,26 \pm 0,84$  °C y en la estación lluviosa entre  $26,22 \pm 0,63$  °C. La diferencia de temperatura del océano con la del estanque en la estación seca fue de alrededor de 0,7 °C, siendo el promedio de la temperatura del agua superficial del océano inferior a los valores mínimos registrados en los estanques de cultivo de camarón. Durante la estación lluviosa, la capacidad de absorber calor en los estanques fue más pronunciada, puesto que la temperatura del agua de cultivo de camarón se incrementó en más de 5 °C con relación a la temperatura del agua superficial del océano registrada por el INOCAR en esa misma estación del año. Esto plantea que la eventualidad del aumento de la temperatura del agua en los estanques de cultivo de camarón es un aspecto crítico y requiere control. El aumento de la temperatura del agua en la estación lluviosa en los estanques de cultivo de camarón respecto a la temperatura del océano puede explicarse por el efecto de la radiación y la turbidez generada por las microalgas, con lo cual se produce conservación de calor y “efecto invernadero” en el agua de la piscina, conservando la temperatura y retrasando el enfriamiento de la columna de agua.

La radiación solar tiene enorme incidencia en el calentamiento del estanque. En efecto, la estación seca en el Ecuador está asociada a mayor nubosidad, relativa baja temperatura y una débil radiación solar, lo cual explica que la escasa radiación recibida en esta temporada reduce la presencia de microalgas y contribuye a un ligero sostenimiento de la temperatura del agua en el estanque. En el presente estudio la diferencia de temperatura del agua del océano con la del estanque fue de aproximadamente 1 °C. Pero, contrario a este efecto, en la estación lluviosa la contribución del efecto de la radiación solar en el agua del estanque es más severa, puesto que en algunos casos la temperatura excedió los niveles permisibles para los camarones en cultivo. Este aspecto es relevante para futuros estudios respecto a las variaciones de temperatura en el agua en sistemas abiertos considerando que el 90% de los sistemas de cultivo en Ecuador son llevados bajo este modelo. Lo indicado confirma que el control de los parámetros meteorológicos de temperatura y radiación solar son críticos para acuicultura costera y el manejo del sistema de cultivo abierto.

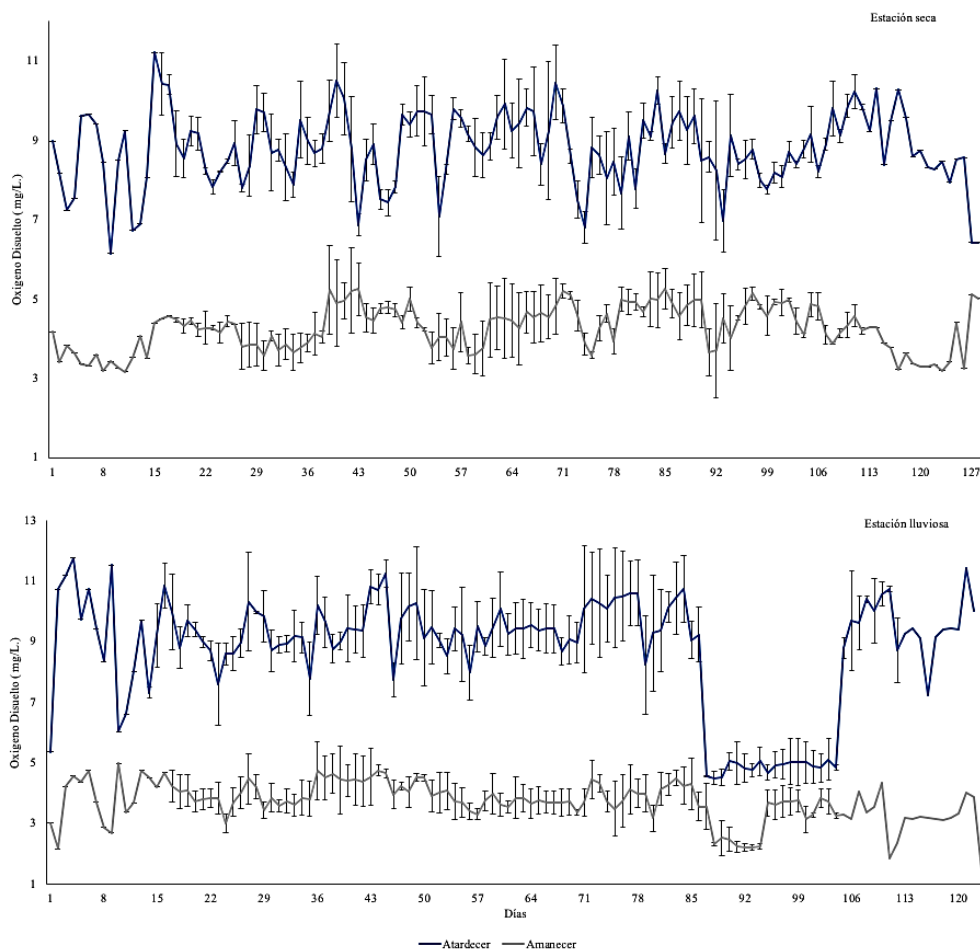
En el presente trabajo, durante la estación lluviosa se detectaron mortalidades más altas que en la estación seca. Falta de información no nos permite deducir la razón de las mortalidades puesto que podrían ocurrir diversos factores. Sin embargo, se ha indicado que la estación lluviosa está asociada a una intensa radiación solar en el Ecuador y se ocasiona un excesivo crecimiento de microalgas y consecuentemente un incremento en la materia orgánica disuelta en el agua (Boyd 2018). El incremento de la temperatura en el agua desencadena otros efectos en la calidad del agua en el cultivo del camarón con especial referencia al alimento no consumido, el incremento de materia orgánica y aumento del nitrógeno amoniacal (Limsuwan y Ching 2018). Recientemente, a inicios del 2023, algunas granjas camaroneras del Sur del Ecuador reportaron episodios de afloramientos de microalgas tóxicas, provocando asfixia y mortalidades de camarón. Algunos empresarios camaroneros han reportado el incremento en la presencia de protozoarios y afectación de la salud del camarón. Un análisis integral de la calidad del agua proveería más datos para entender la ocurrencia del afloramiento de algas tóxicas, patologías y mortalidades, sin embargo, de acuerdo con el análisis del presente trabajo parece ser que en sistemas de cultivo abierto temperaturas extremas que suceden durante la estación lluviosa inciden en el balance metabólico del camarón y en la propagación de microorganismos que podrían estar afectando la salud y supervivencia de las poblaciones en cultivo.

A pesar de la percepción de que las condiciones del clima durante la estación seca caracterizadas por bajas temperaturas, son poco favorables para el cultivo de camarón, los resultados del presente estudio indican que en esta estación climática las condiciones de temperatura permitieron mejores supervivencias, lo cual solo podría explicarse por una condición menos incidente en el afloramiento de microorganismos tóxicos y niveles de temperatura más estables en comparación a lo observado en la estación lluviosa. La estabilidad de la temperatura

durante la estación seca permitió un ambiente térmico más aceptable para *P. vannamei*, resultando en una mejor supervivencia, sin embargo, los resultados indican que la tasa de crecimiento de los organismos fue menor. Implementar mecanismos de control de las variaciones climáticas con especial atención al manejo de la temperatura del agua en estanques de cultivo de camarón sostenidos bajo sistemas abiertos, requeriría adecuar condiciones que permitan mantener el calor en el agua durante la estación seca y mecanismos de refrescamiento durante la estación lluviosa cuando la temperatura exceda los límites permisibles.

### Variación de OD en el agua y dinámica en el cultivo

En la figura 4 y tabla 2 se muestran los valores de oxígeno, promedio, valor mínimo y máximo y el coeficiente de variación en la estación lluviosa y estación seca y en las tres fases de cultivo. En concordancia con lo determinado en el registro de temperatura, tanto en la estación seca como en la lluviosa, al amanecer se registraron los niveles más bajos de OD, mientras que al atardecer se obtuvieron los valores máximos de OD. Siguiendo la norma ambiental, al amanecer en algunos días de cultivo se registraron valores críticos de OD en el agua de alrededor de 2 mg/L, mientras que al atardecer los valores estuvieron siempre en intervalos aceptables. Al amanecer en la estación seca, el coeficiente de variación de OD en el agua fue de 16,11% y al atardecer de 12,36%. En la estación lluviosa, el coeficiente de variación de oxígeno al amanecer fue del 18,44% y al atardecer fue de 12,40%. Esto confirma que, tanto en estación lluviosa como en la seca, las variaciones de OD en el agua son más severas durante la noche evidenciándose el punto crítico en el monitoreo a tempranas horas de la mañana. Así mismo, es relevante resaltar que las variaciones de OD son más críticas en los cultivos de camarón durante la estación lluviosa.



**Figura 4.** Fluctuación del OD en el agua en las tres fases de cultivo de camarón en la estación lluviosa y seca. La línea de tendencia muestra el promedio de OD diario y las barras cruzadas muestran la desviación estándar en días en los cuales las tres fases se juntan.

**Figure 4.** Fluctuation of DO in water in the three phases of shrimp culture in the rainy and dry seasons. The trend line shows the average daily DO and the cross bars show the standard deviation in days in which the three phases come together.

**Tabla 2.** Estadística descriptiva de la concentración de OD (mg/L) en el agua durante el cultivo de camarón en estación seca y estación lluviosa en un sistema de cultivo abierto.**Table 2.** Descriptive statistics of DO concentration (mg/L) in water during shrimp culture in dry season and rainy season in an open culture system.

|          | OD ESTACIÓN SECA<br>DO DRY SEASON (mg/L) |       |        |       |        |       | OD ESTACIÓN LLUVIOSA<br>DO RAINY SEASON (mg/L) |       |        |       |        |       |
|----------|------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|------------------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|          | Fase 1                                   |       | Fase 2 |       | Fase 3 |       | Fase 1                                         |       | Fase 2 |       | Fase 3 |       |
|          | AM                                       | PM    | AM     | PM    | AM     | PM    | AM                                             | PM    | AM     | PM    | AM     | PM    |
| Promedio | 4,27                                     | 8,86  | 4,56   | 9,02  | 4,22   | 8,67  | 3,61                                           | 8,86  | 4,08   | 9,85  | 3,95   | 9,86  |
| DE       | 0,84                                     | 1,26  | 0,65   | 1,03  | 0,62   | 0,99  | 0,77                                           | 1,19  | 0,64   | 1,13  | 0,72   | 1,19  |
| Minima   | 2,04                                     | 6,15  | 3,16   | 5,87  | 3,17   | 6,17  | 2,16                                           | 5,36  | 2,65   | 6,24  | 1,49   | 6,11  |
| Maxima   | 6,81                                     | 11,8  | 5,9    | 11,3  | 5,9    | 11,8  | 8,3                                            | 11,8  | 5,9    | 11,7  | 5,9    | 11,8  |
| CV       | 19,55                                    | 14,21 | 14,22  | 11,45 | 14,57  | 11,42 | 21,41                                          | 13,73 | 15,64  | 11,46 | 18,27  | 12,03 |

\*AM: Amanecer, PM: Atardecer

La variabilidad de OD fue similar tanto para la estación seca como para la estación lluviosa, pero las concentraciones máximas y mínimas de OD reportadas al amanecer y al atardecer fueron diferentes en ambas estaciones climáticas. Niveles por debajo de 3 mg/L de OD están asociados a condiciones de estrés y por debajo de 2 mg/L provocan anoxia, lo cual se traduce en un retardo en el crecimiento y mortalidad en el cultivo del camarón (Boyd 2018, Ferreira *et al.* 2011). Niveles por encima de 4 mg/L son ideales para la producción en acuicultura (Robertson 2006). Se ha reportado que el nivel de OD en el agua decrece cuando la temperatura y la salinidad aumentan (Boyd y Tucker 1998). De acuerdo con lo registrado en el presente estudio, la condición estuarina del sitio de estudio revela que altas salinidades coincidieron con bajas temperaturas de la estación seca.

El consumo de oxígeno de *P. vannamei* a una temperatura de 20 °C fue observado por Martínez Palacios *et al.* (1986), quienes han confirmado que los organismos acuáticos requieren más oxígeno por unidad de peso cuando se exponen a temperaturas extremas ya sea alrededor de 20°C y superiores a 30°C. Una investigación previa de Villareal *et al.* (1994), había determinado que la tasa de respiración en postlarvas de *P. vannamei*, se incrementa cuando la temperatura aumenta. Así mismo, Vinatea *et al.* (2011), estudiaron la demanda de oxígeno en *P. vannamei*, acorde al peso de los organismos, la densidad poblacional y la salinidad del agua, concluyeron que la salinidad del agua es un factor crítico en el consumo de oxígeno y la tasa de respiración se incrementa cuando los organismos aumentan de peso. En este sentido, una combinación de la temperatura en diferentes condiciones de salinidad podría también explicar posibles diferencias en la respuesta de los camarones a las diferentes condiciones de cultivo. Es decir, la temperatura estará asociada a otros factores ambientales que no fueron estudiados en el presente trabajo por falta de información y sugiere mayor análisis en diferentes sectores.

En cultivos tradicionales con densidades de cultivo relativamente no tan altas como las analizadas en el presente trabajo, se ha reportado que los organismos consumen aproximadamente el 9% del oxígeno disuelto, por tanto, el mayor consumo de oxígeno está en la respiración del agua y los sedimentos entendiéndose que ese consumo es debido a la actividad metabólica de los microorganismos (Santa y Vinatea 2007). Los niveles bajos de oxígeno registrados en el presente estudio durante las primeras horas de la mañana son debidos a la actividad fitoplanctónica por el consumo del oxígeno durante la noche (Boyd 1990, García y Brune 1991).

En el presente estudio, se observó que, la aireación mecánica y se mantuvo solo en los primeros 15 días de cultivo de la primera fase y posteriormente el manejo del OD en función de los recambios de agua diarios. Los recambios de agua estuvieron alrededor del 15% del volumen total de las piscinas. Aproximadamente en el 80% de granjas camaroneras el recambio de agua está en función de los niveles de la marea, por lo cual no es un mecanismo seguro para suplir las demandas de oxígeno. Ante estas condiciones, el control del OD al amanecer

y al atardecer es posiblemente insuficiente, requiriéndose que este parámetro junto a la temperatura y otras variables críticas como el pH, requieran un control más frecuente.

Se entiende que las condiciones de OD en el agua de un estanque influyen en la transformación de nutrientes a través de la degradación de la materia orgánica, la cual se produce diariamente en el estanque por excreción de los organismos y la acumulación diaria de alimento no consumido. Por esto, la disponibilidad de nutrientes disueltos en el agua en sistemas abiertos de cultivo es limitada (Avnimelech y Ritvo 2003, Velásquez-López *et al.* 2023). A esto se suma que la descomposición de materia orgánica en un ambiente anaeróbico es más lenta por la ausencia de oxígeno (Sahrawat 2004). Por tanto, el oxígeno es el principal elemento que limita la producción en acuicultura (Boyd y Watten, 1989, Santa y Vinatea 2007). En adición, la materia orgánica del fondo y que está en suspensión, sirve como sustrato para bacterias de toda clase, incluso las patógenas. Entre más materia orgánica haya en un estanque de cultivo de camarones, mayor riesgo de bacteriosis habrá, con los subsecuentes brotes de otros microorganismos, enfermedad y eventual mortalidad, bajando el porcentaje de sobrevivencia.

La condición de transferencia de OD en el agua con el uso de aireadores ha sido documentada por Vinatea *et al.* (2011). En Ecuador, aproximadamente desde el año 2010 se implementaron aireadores mecánicos para mejorar las condiciones de oxígeno en los estanques de cultivo de camarón. En el presente estudio, la administración de los aireadores mecánicos fué dedicada exclusivamente a la etapa inicial e intermitentemente en etapas de mayor desarrollo e independientemente de la estación climática. Es decir, no se considera el peso corporal de los organismos durante el ciclo de cultivo, la biomasa y las necesidades de aireación cuando el estanque alcanza la mayor demanda de oxígeno. Lo observado en el presente estudio no puede generalizarse, pero la evidente incidencia de la temperatura demuestra la necesidad de considerar alternativas de manejo de la calidad del agua.

### Productividad del camarón

La Tabla 3 muestra el resumen de producción de las tres fases de cultivo en la estación lluviosa y seca. La supervivencia alcanzada en la estación seca fue 1,5 veces superior a la registrada en la estación lluviosa. Así mismo, la biomasa total de camarón producido en las tres fases de cultivo durante la estación seca fue superior a la biomasa reportada para la estación lluviosa.

El peso de los organismos cultivados en la estación lluviosa fue superior, alrededor de 4,8 g al peso registrado en la estación seca. En la estación seca hay temperaturas bajas, pero más estables; el camarón sobrevive más, pero crece menos. Esto puede ser atribuible a la reducción del metabolismo por el agua más fría, así como a la subalimentación al haber mayor biomasa (por mayor supervivencia) y falta en ajustes a la tasa diaria de alimentación. La inanición también tiene un efecto directo en la muda o desarrollo de *P. vannamei* y en la supervivencia (Ochoa y Velásquez-López 2023).

**Tabla 3.** Parámetros de producción en el cultivo del camarón durante las tres fases de cultivo en la estación seca y lluviosa.

| PARÁMETROS                     | ESTACIÓN SECA<br>DRY SEASON |           |           | ESTACIÓN LLUVIOSA<br>RAINY SEASON |           |           |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|
|                                | Fase 1                      | Fase 2    | Fase 3    | Fase 1                            | Fase 2    | Fase 3    |
| Población final (N)            | 430.393                     | 643.932   | 699.851   | 246.462                           | 516.228   | 463.437   |
| Peso final (g)                 | 16                          | 19,2      | 21,92     | 22,5                              | 21        | 28,1      |
| Tasa de Crecimiento (%/semana) | 4,71                        | 4,75      | 2,73      | 5,27                              | 5,17      | 3,02      |
| Biomasa inicial (kg)           | 2,75                        | 176,76    | 1.409,04  | 2,39                              | 191,18    | 1.524,01  |
| Biomasa Final (kg)             | 6.885,24                    | 12.370,27 | 15.340,13 | 5.545,04                          | 10.839,97 | 13.018,72 |
| Alimento consumido (kg)        | 10.624                      | 23.088    | 34.424    | 7.416                             | 19.803    | 27.583    |
| Conversión alimenticia         | 1,54                        | 1,87      | 2,24      | 1,34                              | 1,83      | 2,12      |
| Supervivencia (%)              | 74,60                       | 72,90     | 74,50     | 39,50                             | 54,00%    | 45,60     |

Durante la estación seca la conversión alimenticia en las tres fases de cultivo fue de 1,88 y en la estación lluviosa fue de 1,76. Tanto en la estación seca como en la lluviosa, la conversión de alimento más alta fue registrada en el cultivo del tercer estanque o fase 3, seguida de la conversión obtenida en el segundo estanque o fase 2 y la menor se registró en el primer estanque o fase 1. Es importante destacar que, la fase 1 tuvo alimentadores automáticos en las primeras etapas de vida en cautiverio del camarón, aspecto que podría haber incidido en el consumo de alimento. En general, la conversión de alimento resultante de la estación seca fue ligeramente superior a la conversión de alimento obtenida en la estación lluviosa para las tres fases de cultivo.

En concordancia con lo observado en las variaciones de oxígeno y temperatura, en el presente estudio, posiblemente, inestables y extremas temperaturas registradas en la estación lluviosa causaron estrés en los organismos sostenidos en las tres fases de cultivo. Esto coincidió con descensos del OD en el agua a niveles por debajo de 2 mg/L en la estación lluviosa, lo cual podría haber afectado el metabolismo energético de los camarones, lo que conlleva a la susceptibilidad de enfermedades y mortalidades que repercuten en la productividad (Xu *et al.* 2019). La respuesta fisiológica del camarón se altera considerablemente cuando niveles críticos de temperatura y el OD en el agua de cultivo se combinan. Temperaturas menores a 26 °C dieron como resultado un retardo de un 25% en el crecimiento respecto al crecimiento detectado en estación lluviosa, cuando las temperaturas estuvieron alrededor de 30 °C. Por su parte, temperaturas sobre los 30 °C marcaron una mortalidad alrededor del 30% en la estación lluviosa con relación al número de organismos cosechados en la estación seca.

Respecto al consumo de alimento, Limsuwan y Ching (2018) a 33 °C los camarones consumieron mayor cantidad de alimento que a 29 °C y, aunque el crecimiento fue similar en ambas temperaturas, la mortalidad fue más alta a 33 °C. En el estudio de estos investigadores se determinó que el grupo de animales expuestos a 33 °C, tuvo la mayor conversión alimenticia, altos niveles de nitrógeno y menor supervivencia. Es decir que se evidencia enlace de la temperatura con otro factor ambiental que también incide en la salud de los organismos. En el presente estudio, se encontraron mortalidades de 46,3±5,9% en la estación lluviosa cuando los organismos estuvieron a temperaturas que fluctuaron entre 24,9 a 34,7 °C. Todas las fases de la estación lluviosa tuvieron la misma respuesta de mortalidad. Al analizar el consumo total de alimento exógeno en las tres fases de la estación seca, con temperaturas de 23 a 26 °C, se identificó un incremento de 13,334 kg de alimento consumido en comparación a la estación lluviosa. Por tanto, la conversión alimenticia observada en la estación seca tuvo un promedio de 1,88 kg mientras que en la estación lluviosa fue 1,76 kg. Es decir, en la estación seca, con una supervivencia significativamente superior a la estación lluviosa, se consumió 0,12 kg más de alimento por cada kg de camarón producido.

De acuerdo con lo previamente analizado en el presente estudio, la ganancia en peso del camarón no tuvo relación con el consumo de alimento en las tres fases de cultivo. A altas temperaturas, menor consumo de alimento, mayor peso del camarón y menor tiempo de cultivo, determinándose un promedio de peso de 23,87±3,05 g en las tres fases de cultivo y en 91,33±4,19 días de cautiverio. En cambio, en la estación seca con bajas temperaturas, el promedio de peso de las tres fases fue de 19,04±2,42 g y 96,33±1,69 días de cultivo. El mejor rendimiento en peso obtenido en la estación lluviosa podría haber sido por mejor asimilación del alimento exógeno cuando los organismos están a altas temperaturas. Sin embargo, la estación seca con temperaturas más bajas el mayor consumo de alimento permitió sostener la población de organismos en los estanques de las tres fases. Se requiere más información de manejo y control del consumo de alimento exógeno junto a parámetros de calidad de agua para deducir con más claridad la influencia en la supervivencia y ganancia en peso del camarón bajo las condiciones de cambios de clima.

Finalmente, de acuerdo con el cálculo de ingreso económico por venta de camarón y considerando el precio del camarón a la fecha de cultivo, en la estación seca se obtuvo un ingreso económico de USD 208.514 en la cosecha de las tres fases de cultivo, mientras que en la estación lluviosa se generó un ingreso económico de USD 183.748, análisis que ratifica que la estación seca fue económicamente más productiva para este caso de estudio.

Algunos productores de camarón no están conscientes del efecto invernadero y las consecuencias en los cambios de temperatura, disponibilidad del OD en el agua y la productividad. Consecuentemente, tampoco se presta atención al efecto sobre la calidad del agua, la salud ambiental y bienestar animal. Debido a los cambios

del clima y temperaturas extremas, la estación lluviosa o el efecto del cambio climático con altas temperaturas en el Ecuador, se convierte en una condición crítica para el cultivo del camarón, lo que implica que para el manejo de sistemas abiertos es crítico implementar medidas para el manejo de las variaciones de la temperatura del agua, en especial cuando exceden niveles permisibles, así como las consecuencias en otras variables como el OD en el agua y el consumo de alimento de los organismos. El conocimiento de las proyecciones sobre la variación del clima respecto a los cambios en la temperatura del agua y la afectación a la condición de oxígeno disuelto, podrían ayudar a los acuicultores a tener una mejor planificación y mejores resultados de producción (Islam et al. 2018). Medidas para una acuicultura sostenible deben ser tomadas a nivel de granja, sector o región, puesto que alrededor del 90% del sector camaronero del Ecuador practica el cultivo en sistemas abiertos de cultivo, donde la temperatura del agua depende de las condiciones del clima.

## CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que, durante el cultivo del camarón *P. vannamei* en Ecuador, la temperatura del agua de la estación lluviosa y seca marcan diferencias significativas. Por lo tanto, frente a los eventos de cambio climático, el control de estos parámetros en sistemas de cultivo abiertos es crítico para evitar intervalos térmicos fuera de los límites permisibles para la especie. Los resultados del presente estudio se enfocaron a las variaciones de temperatura y OD en el agua de cultivo con salinidades de 18 ppm para la estación lluviosa y 28 ppm para la estación seca. La temperatura del agua de los estanques de cultivo de camarón fue más baja y estable en la estación seca. En la estación lluviosa, la supervivencia del camarón en cultivo fue menor, compensado el mejor crecimiento del camarón y menor tiempo de cultivo. Estudios de calidad de agua más integrales que incluyan otras variables tales como pH, amonio, materia orgánica, productividad primaria y análisis microbiológico, podrían contribuir a un mejor entendimiento de la incidencia de los cambios extremos de temperatura sobre las condiciones de calidad de agua en estanques de cultivo y la respuesta fisiológica del camarón en cautiverio.

Dado que los datos del presente estudio surgen de una granja de cultivo de camarón del Ecuador, los resultados no pueden generalizarse o aplicarse a otras latitudes geográficas o con diferentes modelos de cultivo. Sin embargo, este estudio deja en evidencia que durante los últimos tiempos en el sur del Ecuador la temperatura en el agua de cultivo sufre variaciones que pueden alcanzar niveles extremos para el camarón, aspecto crítico para la sostenibilidad del cultivo en sistemas abiertos, así como también para el manejo del alimento exógeno, la supervivencia y la producción de biomasa, problema que los productores de camarón del sur del Ecuador tienen que enfrentar implementando medidas de adaptación al cambio climático acorde a las condiciones de cada granja.

## Declaración de conflicto de interés de los autores

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Declaración de buenas prácticas en el uso de animales

Los autores declaran que se ha seguido de manera inequívoca y rigurosamente todas las pautas internacionales, nacionales e institucionales aplicables para el cuidado y uso de animales en todas las actividades de acuicultura.

## REFERENCIAS

- Avnimelech Y., Ritvo G. (2003). Shrimp and fish pond soils: Processes and management. *Aquaculture*, 220(1):549-569. [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00641-5](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00641-5)
- Boyd C. E. (2018). Proper management most important aspect of aquaculture pond water quality management. *Global Seafood Alliance*, 1-6.

- Boyd C. E. (2020). Efectos del tiempo y el clima en la acuicultura. *Responsible Seafood Advocate*. <https://www.globalseafood.org/advocate/efectos-del-tiempo-y-el-clima-en-la-acuicultura/>
- Boyd C. E., Tucker C. S. (1998). Pond aquaculture water quality management. *Kluwer Academic Publishers*.
- Boyd, C. E., Watten B. (1989). Aeration systems in aquaculture. *Review of Aquatic Sciences*, 1(3):425-472.
- Camacho-Jiménez L., Felix-Portillo M., Nuñez-Hernandez D. M., Yepiz-Plascencia G. (2019). Molecular cloning and modeling of the Tp53-induced glycolysis and apoptotic regulator (TIGAR) from the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its expression in response to hypoxia. *Fish & Shellfish Immunology*, 93:484-491. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.08.003>
- Camacho-Jiménez L., Peregrino-Uriarte A. B., Martínez-Quintana J. A., Yepiz-Plascencia G. (2018). The glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase of the shrimp *Litopenaeus vannamei*: Molecular cloning, characterization and expression during hypoxia. *Marine environmental research*, 138:65-75. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.04.003>
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2024). Estadísticas- Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales. *Revista Acuicultura*, 157:58. <https://www.cna-ecuador.com/revista-acuicultura/>
- Castillo-Ochoa B. D., Velásquez-Lopez P. C. (2021). Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador. *Sociedad & Tecnología*, 4(3):447-461. <https://doi.org/10.51247/st.v4i3.151>
- De Castro Freire M. V., Alves Costa M. G., Lopes Ferreira R. (2021). Eficiência dos sistemas de cultivo de camarões marinhos. *Pubvet*, 1-7. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n2a752.1-7>
- Do H., Ho T. Q. (2022). Climate change adaptation strategies and shrimp aquaculture: Empirical evidence from the Mekong Delta of Vietnam. *Ecological Economics*, 196.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Hacia la transformación azul. <https://www.fao.org/3/cc0461es/cc0461es.pdf>
- Ferreira N. C., Bonetti V., Seiffert W. Q. (2011). Hydrological and Water Quality Indices as management tools in marine shrimp culture. *Aquaculture*, 318((3-4):425-433. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.045>
- Fóes G., Wasielesky Junior W., Marchetti I., Rosas V. (2021). Assessing the effect of temperature on FCR in Pacific white shrimp cultured in biofloc systems. *Global Seafood Alliance*, 1-7.
- García A., Brune D. (1991). Transport limitation of oxygen in shrimp culture ponds. *Aquacultural Engineering*, 10(4):269-279. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(91\)90016-D](https://doi.org/10.1016/0144-8609(91)90016-D)
- González-Ruiz R., Leyva-Carrillo L., Peregrino-Uriarte A. B., Yepiz P. G. (2022). The combination of hypoxia and high temperature affects heat shock, anaerobic metabolism, and pentose phosphate pathway key components responses in the white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Cell Stress and Chaperones*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12192-022-01265-1>
- Hirono Y. (2009). Preliminary Report on Shrimp Culture Activities In Ecuador. *Journal of the World Mariculture Society*, 14(1-4):451-457. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1983.tb00097.x>
- Islam M. A., Akber M. A., Ahmed M., Rahman M. M., Rahman M. R. (2018). Climate change adaptations of shrimp farmers: a case study from southwest coastal Bangladesh. *Climate and Development*, 11(6):459-468. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442807>

- Limsuwan C., Ching C. A. (2018). Temperature affects shrimp survival, feed conversion. *Responsible Seafood Advocate*. [https://www.globalseafood.org/advocate/temperature-affects-shrimp-survival-feed-conversion/#:~:text=Lab%20trials%20at%20Kasetsart%20University,white%20shrimp%20\(Litopenaeus%20vannamei\)](https://www.globalseafood.org/advocate/temperature-affects-shrimp-survival-feed-conversion/#:~:text=Lab%20trials%20at%20Kasetsart%20University,white%20shrimp%20(Litopenaeus%20vannamei).).
- Martínez Palacios C. A., Ross L. G. (1986). The effects of temperature, body weight, and hypoxia on the oxygen consumption of the Mexican mojarra, *Cichlasoma urophthalmus* (Günther). *Aquaculture Research*, 17(4):243-248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1986.tb00110.x>
- Montenegro M., Campozano L., Urdiales-Flores D., Maisincho L., Serrano-Vincenti S., Borbor-Cordova M. J. (2022). Assessment of the Impact of Higher Temperatures Due to Climate Change on the Mortality Risk Indexes in Ecuador Until 2070. *Frontiers in Earth Science*, 9:1340. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.794602>
- Ochoa-Pereira P. M., Velásquez-López P.C. (2023). Effect of fasting on molting and survival rate in postlarvae of the shrimp *Litopenaeus vannamei*: Efecto del ayuno sobre la muda y la tasa de supervivencia en postlarvas del camarón. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 58(1):10-18.
- Piña-Valdez P., Arzola G. J., Nieves-Soto M., Medina-Jasso M. A. (2015). Efecto combinado de Temperatura y Salinidad en el consumo de oxígeno en postlarvas de Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei*. *Boletim do Instituto de Pesca Sao Paulo*, 41(1):89-101.
- Ponce-Palafox J., Martinez-Palacios C. A., Ross L. G. (1997). Los efectos de la salinidad y la temperatura en las tasas de crecimiento y supervivencia de juveniles de camarón blanco, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1-2):107-115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00148-8)
- Robertson C. (2006). Australian Prawn Farming Manual: Health Management for profit. The State of Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane, 159. <http://aci.gov.au/publication/CoP01>
- Sahrawat K. L. (2004). Organic matter accumulation in submerged soils. *Advances in Agronomy*, 81:169-201. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81004-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81004-0)
- Santa K., Vinatea L. (2007). Evaluation of respiration rates and mechanical aeration requirements in semi-intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* culture ponds. *Aquacultural Engineering*, 1:73-80. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.07.002>
- Seabra de Maltalhaes M. E. (2004). Cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em sistema multifásico. Masters Thesis. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Velásquez López P., Solórzano J., Ochoa P., Solano G., Quizhpe P., Guillen R. (2023). Caracterización de la calidad del agua durante el cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei* con agua dulce en el Sur del Ecuador. *Journal of the Selva Andina Animal Science* 10(2):74-87. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2023.100200074>.
- Villareal H., Hinojosa P., Naranjo J. (1994). Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 108(2-3):331-336. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90103-1](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90103-1)
- Vinatea L., Muedas W., Arantes R. (2011). The impact of oxygen consumption by the shrimp *Litopenaeus vannamei* according to body weight, temperature, salinity, and stocking density on pond aeration: A simulation. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 33(2):125-132. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v33i2.7018>

- Wang Z., Qu Y., Yan M., Li J., Zou J., Fan L. (2019). Physiological responses of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vanameito* temperature fluctuation in low-salinity water. *Frontiers in physiology*, 10:450479. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01025>
- Wigglesworth J. (2002). Temperature effects on shrimp survival to disease. *Global Seafood Alliance*. <https://www.globalseafood.org/advocate/temperature-effects-on-shrimp-survival-to-disease/>
- Wyban J., Walsh W. A., Godin D. M. (1995). Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 138(1-4):267-279.
- Xu Z., Guan W., Xie D., Lu W., Ren X., Yuan J., Mao L. (2019). Evaluation of immunological response in shrimp *Penaeus vannamei* submitted to low temperature and air exposure. *Dev. Comp. Immunol*, 100:103413. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2019.103413>

