

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ  
EXTENSIÓN PEDERNALES**



**Tesis previa a la obtención del título de biólogo**

**TITULO:**

“ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN SISTEMAS ACUÍCOLAS  
UTILIZANDO ECUACIONES DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN” EN  
CAMARONERAS EN PEDERNALES


**AUTOR (A)**

ENDY ALBA LUCAS ARTEAGA

**TUTOR (A)**

Ing. Macias Chila Ramon Raúl

**PEDERNALES – MANABÍ - ECUADOR**

	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> <b>CERTIFICADO DE TUTOR(A).</b>	<b>CÓDIGO: PAT-04-F-004</b>
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO</b> <b>BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	<b>REVISIÓN: 1</b> Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de biología de extensión Pedernales de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **LUCAS ARTEAGA ENDY ALBA**, legalmente matriculado/a en la carrera de **BIOLOGIA...**, período académico 20252026, cumpliendo el total de 320 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es "ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN SISTEMAS ACUÍCOLAS UTILIZANDO ECUACIONES DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN" EN CAMARONERAS EN PEDERNALES.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 28 de enero de 2026.

Lo certifico,



...Ing.Mg.sc. Macias Chila Ramon Raúl  
**Docente Tutor(a)**  
**Área: Biología**

## CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El tribunal evaluador

Certifica:

Que el trabajo de fin de carrera modalidad Proyecto de Investigación titulado:

“ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN SISTEMAS ACUÍCOLAS  
UTILIZANDO ECUACIONES DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN EN  
CAMARONERAS EN PEDERNALES”


Realizado y concluido por las Sra. Endy Alba Lucas Arteaga ha sido revisado y evaluado por los miembros del tribunal.


El trabajo de fin de carrera antes mencionado cumple con los requisitos académicos, científicos y formales suficientes para ser aprobado.

Pedernales, 23 de febrero del 2026

Para dar testimonio y autenticad firman:

  
Ing. Derli Alava Rosado, PhD.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

  
Blgo. Daniel Reyes, Mg  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

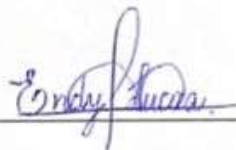
  
Blga. Cccibel Tenelema Delgado, Mg  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **AUTORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Endy Alba Lucas Arteaga, con cédula de identidad No.235021645-9, declaro que el trabajo de titulación "Análisis de transferencia de calor en sistemas acuícolas utilizando ecuaciones de conducción y convección en camaroneras en Pedernales" ha sido elaborado de forma original y personal. Este trabajo se fundamenta en una investigación propia, apoyándose en fuentes bibliográficas únicamente como referencia, respetando los derechos intelectuales de sus respectivos autores.

Por tanto, afirmo que las ideas y conclusiones expresadas en este documento son de mi autoría. Me responsabilizo por la veracidad de su contenido, así como del alcance de las investigaciones desarrolladas.

Pedernales, 27 de enero de 2026



---

Endy Alba Lucas Arteaga

CI. 235021645-9

## **DEDICATORIA**

Al concluir esta maravillosa etapa de mi vida, dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres Genith Arteaga y Eddy Lucas quienes me han enseñado el valor de la vida, por todo el amor y esfuerzo que pusieron para formarme, gracias por hacer de mí la persona que soy.

A mí a persona favorita, que nunca se rindió conmigo y siempre estuvo en los momentos más difíciles, gracias por nunca dejarme sola, este logro también es tuyo.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, le doy gracias a Dios, por sus bendiciones, por permitirme estar hoy aquí cumpliendo una meta más en mi vida.

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional, quienes son mi motor en mi vida, por recordarme quien soy cada día y confiar en mí, su hija lo logro, los amo mucho.

A mi novio, quien siempre estuvo desde el día uno acompañándome en cada etapa de esta maravillosa carrera, gracias por motivarme y demostrarme lo valiente que soy, te amo.

A mis amigas, por brindarme de su amistad y apoyo, me quedo con cada una de las experiencias hermosas que tuvimos, las llevo en mi corazón por siempre.

Y a cada uno de los docentes que estuvieron presente a lo largo de mi aprendizaje durante estos cuatro años de carrera, gracias por todo. A mí tutor el Ing. Raúl Macías por brindarme de su guía y apoyo durante esta fase de investigación importante para mí.

Asimismo, agradezco a cada una de las personas que estuvieron a mi lado y me brindaron de su linda amistad, apoyo y me cuidaron durante todo este proceso en mi vida.

## RESUMEN

Esta investigación analizó la transferencia de calor en piscinas camaroneras dedicadas al cultivo de *Litopenaeus vannamei*, ubicadas en el cantón Pedernales. Para el desarrollo del estudio se seleccionaron cinco piscinas camaroneras, en las cuales se realizó el monitoreo de la temperatura del agua bajo condiciones reales de producción.

La recolección de datos se efectuó durante un periodo de 32 días, la temperatura del agua fue registrada en cuatro piscinas (P1, P2, P3 y P4), considerando tres zonas internas en cada una (entrada, zona central y salida). Las mediciones se realizaron a dos profundidades específicas: 0,20 m desde la superficie y en el fondo del estanque, con el fin de evaluar posibles variaciones térmicas horizontales y verticales.

Asimismo, se consideraron los periodos diurno y nocturno para analizar la influencia del ciclo diario sobre el comportamiento térmico del sistema.

La información obtenida permitió aplicar ecuaciones de conducción y convección para el análisis de la transferencia de calor, evidenciando la existencia de gradientes térmicos asociados a la profundidad, la ubicación dentro de las piscinas y el periodo del día.

**Palabras claves:** Transferencia de calor, Temperatura del agua, Camaroneras, *Litopenaeus vannamei*, Conducción y convección.

## ABSTRACT

This research analyzed heat transfer in shrimp ponds dedicated to the cultivation of *Litopenaeus vannamei*, located in the Pedernales canton. For the development of the study, five shrimp ponds were selected, in which the water temperature was monitored under real production conditions.

Data collection took place over a 32-day period. Water temperature was recorded in four pools (P1, P2, P3, and P4), considering three internal zones in each pool (inlet, central zone, and outlet). Measurements were taken at two specific depths: 0.20 m from the surface and at the bottom of the pool, in order to evaluate possible horizontal and vertical temperature variations.

Day and night periods were also considered to analyze the influence of the daily cycle on the system's thermal behavior.

The information obtained allowed for the application of conduction and convection equations to analyze heat transfer, revealing the existence of thermal gradients associated with depth, location within the pools, and time of day.

**Keywords:** Heat transfer, Water temperature, Shrimp farms, *Litopenaeus vannamei*, Conduction and convection.

## TABLA DE CONTENIDO

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
Planteamiento del problema .....	15
Identificación de variables.....	16
Dependientes .....	16
Independiente.....	16
Formulación del Problema.....	16
Pregunta de investigación.....	17
Objetivos del Proyecto de Investigación .....	17
Objetivo general .....	17
Objetivos específicos.....	17
Justificación del Proyecto.....	18
Marco teórico.....	18
Antecedentes.....	18
Bases teóricas .....	19
Conducción.....	20
Convección .....	20
Ecuaciones .....	21
Ecuación de conducción (Ley de Fourier).....	21
Ecuación de convección (Ley de enfriamiento de Newton).....	22
Relación entre la temperatura y el cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	22
Rangos térmicos óptimos para el cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	23
Influencia de factores ambientales en la variación térmica de las camaronas .....	24
DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y METODOS) .....	24
Enfoque de la investigación.....	24

Diseño de la investigación.....	25
Tipo de investigación, nivel o alcance.....	25
Métodos de investigación.....	25
Población y/o muestra.....	26
Técnicas de investigación.....	26
Delimitación geográfica de la investigación.....	26
Materiales y métodos.....	27
Área de estudio.....	27
Monitoreo de temperatura.....	28
Definición de periodos térmicos.....	28
Procesamiento de datos.....	28
Diseño estadístico y modelo de análisis.....	29
Análisis estadístico.....	30
Modelación de la transferencia de calor en las camaroneras.....	30
Configuración de la medición térmica.....	31
Modelación de la transferencia de calor por conducción.....	31
Consideración del intercambio convectivo superficial.....	32
Resultados.....	33
Comparación entre el modelo teórico y las mediciones experimentales.....	42
Fundamentación del enfoque adoptado.....	42
Análisis técnico–descriptivo.....	44
Discusión.....	50
Contestación de las preguntas de investigación.....	51
Conclusiones.....	53
Recomendaciones.....	53

Referencias .....	55
ANEXOS .....	58

## INDICE DE FIGURA

Gráfico 1: Piscinas 1, 2, 3 y 4 del área de investigación, se encuentran ubicadas en el km 20 de la vía Cojimíes cerca del estuario del río Cojimíes. ....	26
Gráfico 2. Serie de tiempo secuencial de la temperatura promedio del agua en camaroneras - período Día.....	33
Gráfico 3. Serie de tiempo secuencial de la temperatura promedio del agua en camaroneras - Período Noche.....	34
Gráfica 4. Probabilidad de Temp_prom_C.....	35
Gráfico 5. Efectos principales para Temp_prom_C .....	38
Análisis técnico–descriptivo.....	44
Gráfico 6. De interacción para $T_{0.20\_prom}$ (°C); $T_{fondo\_prom}$ (°C); $\Delta T_{prom}$ (°C); $q_{cond\_prom}$ (W/m <sup>2</sup> ) .....	44
Gráfico 7. Interacción para $T_{fondo\_prom}$ (°C).....	45
Gráfico 8. Interacción para $\Delta T_{prom}$ .....	46
Gráfico 9. Interacción $q_{cond\_prom}$ .....	46

## INDICE DE TABLA

Tabla 1. Información del factor .....	36
Tabla 2. Análisis de varianza.....	37
Tabla 3. Comparaciones por parejas de Fisher: Piscina .....	37
Tabla 4. Comparaciones por parejas de Fisher: Zona .....	37
Tabla 5. Comparaciones por parejas de Fisher: Profundidad.....	38
Tabla 6. Comparaciones por parejas de Fisher: Período .....	38
Tabla 7. Gradiente térmico vertical y flujo de calor por conducción en la Piscina 1 .....	39
Tablas 8, 9 y 10. Gradiente térmico y flujo de calor por conducción en las Piscinas 2, 3 y 4. ....	40
Tabla 11. Promedio del gradiente térmico y flujo de calor por conducción por zona y periodo (P1–P4).....	41
Tabla 12. Resultados de Zona = Z1_Entrada .....	42
Tabla 13. Resultados de Zona = Z2_Centro .....	43
Tabla 14. Resultados de Zona = Z3_Salida.....	43
Tabla 15. Resultados de Zona = Z4_Aireador.....	43
Análisis técnico–descriptivo.....	44
$Y_{ij} = \mu + Z_i + P_j + (ZP)_{ij} + \varepsilon_{ij}$ .....	47
Tabla 16. Información del factor .....	47
Tabla 17. Análisis de varianza.....	47
Tabla 18. Comparaciones por parejas de Fisher: Período .....	48
Tabla 19. Ecuación de regresión.....	48
Tabla 20. Coeficientes .....	49
Tabla 21. Resumen del modelo .....	49
Tabla 22. Análisis de Varianza.....	49

## **CAPITULO I**

### **CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **INTRODUCCIÓN**

La temperatura constituye una de las variables ambientales más relevantes en los sistemas acuícolas, debido a su influencia sobre los procesos físicos que ocurren en el agua y su entorno. En piscinas de cultivo, las variaciones térmicas pueden estar asociadas a factores como la radiación solar, las condiciones atmosféricas y las características del suelo del estanque, generando intercambios de energía que modifican el comportamiento térmico del sistema a lo largo del día. (Boyd C. E., 1998)

En zonas costeras de la provincia de Manabí, particularmente en el cantón Pedernales, las camaroneras se desarrollan bajo condiciones climáticas variables que pueden provocar fluctuaciones de temperatura en las piscinas de cultivo. Estas variaciones, aunque naturales, requieren ser analizadas desde un enfoque técnico que permita comprender los mecanismos de transferencia de calor involucrados, especialmente aquellos relacionados con la conducción entre el suelo y el agua, así como la convección entre la superficie del estanque y el aire. (Incropera F. P., 2017)

El análisis de la transferencia de calor en sistemas acuícolas resulta relevante para interpretar el comportamiento térmico del agua en función de las condiciones ambientales locales. Comprender estos procesos permite aportar información técnica que sirva como base para la toma de decisiones en el manejo de piscinas de cultivo, considerando la importancia de mantener condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de los organismos cultivados.

La investigación actual se desarrolla en cinco piscinas que se encuentran en el km 20 vía Cojimíes en el cantón Pedernales. El propósito de la investigación es examinar y recopilar elementos térmicos en situaciones reales para analizar los sistemas acuícolas.

### **Planteamiento del problema**

En los sistemas acuícolas, la temperatura del agua constituye una variable ambiental fundamental, debido a que presenta variaciones asociadas a las condiciones climáticas y a las características físicas del entorno donde se desarrolla el cultivo (Timmons, 2010). En piscinas de cultivo, estos cambios térmicos están relacionados con procesos de intercambio de calor entre el suelo del estanque, el agua y el aire, los cuales influyen en el comportamiento térmico del sistema.

En Pedernales, las piscinas camaroneras enfrentan entornos ambientales inestables, con cambios notorios en la radiación solar, la temperatura atmosférica y las cualidades del suelo. No obstante, suele escasear la información técnica detallada sobre los procesos de intercambio de calor en las pozas de cultivo y el impacto de esas variaciones térmicas en todo el esquema.

Debido a la falta de investigaciones sobre los procesos de conducción y convección en estanques acuícolas, resulta difícil entender cómo se comporta térmicamente el agua y cómo interpretar las condiciones ambientales del cultivo. Este escenario podría limitar la capacidad de implementar estándares técnicos apropiados para el monitoreo térmico en sistemas acuícolas.

En este contexto, es preciso examinar la transferencia de calor en sistemas acuícolas mediante ecuaciones de conducción y convección, empleando datos obtenidos en situaciones reales. (Bejan, 2013)

El estudio se desarrolla en cinco piscinas de cultivo ubicadas en la vía Cojimíes km 20, cantón Pedernales, con el fin de aportar información técnica que contribuya a una mejor comprensión del comportamiento térmico del sistema acuícola desde un enfoque biológico aplicado.

### **Identificación de variables**

#### **Dependientes**

- Temperatura del agua en las piscinas de cultivo.
- Variación térmica del agua a lo largo del día.

#### **Independiente**

- Procesos de transferencia de calor (conducción y convección) presentes en las piscinas del cultivo

### **Formulación del Problema**

En los sistemas acuícolas, la temperatura del agua es una de las variables físicas que presenta mayor variabilidad a lo largo del día, debido a la influencia de factores ambientales y a las características propias de las piscinas de cultivo. En zonas de clima tropical, como el cantón Pedernales, estas variaciones térmicas pueden generar diferencias significativas en el comportamiento térmico del agua dentro de los estanques.

En la práctica, el seguimiento de la temperatura en las camaroneras suele realizarse de manera descriptiva, sin un análisis físico que permita comprender cómo se produce la transferencia de calor entre el suelo, el agua y el ambiente. La ausencia de un enfoque basado en ecuaciones de conducción y convección limita la interpretación de los cambios térmicos observados y dificulta el entendimiento del funcionamiento térmico del sistema acuícola.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de analizar la transferencia de calor en las piscinas de cultivo mediante la aplicación de ecuaciones de conducción y convección, con el propósito de describir el comportamiento térmico del sistema bajo condiciones reales de operación y aportar información técnica que permita una mejor comprensión de la dinámica térmica en sistemas acuícolas.

### **Pregunta de investigación**

¿Cómo influyen los procesos de conducción y convección en la transferencia de calor de los sistemas acuícolas en camaroneras de Pedernales?

¿Cuál es la variación térmica diaria del agua en los estanques?

### **Objetivos del Proyecto de Investigación**

#### **Objetivo general**

- ✓ Analizar la transferencia de calor en sistemas acuícolas mediante el uso de ecuaciones de conducción y convección, para el desarrollo eficiente en los organismos acuáticos.

#### **Objetivos específicos**

- ✓ Evaluar la variación de temperatura en diferentes zonas de las camaroneras utilizando sensores distribuidos, para determinar los perfiles térmicos presentes en el sistema acuícola.
- ✓ Aplicar las ecuaciones de conducción y convección para modelar la transferencia de calor en las camaroneras y comparar los resultados teóricos con las mediciones experimentales.

## **Justificación del Proyecto**

El análisis de la transferencia de calor en sistemas acuícolas resulta relevante debido a la influencia que la temperatura ejerce sobre las condiciones físicas del agua y su entorno. Entender el patrón térmico en las piscinas facilita una lectura más precisa de las variaciones de temperatura bajo condiciones ambientales reales. (Pillay, 2005)

Este trabajo se apoya en principios técnicos y biológicos, al incorporar datos recolectados en campo sobre los fenómenos de conducción y convección en las pozas. Esa información fortalece el análisis de las variables del entorno en cultivos acuícolas, al proporcionar herramientas para manejar y regular el control térmico del proceso. (Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S., 2007)

A nivel local, el estudio cobra relevancia porque hay pocos registros detallados sobre el comportamiento térmico de estas instalaciones. De esta manera servirán de guía para trabajos posteriores y para establecer normas técnicas en gestiones acuícolas similares.

## **Marco teórico**

### **Antecedentes**

Diversos estudios han demostrado que la temperatura del agua es uno de los factores ambientales más determinantes en los sistemas acuícolas, debido a su influencia directa sobre el metabolismo, crecimiento y supervivencia de los organismos cultivados. En el caso del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), investigaciones previas señalan que variaciones térmicas fuera de los rangos óptimos pueden generar estrés fisiológico, disminución del crecimiento e incremento de la mortalidad. (Boyd C. , 1998)

A nivel internacional, se han desarrollado investigaciones orientadas al análisis térmico de estanques acuícolas mediante el uso de modelos físicos y mediciones experimentales, con el fin de comprender cómo los procesos de transferencia de calor afectan la

estabilidad del sistema. Estos estudios destacan que la interacción entre el suelo del estanque, el agua y el ambiente atmosférico condiciona la dinámica térmica diaria, especialmente en sistemas extensivos y semi-intensivos. (Piedrahita, 2018)

En el contexto nacional, la información científica relacionada con la transferencia de calor en camarónicas es limitada, y la mayoría de los manejos térmicos se basan en la experiencia empírica de los productores. Esta falta de estudios técnicos dificulta la toma de decisiones fundamentadas para optimizar la producción y reducir los riesgos asociados a fluctuaciones térmicas, lo que evidencia la necesidad de investigaciones como la presente.

### **Bases teóricas**

La transferencia de calor se define como el proceso mediante el cual la energía térmica se desplaza desde una región de mayor temperatura hacia otra de menor temperatura. Este fenómeno ocurre de forma natural y está presente en todos los sistemas acuícolas, donde el agua intercambia calor constantemente con el suelo del estanque, el aire y la radiación solar. (Fernandez, 2015)

En los sistemas acuícolas, la transferencia de calor es especialmente relevante debido a que el agua actúa como medio principal de vida para los organismos cultivados. Las fluctuaciones de temperatura pueden modificar las condiciones internas del sistema, lo que podría tener un impacto negativo en la estabilidad medioambiental y en el rendimiento productivo de las especies. En consecuencia, entender cómo se transfieren el calor posibilita la optimización de la administración de estanques y la evitación de efectos perjudiciales en los cultivos.

La conducción y la convección son los dos procedimientos esenciales de transferencia térmica que se encuentran en las piscinas de camarones, los cuales se describirán más adelante.

### **Conducción**

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor que ocurre a través de un material sólido sin que exista movimiento del mismo. En las camaroneras, este proceso se presenta principalmente entre el suelo del estanque y el agua, donde el calor se transmite dependiendo de la diferencia de temperatura y de las propiedades térmicas del suelo. (Kern, 1999)

Durante el día, el suelo del estanque puede absorber energía térmica proveniente de la radiación solar y transferirla al agua por conducción. De manera inversa, durante la noche, el suelo puede perder calor hacia el ambiente, generando un enfriamiento del agua. Este intercambio térmico influye directamente en la temperatura interna del estanque y en la estabilidad térmica del sistema acuícola.

### **Convección**

La convección es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través del movimiento de un fluido, en este caso, el agua. En los sistemas acuícolas, la convección ocurre cuando masas de agua con diferente temperatura se desplazan dentro del estanque, favoreciendo la distribución del calor. (DABEDAN, 2024)

Factores como el viento, la aireación artificial y la diferencia de densidad del agua influyen en la intensidad de la convección. Cuando el agua caliente asciende y el agua más fría desciende, se generan corrientes internas que contribuyen a la homogenización térmica del estanque. Este proceso es fundamental para evitar estratificaciones térmicas que podrían afectar negativamente a los organismos cultivados. (Claude E. Boyd, 2018)

Comprender la convección térmica en camaroneras permite evaluar el efecto de variables externas, como la velocidad del viento y la radiación solar, sobre la temperatura del agua, aportando información clave para el diseño de estrategias de manejo térmico.

## **Ecuaciones**

### **Ecuación de conducción (Ley de Fourier)**

La conducción térmica es el mecanismo mediante el cual el calor se transfiere a través de un material sólido debido a una diferencia de temperatura. En las piscinas de cultivo estudiadas, este proceso se da sobre todo en el intercambio de calor entre el agua y el fondo del estanque. El suelo funciona como un conductor que aporta o quita energía térmica según el gradiente existente. La ley de Fourier explica esto al relacionar el flujo de calor con las diferencias de temperatura y las propiedades del material, para revisar el comportamiento térmico del agua y suelo. (Incropera F. P., 2017)

La expresión general de la ley de Fourier se representa de la siguiente manera:

$$Q = -k \cdot A \cdot (dT/dx)$$

Donde Q representa la cantidad de calor transferido, k es la conductividad térmica del material, A corresponde al área a través de la cual se transfiere el calor y  $dT/dx$  es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

En el contexto de las camaroneras, esta ecuación permite comprender cómo el tipo de suelo del estanque influye en la transferencia de calor hacia el agua, especialmente durante los cambios de temperatura entre el día y la noche. El análisis de la conducción térmica resulta fundamental para evaluar la estabilidad térmica del sistema y su impacto en las condiciones ambientales del cultivo.

### **Ecuación de convección (Ley de enfriamiento de Newton)**

La convección corresponde al proceso de transferencia de calor que se produce entre un fluido y su entorno como resultado del movimiento del fluido y de las condiciones del ambiente. En las piscinas de cultivo, este mecanismo está asociado principalmente al intercambio de calor entre la superficie del agua y el aire, siendo influenciado por factores como el viento, la aireación y la diferencia de temperatura entre ambos medios. La ecuación de convección se utiliza en este estudio para estimar el flujo de calor intercambiado, permitiendo analizar el comportamiento térmico del sistema acuícola bajo condiciones reales de campo. (Çengel, 2015)

El comportamiento de la convección puede representarse mediante la ley de enfriamiento de Newton, expresada de la siguiente forma:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$$

Donde Q es la tasa de transferencia de calor, h corresponde al coeficiente de transferencia de calor por convección, A es el área de contacto,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_{\infty}$  representa la temperatura del fluido circundante.

En los sistemas acuícolas, esta ecuación permite analizar cómo factores externos, como la velocidad del viento y la aireación artificial, influyen en la pérdida o ganancia de calor del agua del estanque. La comprensión de la convección térmica es clave para interpretar las variaciones de temperatura observadas y su efecto sobre el cultivo de *Litopenaeus vannamei*.

### **Relación entre la temperatura y el cultivo de *Litopenaeus vannamei***

La temperatura del suelo del estanque cumple un papel relevante en la dinámica térmica de las piscinas de cultivo, ya que influye en el intercambio de calor con la columna de agua. Durante el día, el suelo puede acumular energía térmica debido a la radiación solar,

mientras que en horas nocturnas puede liberar calor hacia el agua. Este comportamiento contribuye a la estabilidad o variabilidad térmica del sistema, por lo que su análisis resulta necesario para comprender el balance energético presente en las piscinas evaluadas. (Valenzuela-Quiñónez, 2011)

Temperaturas fuera del rango óptimo pueden generar estrés, reducir la eficiencia alimenticia y aumentar la susceptibilidad a enfermedades. Entonces, es vital revisar la temperatura en los estanques acuícolas para que el cultivo rinda y siga adelante sin problemas.

Analizar cómo se mueve el calor por conducción y convección en las camaroneras de Pedernales explica por qué cambian las temperaturas y cómo impactan en el lugar donde crecen los camarones. Con eso, se tienen argumentos firmes para mejorar el control de estas piscinas.

### **Rangos térmicos óptimos para el cultivo de *Litopenaeus vannamei***

Diversos estudios señalan que el rango térmico óptimo para el cultivo de *Litopenaeus vannamei* se encuentra aproximadamente entre 26 °C y 32 °C. Dentro de este intervalo, los camarones presentan un crecimiento adecuado, una mejor conversión alimenticia y una mayor tasa de supervivencia. Temperaturas por debajo o por encima de estos valores pueden provocar alteraciones metabólicas que afectan el desarrollo normal del organismo. (Martínez-Ordoñez, 2025)

Temperaturas bajas reducen la actividad metabólica, ralentizando el crecimiento y aumentando el tiempo de cultivo, mientras que temperaturas elevadas incrementan el consumo de oxígeno y el estrés fisiológico, lo que puede derivar en mortalidades si no se controla adecuadamente. Por ello, el monitoreo constante de la temperatura es una práctica esencial en la gestión de los sistemas acuícolas. (Carranza, 2021)

La identificación de estos rangos térmicos permite interpretar los resultados obtenidos en la presente investigación y evaluar si las condiciones térmicas observadas en las camaroneras de Pedernales se mantienen dentro de los valores recomendados para un cultivo eficiente.

### **Influencia de factores ambientales en la variación térmica de las camaroneras**

La temperatura del agua en las camaroneras no depende únicamente de las condiciones internas del estanque, sino también de diversos factores ambientales externos. Los componentes más relevantes que tienen un impacto directo sobre la conducción y la convección térmica son: el viento, la temperatura del aire, las características del terreno de la charca y la radiación solar.

A lo largo del día, la temperatura del agua y de la tierra en el estanque aumenta debido a la radiación solar, lo que propicia un intercambio térmico por medio de conducción. Por otro lado, es posible que la temperatura disminuya significativamente si se pierde hacia el ambiente en las horas nocturnas. Asimismo, el viento y la aireación artificial intensifican los procesos de convección, contribuyendo a la redistribución del calor dentro del estanque.

La comprensión de estos factores ambientales resulta clave para interpretar las variaciones térmicas registradas y relacionarlas con los mecanismos físicos descritos en el marco teórico, permitiendo un análisis integral del comportamiento térmico de los sistemas acuícolas evaluados.

## **CAPITULO II**

### **DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y METODOS)**

#### **Enfoque de la investigación**

La presente investigación es de tipo no experimental, debido a que no se manipulan las variables de estudio, sino que se observan y analizan tal como ocurren en su entorno natural. Asimismo, corresponde a una investigación de campo, ya que los datos fueron recolectados directamente en las piscinas de cultivo, y presenta un enfoque cuantitativo, basado en la medición y análisis de la temperatura del agua.

### **Diseño de la investigación**

Se implementó un diseño de investigación descriptivo realizado en camaroneras del cantón Pedernales, donde se medirán variables térmicas y ambientales en condiciones naturales. La investigación integra mediciones directas en el lugar con modelado matemático y computacional para contrastar los resultados teóricos con los datos obtenidos.

### **Tipo de investigación, nivel o alcance**

-La investigación es tipo no experimental, enfocándose en analizar la transferencia de calor en sistemas acuícolas mediante el uso de ecuaciones de conducción y convección, para el desarrollo eficiente en los organismos acuáticos. El nivel de investigación es descriptivo y explicativo, ya que describe cada uno de los patrones térmicos y explica cada uno de los mecanismos de calor.

### **Métodos de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental y de campo, puesto que no se realizó manipulación intencional de las variables, sino que se registraron las condiciones térmicas existentes en las piscinas de cultivo. La recolección de datos se llevó a cabo directamente en el área de estudio, permitiendo obtener información representativa del comportamiento térmico del sistema acuícola.

El sistema productivo evaluado está conformado por cinco piscinas de cultivo, las cuales fueron consideradas como unidades de análisis debido a que presentan condiciones similares en cuanto a manejo y características físicas.

### **Población y/o muestra**

La población de estudio estuvo constituida por el total de cuatro piscinas de cultivo presentes en la camaronera, las cuales fueron seleccionadas por su accesibilidad y disponibilidad para la toma de datos. Estas unidades permitieron obtener información suficiente para el análisis de la transferencia de calor en el sistema acuícola.

### **Técnicas de investigación**

La técnica empleada para la recolección de datos fue la observación directa y la medición in situ de la temperatura del agua. Como instrumento se utilizaron termómetros digitales, los cuales permitieron registrar los valores térmicos en cada una de las piscinas seleccionadas. Los datos obtenidos fueron registrados de forma sistemática en fichas de campo para su posterior organización y análisis.

### **Delimitación geográfica de la investigación**

El área de estudio corresponde a una camaronera ubicada en la Vía Cojimíes km 20, en el cantón Pedernales, provincia de Manabí, Ecuador.

**Gráfico 1: Piscinas 1, 2, 3 y 4 del área de investigación, se encuentran ubicadas en el km 20 de la vía Cojimíes cerca del estuario del río Cojimíes.**



**Fuente:** Google Earth

## **Materiales y métodos**

### **Área de estudio**

El estudio se desarrolló en un sistema de producción acuícola de camarón marino conformado por cuatro piscinas de cultivo (P1, P2, P3 y P4), las cuales presentan características estructurales y operativas similares, pero diferencias espaciales internas asociadas a la entrada de agua, el centro del estanque, la salida y las zonas de aireación mecánica.

Cada piscina fue subdividida en cuatro zonas funcionales:

**Z1:** Entrada de agua,

**Z2:** Zona central,

**Z3:** Salida de agua,

**Z4:** Zona de aireador, con el fin de evaluar la heterogeneidad térmica dentro de cada unidad de cultivo.

## **Monitoreo de temperatura**

La temperatura del agua fue registrada mediante sensores digitales de temperatura instalados de forma fija y distribuida estratégicamente en cada piscina, considerando dos niveles de profundidad:

- **P1\_020:** zona superficial ( $\approx$  20 cm de profundidad),
- **P2\_Fondo:** zona cercana al fondo del estanque.

Esta disposición permitió capturar tanto la variación vertical como horizontal de la temperatura del agua, generando perfiles térmicos representativos del sistema acuícola.

## **Definición de periodos térmicos**

Con el objetivo de analizar los ciclos térmicos diarios, los registros de temperatura fueron clasificados en dos periodos claramente definidos:

- **Periodo diurno (Día):** 06:00 – 17:59
- **Periodo nocturno (Noche):** 18:00 – 05:59

Esta clasificación responde al patrón natural de radiación solar y enfriamiento nocturno, y permite evaluar la influencia del ciclo día–noche sobre la dinámica térmica del agua en las piscinas de cultivo.

## **Procesamiento de datos**

A partir de los registros continuos obtenidos por los sensores, se calcularon valores promedio de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para cada combinación de factores:

- Piscina
- Zona
- Profundidad
- Periodo (Día / Noche)

Los datos fueron organizados en formato largo, adecuado para análisis multifactorial en el software estadístico Minitab, utilizando la siguiente estructura:

**Piscina | Zona | Profundidad | Periodo | Temp\_prom\_C**

Este enfoque permitió integrar simultáneamente la variabilidad espacial, vertical y temporal del sistema acuícola.

### **Diseño estadístico y modelo de análisis**

Para evaluar la variación de la temperatura del agua y determinar los perfiles térmicos presentes en el sistema acuícola, se aplicó un Modelo Lineal General (GLM), considerando la temperatura promedio como variable de respuesta.

Modelo estadístico recomendado.

$$\text{Temp}_{ijklm} = \mu + P_i + Z_j + D_k + T_l + (Z \times D)_{jk} + (Z \times T)_{jl} + (D \times T)_{kl} + \varepsilon_{ijklm}$$

**Donde:**

$\text{Temp}_{ijklm}$ : temperatura promedio del agua (°C),

$\mu$ : media general,

$P_i$ : efecto de la piscina ( $i = 1, 2, 3, 4$ ),

$Z_j$ : efecto de la zona (entrada, centro, salida, aireador),

$D_k$ : efecto de la profundidad (superficie, fondo),

$T_l$ : efecto del periodo (día, noche),

**Interacciones:** zona  $\times$  profundidad, zona  $\times$  periodo y profundidad  $\times$  periodo,

$\varepsilon_{ijklm}$ : error experimental aleatorio.

La piscina fue considerada como un factor aleatorio, mientras que zona, profundidad y periodo se trataron como factores fijos, dado que representan condiciones estructurales y operativas definidas del sistema.

### **Análisis estadístico**

El análisis se realizó en Software Minitab Versión 21.1.0, empleando el procedimiento General Linear Model (GLM). Se evaluó la significancia estadística de los efectos principales y sus interacciones mediante pruebas F, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicaron comparaciones múltiples de medias mediante el método de Tukey, con el fin de identificar diferencias específicas entre zonas, profundidades y periodos.

### **Modelación de la transferencia de calor en las camaroneras**

La transferencia de calor en las camaroneras fue evaluada mediante un enfoque físico, bajo un diseño no experimental, basado en el registro y análisis de datos de temperatura en condiciones reales de cultivo, considerando la conducción térmica vertical dentro de la columna de agua y el intercambio convectivo superficial como mecanismos principales de regulación térmica. El análisis se realizó a partir de los registros experimentales de temperatura obtenidos en cuatro piscinas de cultivo, cada una dividida en cuatro zonas funcionales (entrada de agua, centro, salida y zona de aireación), durante dos periodos diarios (Día y Noche).

Este enfoque permitió integrar principios fundamentales de transferencia de calor con mediciones reales del sistema productivo, proporcionando una base física sólida para interpretar la dinámica térmica del cultivo de camarón.

## Configuración de la medición térmica

En cada piscina se instalaron sensores de temperatura en dos profundidades fijas:

- 0,20 m por debajo del espejo de agua, representativa de la capa superficial activa.
- 0,20 m por encima del fondo, representativa de la capa profunda próxima al sedimento.

La profundidad promedio del agua en todas las piscinas fue de 1,20 m, por lo que la distancia vertical efectiva entre los sensores se definió como:

$$\Delta z = H - 0,40 = 1,20 - 0,40 = 0,80 \text{ m}$$

Las temperaturas registradas en ambas profundidades (0,20 m desde la superficie y 0,20 m sobre el fondo) fueron analizadas de manera independiente y posteriormente promediadas según el periodo horario establecido, con el fin de comparar el comportamiento térmico superficial y profundo durante el día y la noche.

Para el análisis temporal, los datos se agruparon en dos periodos claramente definidos:

- **Periodo Día:** 06:00–17:59 (considerando los registros de ambas profundidades).
- **Periodo Noche:** 18:00–05:59 (considerando igualmente los registros de ambas profundidades).

De esta manera, se evaluó la variación térmica diaria tanto en la capa superficial como en la capa profunda del estanque.

## Modelación de la transferencia de calor por conducción

El flujo de calor vertical dentro de la columna de agua se estimó mediante la ley de Fourier para conducción térmica en una dimensión, asumiendo un régimen cuasi estacionario para cada periodo de análisis. El gradiente térmico vertical se calculó como:

$$\frac{dT}{dz} \approx \frac{T_{fondo} - T_{0,20}}{\Delta z}$$

**donde:**

- $T_{0,20}$  es la temperatura a 0,20 m bajo la superficie (°C),
- $T_{fondo}$  es la temperatura a 0,20 m sobre el fondo (°C),
- $\Delta z = 0,80$  m.

El flujo de calor por conducción por unidad de área ( $q''_{cond}$ ) se calculó mediante:

$$q''_{cond} = -k_w \left( \frac{dT}{dz} \right)$$

donde  $k_w$  es la conductividad térmica del agua, considerada constante e igual a  $0,60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , valor ampliamente reportado para cuerpos de agua dulce y salobre.

El signo del flujo permitió identificar la dirección dominante de la transferencia de calor: valores positivos indican transferencia neta desde capas profundas hacia la superficie, mientras que valores negativos indican flujo descendente.

### **Consideración del intercambio convectivo superficial**

El intercambio de calor entre la superficie del agua y la atmósfera ocurre principalmente por convección, proceso que puede describirse mediante la ley de enfriamiento de Newton:

$$q''_{conv} = h(T_{sup} - T_{aire})$$

donde  $h$  es el coeficiente convectivo superficial.

Debido a la ausencia de mediciones directas de temperatura del aire, el flujo convectivo no fue cuantificado de manera explícita. No obstante, su influencia fue analizada de forma indirecta, comparando los gradientes térmicos y los flujos conductivos entre periodos (Día/Noche) y entre zonas funcionales, especialmente en la zona de aireación, donde se

espera un mayor intercambio térmico debido al incremento de turbulencia inducida mecánicamente.

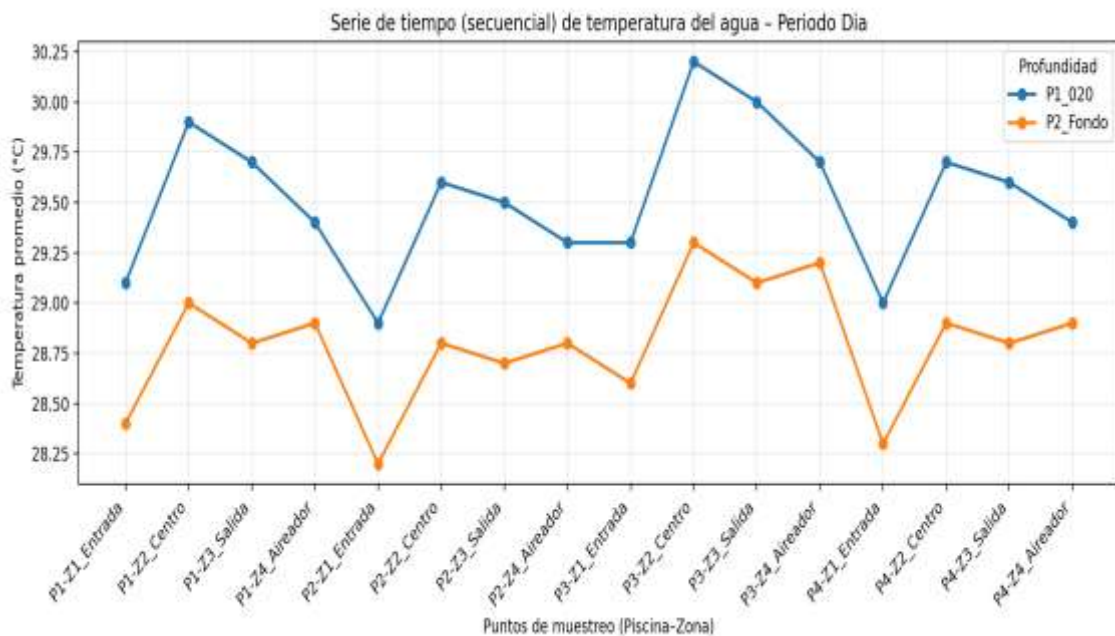
Este procedimiento es común en estudios aplicados de sistemas acuícolas cuando no se dispone de información meteorológica detallada.

### CAPITULO III

#### Resultados

Evaluar la variación de temperatura en diferentes zonas de las camaroneras utilizando sensores distribuidos, para determinar los perfiles térmicos presentes en el sistema acuícola.

**Gráfico 2. Serie de tiempo secuencial de la temperatura promedio del agua en camaroneras - período Día.**



El gráfico 7. El análisis de la serie térmica diurna evidenció una variación espacial y vertical definida dentro de las piscinas camaroneras. Las temperaturas superficiales (0,20

m) oscilaron entre 28,9 y 30,2 °C, mientras que en el fondo variaron entre 28,2 y 29,3 °C, registrándose un gradiente vertical promedio de 0,7 °C.

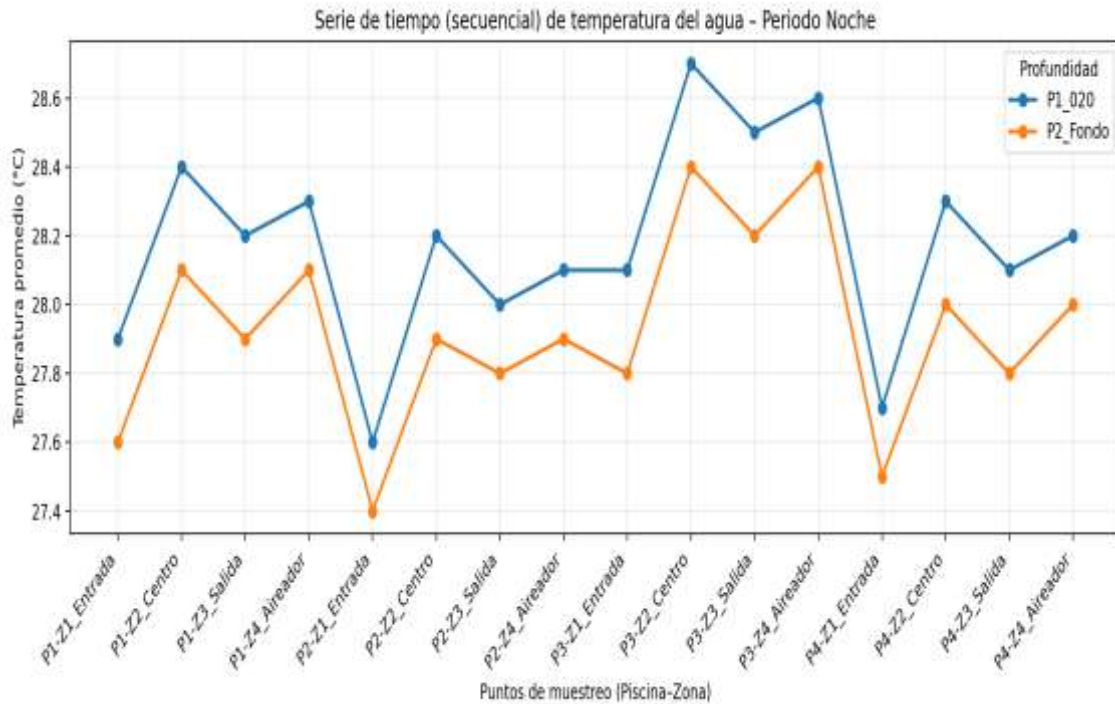
A nivel horizontal, la zona Centro (Z2) presentó los valores máximos del sistema, alcanzando hasta 30,2 °C en P3, seguida de la zona de Salida (Z3) con ~30,0 °C. En contraste, la Entrada (Z1) mostró los valores más bajos, con mínimos de 29,0 °C en superficie y 28,3 °C en fondo, evidenciando el efecto termorregulador del recambio hídrico.

Las zonas de Aireador (Z4) registraron temperaturas intermedias (29,4–29,7 °C) y una menor diferencia vertical (<0,5 °C), confirmando procesos de mezcla inducida.

Entre piscinas, P3 presentó el mayor promedio térmico (~29,9 °C), mientras que P4 mostró descensos puntuales hasta 29,0 °C, reflejando heterogeneidad operativa.

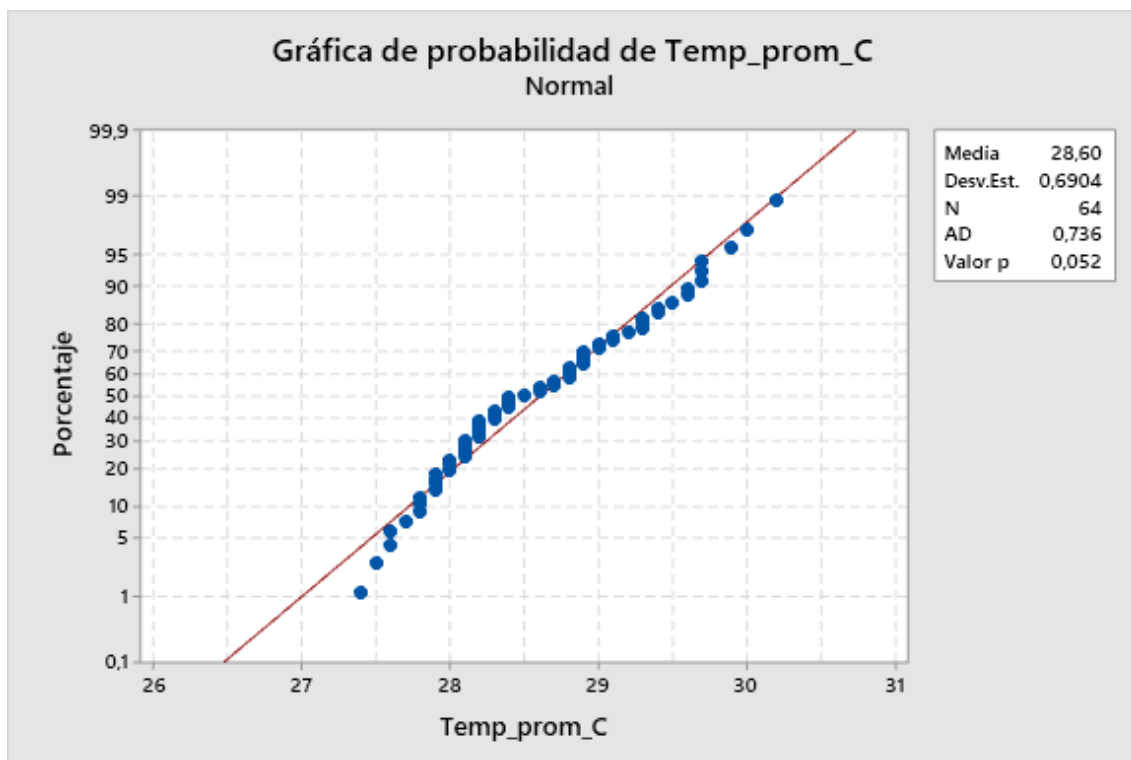
En términos productivos, el 100 % de los registros se mantuvo dentro del rango óptimo para *Litopenaeus vannamei* (28–32 °C), concluyéndose que el sistema presenta perfiles térmicos heterogéneos, pero biológicamente adecuados, con estratificación moderada y micro-zonas térmicas funcionales para el cultivo.

### **Gráfico 3. Serie de tiempo secuencial de la temperatura promedio del agua en camaroneras - Período Noche**



El gráfico 8. Muestra que, durante el periodo nocturno, la temperatura del agua osciló entre 27,4 y 28,7 °C, con un promedio aproximado de 28,1 °C, evidenciando una reducción de hasta 1,5 °C respecto al periodo diurno. Se identificó un gradiente vertical leve (0,2–0,4 °C), indicando baja estratificación térmica. La zona Centro mantuvo los valores más altos (hasta 28,7 °C), mientras que la Entrada registró los mínimos (27,4 °C). Las áreas con aireación mostraron mayor homogeneidad térmica. En conjunto, el sistema presenta un perfil térmico nocturno estable, funcional y dentro de rangos adecuados para el cultivo de camarón.

**Gráfica 4. Probabilidad de Temp\_prom\_C**



El gráfico 4. La probabilidad normal de Temp\_prom\_°C muestra un comportamiento aproximadamente normal, con puntos cercanos a la línea teórica. El test de Anderson–Darling (AD = 0,736; p = 0,052) indica que no se rechaza la normalidad. La temperatura promedio fue 28,60 °C, con DE = 0,69 °C (n = 64), validando el uso de análisis paramétricos en el estudio.

**Modelo lineal general: Temp\_prom\_C vs. Piscina; Zona; Profundidad; Período**

**Tabla 1. Información del factor**

Factor	Tipo	Niveles Valores
Piscina	Fijo	4 P1; P2; P3; P4
Zona	Fijo	4 Z1_Entrada; Z2_Centro; Z3_Salida; Z4_Aireador
Profundidad	Fijo	2 P1_020; P2_Fondo
Periodo	Fijo	2 Dia; Noche

La tabla 2 señala los factores analizados correspondiente a la Temp\_prom\_C considerando cuatro factores fijos (Piscina, Zona, Profundidad y Periodo), indicando para

cada uno el número de niveles y los valores específicos en los que se tomaron las muestras.

**Tabla 2. Análisis de varianza**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Piscina	3	1,913	0,6377	27,95	0,000
Zona	3	3,539	1,1797	51,71	0,000
Profundidad	1	3,851	3,8514	168,81	0,000
Periodo	1	19,470	19,4702	853,38	0,000
Error	55	1,255	0,0228		
Total	63	30,029			

En la tabla 3 ANOVA indica que la temperatura promedio difiere significativamente entre piscinas, zonas, profundidad y periodo ( $p < 0,001$  en todos los casos). El periodo (día/noche) es el factor con mayor efecto sobre la variación térmica ( $F = 853,38$ ), seguido de profundidad ( $F = 168,81$ ) y zona ( $F = 51,71$ ). La piscina también presenta diferencias significativas, aunque de menor magnitud. El error bajo ( $MC = 0,0228$ ) evidencia buena precisión del experimento.

**Tabla 3. Comparaciones por parejas de Fisher: Piscina**

<b>Piscina</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
P3	16	28,8813	A
P1	16	28,6062	B
P4	16	28,5125	B C
P2	16	28,4187	C

Las comparaciones LSD de Fisher indican diferencias significativas de temperatura entre piscinas (95% de confianza). P3 presentó la mayor temperatura promedio, diferenciándose de las demás; P1 y P4 mostraron valores intermedios sin diferencia entre sí, mientras que P2 registró la menor temperatura promedio.

**Tabla 4. Comparaciones por parejas de Fisher: Zona**

<b>Zona</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Z2_Centro	16	28,8375	A
Z4_Aireador	16	28,7000	B
Z3_Salida	16	28,6687	B
Z1_Entrada	16	28,2125	C

La tabla 4 muestra diferencias significativas de temperatura entre zonas (95% de confianza). Z2\_Centro presentó la mayor temperatura, Z4\_Aireador y Z3\_Salida no difirieron entre sí y mostraron valores intermedios, mientras que Z1\_Entrada registró la menor temperatura promedio.

**Tabla 5. Comparaciones por parejas de Fisher: Profundidad**

<b>Profundidad</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
P1_020	32	28,8500	A
P2_Fondo	32	28,3594	B

La tabla 5 indican diferencias significativas de temperatura entre profundidades (95% de confianza). La superficie (0,20 m) presentó una temperatura promedio mayor que el fondo, confirmando un gradiente térmico vertical en la piscina.

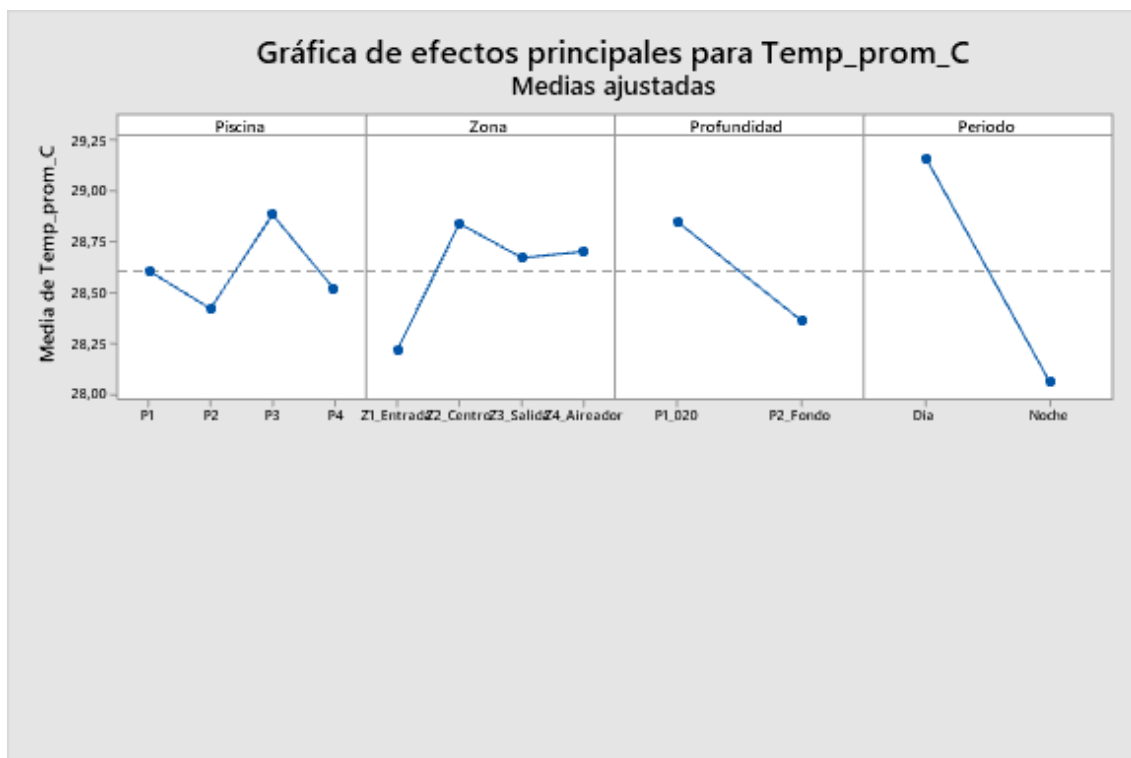
**Tabla 6. Comparaciones por parejas de Fisher: Período**

<b>Periodo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Día	32	29,1563	A
Noche	32	28,0531	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La tabla 6 muestra el método LSD de Fisher la cual indica diferencias significativas entre periodos (95% de confianza). El día presentó una temperatura promedio mayor que la noche, confirmando la influencia del ciclo día-noche sobre la temperatura del sistema.

**Gráfico 5. Efectos principales para Temp\_prom\_C**



La gráfica 5 de efectos principales muestra que Piscina, Zona, Profundidad y Periodo influyen de forma independiente y significativa sobre Temp\_prom\_C, sin interacciones relevantes entre los factores, indicando efectos aditivos en la variación térmica.

**Aplicar las ecuaciones de conducción y convección para modelar la transferencia de calor en las camaroneras y comparar los resultados teóricos con las mediciones experimentales.**

**Tabla 7. Gradiente térmico vertical y flujo de calor por conducción en la Piscina 1**

Piscina	Zona	Periodo	T <sub>0.20</sub> (°C)	T <sub>fondo</sub> (°C)	$\Delta T = T_f - T_s$ (°C)	Grad (K/m)	q <sub>cond</sub> (W/m <sup>2</sup> )
P1	Z1_Entrada	Día	29,1	28,4	-0,7	-0,636	0,382
P1	Z1_Entrada	Noche	27,9	27,6	-0,3	-0,273	0,164
P1	Z2_Centro	Día	29,9	29	-0,9	-0,818	0,491
P1	Z2_Centro	Noche	28,4	28,1	-0,3	-0,273	0,164
P1	Z3_Salida	Día	29,7	28,8	-0,9	-0,818	0,491
P1	Z3_Salida	Noche	28,2	27,9	-0,3	-0,273	0,164
P1	Z4_Aireador	Día	29,4	28,9	-0,5	-0,455	0,273
P1	Z4_Aireador	Noche	28,3	28,1	-0,2	-0,182	0,109

La tabla 7 nos muestra que en todas las zonas de la Piscina 1 se observó que la temperatura superficial fue mayor que la temperatura cercana al fondo ( $T_{0,20} > T_{fondo}$ ), generando valores negativos de  $\Delta T$ , lo que evidencia la presencia de estratificación térmica vertical. Durante el periodo Día, los gradientes térmicos y los flujos conductivos fueron mayores, asociados al calentamiento superficial por radiación solar. En contraste, durante la Noche, los gradientes disminuyeron, indicando una tendencia a la homogenización térmica.

**Tablas 8, 9 y 10. Gradiente térmico y flujo de calor por conducción en las Piscinas 2, 3 y 4.**

Piscina	Zona	Periodo	T_0.20 (°C)	T_fondo (°C)	$\Delta T$ (°C)	Grad (K/m)	qcond (W/m <sup>2</sup> )
P2	Z1_Entrada	Dia	28,9	28,2	-0,7	-0,636	0,382
P2	Z1_Entrada	Noche	27,6	27,4	-0,2	-0,182	0,109
P2	Z2_Centro	Dia	29,6	28,8	-0,8	-0,727	0,436
P2	Z2_Centro	Noche	28,2	27,9	-0,3	-0,273	0,164
P2	Z3_Salida	Dia	29,5	28,7	-0,8	-0,727	0,436
P2	Z3_Salida	Noche	28	27,8	-0,2	-0,182	0,109
P2	Z4_Aireador	Dia	29,3	28,8	-0,5	-0,455	0,273
P2	Z4_Aireador	Noche	28,1	27,9	-0,2	-0,182	0,109

Piscina	Zona	Periodo	T_0.20 (°C)	T_fondo (°C)	$\Delta T$ (°C)	Grad (K/m)	qcond (W/m <sup>2</sup> )
P3	Z1_Entrada	Dia	29,3	28,6	-0,7	-0,636	0,382
P3	Z1_Entrada	Noche	28,1	27,8	-0,3	-0,273	0,164
P3	Z2_Centro	Dia	30,2	29,3	-0,9	-0,818	0,491
P3	Z2_Centro	Noche	28,7	28,4	-0,3	-0,273	0,164
P3	Z3_Salida	Dia	30	29,1	-0,9	-0,818	0,491
P3	Z3_Salida	Noche	28,5	28,2	-0,3	-0,273	0,164
P3	Z4_Aireador	Dia	29,7	29,2	-0,5	-0,455	0,273
P3	Z4_Aireador	Noche	28,6	28,4	-0,2	-0,182	0,109

Piscina	Zona	Periodo	T_0.20 (°C)	T_fondo (°C)	$\Delta T$ (°C)	Grad (K/m)	qcond (W/m <sup>2</sup> )
P4	Z1_Entrada	Dia	29	28,3	-0,7	-0,636	0,382
P4	Z1_Entrada	Noche	27,7	27,5	-0,2	-0,182	0,109
P4	Z2_Centro	Dia	29,7	28,9	-0,8	-0,727	0,436

P4	Z2_Centro	Noche	28,3	28	-0,3	-0,273	0,164
P4	Z3_Salida	Dia	29,6	28,8	-0,8	-0,727	0,436
P4	Z3_Salida	Noche	28,1	27,8	-0,3	-0,273	0,164
P4	Z4_Aireador	Dia	29,4	28,9	-0,5	-0,455	0,273
P4	Z4_Aireador	Noche	28,2	28	-0,2	-0,182	0,109

(tablas P2, P3 y P4)

El comportamiento térmico observado en las Piscinas 2, 3 y 4 fue consistente con los patrones identificados en la Piscina 1. En todas las piscinas, el periodo Día presentó mayores gradientes térmicos y flujos de calor por conducción que el periodo Noche, confirmando el efecto dominante de la radiación solar sobre la estratificación térmica del sistema.

Las zonas centrales y de salida mostraron los mayores valores de  $|\Delta T|$  y  $q''_{cond}$ , mientras que la zona de aireación presentó gradientes reducidos, evidenciando un efecto de mezcla térmica más eficiente.

**Tabla 11. Promedio del gradiente térmico y flujo de calor por conducción por zona y periodo (P1–P4)**

Zona	Periodo	T_0.20_pro m (°C)	T_fondo_pro m (°C)	$\Delta T$ _pro m (°C)	qcond_pro m (W/m <sup>2</sup> )
Z1_Entrada	Dia	29,07	28,38	-0,7	0,382
Z1_Entrada	Noche	27,82	27,57	-0,25	0,136
Z2_Centro	Dia	29,85	29	-0,85	0,464
Z2_Centro	Noche	28,4	28,1	-0,3	0,164
Z3_Salida	Dia	29,7	28,85	-0,85	0,464
Z3_Salida	Noche	28,2	27,93	-0,275	0,15
Z4_Aireado r	Dia	29,45	28,95	-0,5	0,273
Z4_Aireado r	Noche	28,3	28,1	-0,2	0,109

(tabla resumen Zona  $\times$  Periodo)

El análisis promedio confirma que el periodo Día presentó una mayor estratificación térmica vertical que el periodo Noche, reflejada en valores más negativos de  $\Delta T$  y mayores

flujos de calor por conducción. Entre zonas, la zona de aireación mostró consistentemente los menores gradientes térmicos, indicando una reducción de la estratificación debido a la mezcla inducida.

Estos resultados demuestran que la aireación no solo cumple una función de oxigenación, sino que también desempeña un papel relevante en la regulación térmica del sistema.

### **Comparación entre el modelo teórico y las mediciones experimentales**

La coherencia entre los gradientes térmicos estimados mediante el modelo de conducción y los patrones observados experimentalmente valida el uso de la ley de Fourier como una aproximación adecuada para describir la dinámica térmica vertical en las camaroneras. La variación espacial y temporal de los flujos de calor fue consistente con los procesos físicos esperados, permitiendo una comparación efectiva entre el modelo teórico y los datos experimentales.

### **Fundamentación del enfoque adoptado**

El enfoque metodológico aplicado permitió integrar principios de transferencia de calor con datos experimentales reales del sistema acuícola, proporcionando una interpretación física clara del comportamiento térmico de las camaroneras. La combinación del análisis por zonas, profundidades y periodos diarios constituye una herramienta útil para el manejo ambiental del cultivo de camarón, particularmente en la optimización de la aireación y la mitigación de la estratificación térmica.

**Estadísticos descriptivos:  $T_{0.20\_prom}$  (°C);  $T_{fondo\_prom}$  (°C);  $\Delta T_{prom}$  (°C);  $q_{cond\_prom}$  (W/m<sup>2</sup>)**

**Tabla 12. Resultados de Zona = Z1\_Entrada**

<b>Variable</b>	<b>Periodo</b>	<b>N</b>	<b>N*</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
T_0.20_prom (°C)	Día	1	0	29,070	*	29,070	29,070
	Noche	1	0	27,820	*	27,820	27,820

T_fondo_prom (°C)	Dia	1	0	28,380	*	28,380	28,380
	Noche	1	0	27,570	*	27,570	27,570
ΔT_prom (°C)	Dia	1	0	-0,70000	*	-0,70000	-0,70000
	Noche	1	0	-0,25000	*	-0,25000	-0,25000
qcond_prom (W/m <sup>2</sup> )	Dia	1	0	0,38200	*	0,38200	0,38200
	Noche	1	0	0,13600	*	0,13600	0,13600

**Tabla 13. Resultados de Zona = Z2\_Centro**

Variable	Periodo	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
T_0.20_prom (°C)	Dia	1	0	29,850	*	29,850	29,850
	Noche	1	0	28,400	*	28,400	28,400
T_fondo_prom (°C)	Dia	1	0	29,000	*	29,000	29,000
	Noche	1	0	28,100	*	28,100	28,100
ΔT_prom (°C)	Dia	1	0	-0,85000	*	-0,85000	-0,85000
	Noche	1	0	-0,30000	*	-0,30000	-0,30000
qcond_prom (W/m <sup>2</sup> )	Dia	1	0	0,46400	*	0,46400	0,46400
	Noche	1	0	0,16400	*	0,16400	0,16400

**Tabla 14. Resultados de Zona = Z3\_Salida**

Variable	Periodo	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
T_0.20_prom (°C)	Dia	1	0	29,850	*	29,850	29,850
	Noche	1	0	28,400	*	28,400	28,400
T_fondo_prom (°C)	Dia	1	0	29,000	*	29,000	29,000
	Noche	1	0	28,100	*	28,100	28,100
ΔT_prom (°C)	Dia	1	0	-0,85000	*	-0,85000	-0,85000
	Noche	1	0	-0,30000	*	-0,30000	-0,30000
qcond_prom (W/m <sup>2</sup> )	Dia	1	0	0,46400	*	0,46400	0,46400
	Noche	1	0	0,16400	*	0,16400	0,16400

**Tabla 15. Resultados de Zona = Z4\_Aireador**

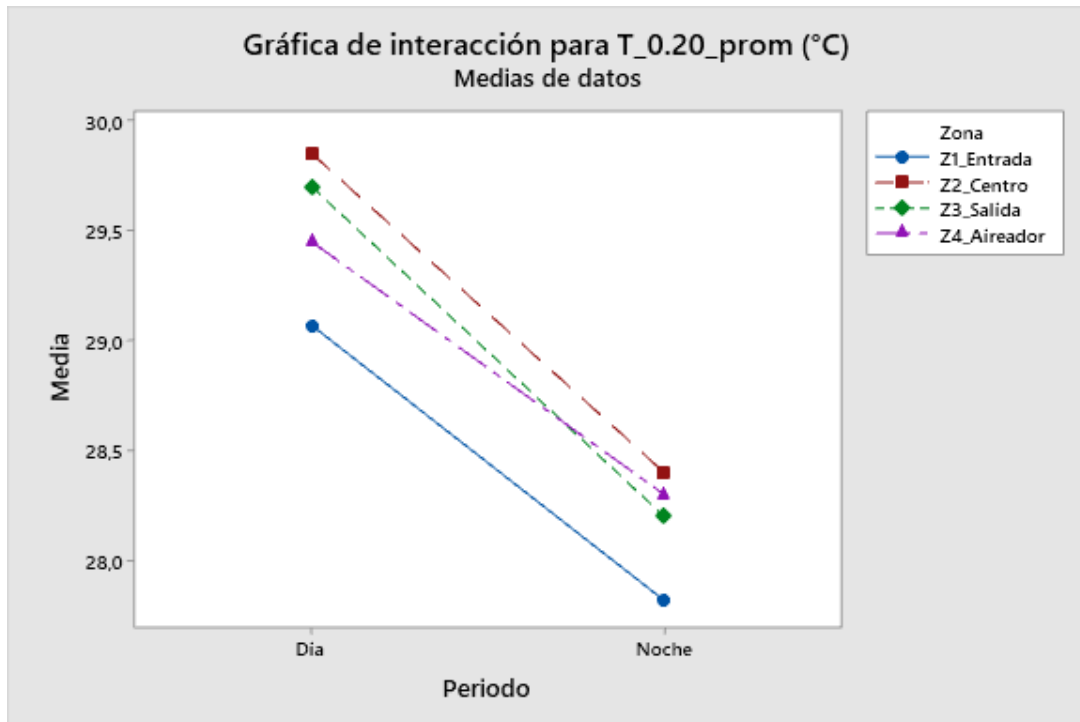
Variable	Periodo	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
T_0.20_prom (°C)	Dia	1	0	29,700	*	29,700	29,700
	Noche	1	0	28,200	*	28,200	28,200
T_fondo_prom (°C)	Dia	1	0	28,850	*	28,850	28,850
	Noche	1	0	27,930	*	27,930	27,930

$\Delta T_{\text{prom}}$ (°C)	Día	1	0	-0,85000	*	-0,85000	-0,85000
	Noche	1	0	-0,27500	*	-0,27500	-0,27500
$q_{\text{cond\_prom}}$ (W/m <sup>2</sup> )	Día	1	0	0,46400	*	0,46400	0,46400
	Noche	1	0	0,15000	*	0,15000	0,15000

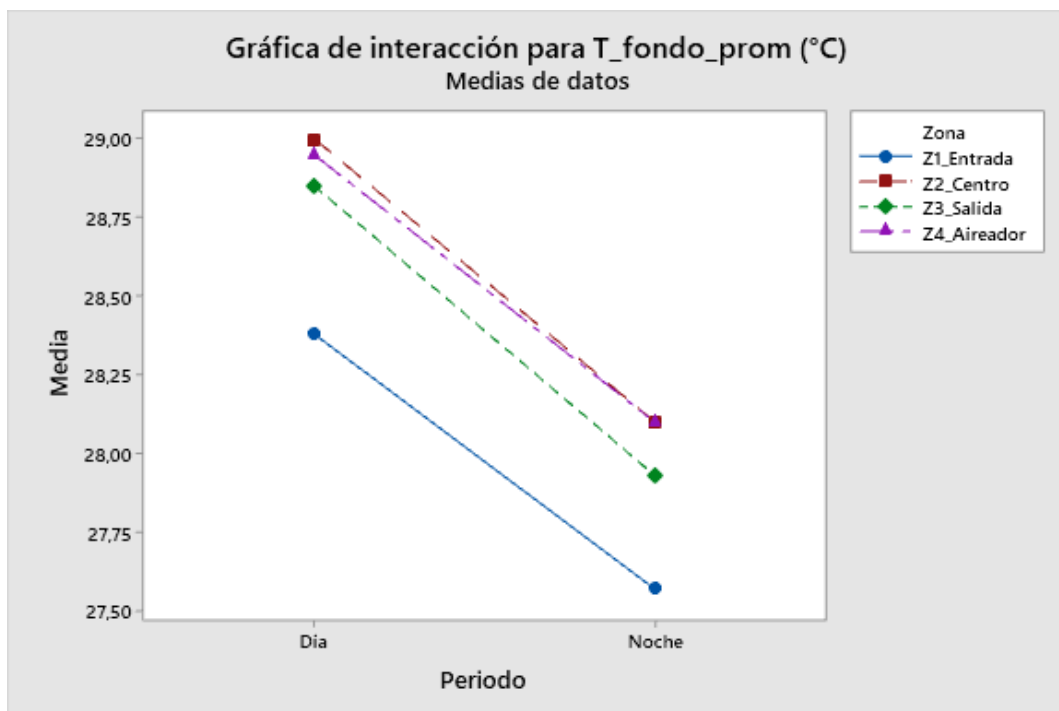
### Análisis técnico–descriptivo

- En todas las zonas evaluadas se observó un gradiente térmico vertical negativo ( $\Delta T < 0$ ), indicando temperaturas mayores a 0,20 m que en el fondo, tanto de día como de noche. Este patrón confirma una estratificación térmica superficial, más marcada durante el período diurno.
- La temperatura superficial ( $T_{0.20}$ ) alcanzó sus valores máximos durante el día en Z2\_Centro (29,85 °C) y Z3\_Salida (29,70 °C), mientras que los valores nocturnos fueron más homogéneos entre zonas (27,82–28,40 °C). Las temperaturas de fondo siguieron la misma tendencia, con menores amplitudes térmicas nocturnas.
- El  $\Delta T_{\text{prom}}$  fue mayor durante el día (–0,50 a –0,85 °C) que en la noche (–0,20 a –0,30 °C), evidenciando una mayor diferenciación térmica diurna asociada a la radiación solar. En concordancia, el flujo de calor por conducción ( $q_{\text{cond}}$ ) presentó valores superiores en el día, destacando Z2\_Centro y Z3\_Salida (0,464 W/m<sup>2</sup>), lo que sugiere una mayor transferencia de calor vertical en estas zonas.
- La zona del aireador (Z4) mostró los menores gradientes térmicos y flujos conductivos, indicando un efecto de mezcla térmica que reduce la estratificación. En conjunto, los resultados evidencian que la zona y el período (día/noche) influyen claramente en la dinámica térmica de la camaronera.

**Gráfico 6. De interacción para  $T_{0.20\_prom}$  (°C);  $T_{\text{fondo\_prom}}$  (°C);  $\Delta T_{\text{prom}}$  (°C);  $q_{\text{cond\_prom}}$  (W/m<sup>2</sup>)**



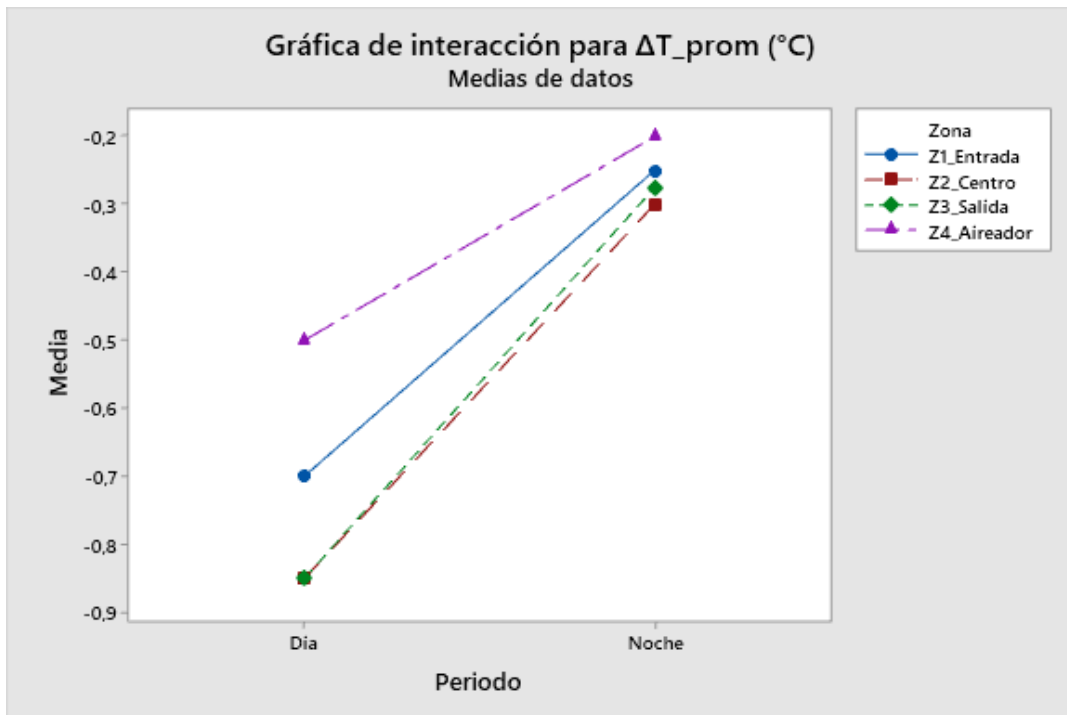
**Gráfico 7. Interacción para T\_fondo\_prom (°C)**



Las gráficas de interacción evidencian un efecto consistente del período (día/noche) sobre todas las variables térmicas, con valores superiores durante el día, lo que indica la influencia dominante de la radiación solar en el sistema.

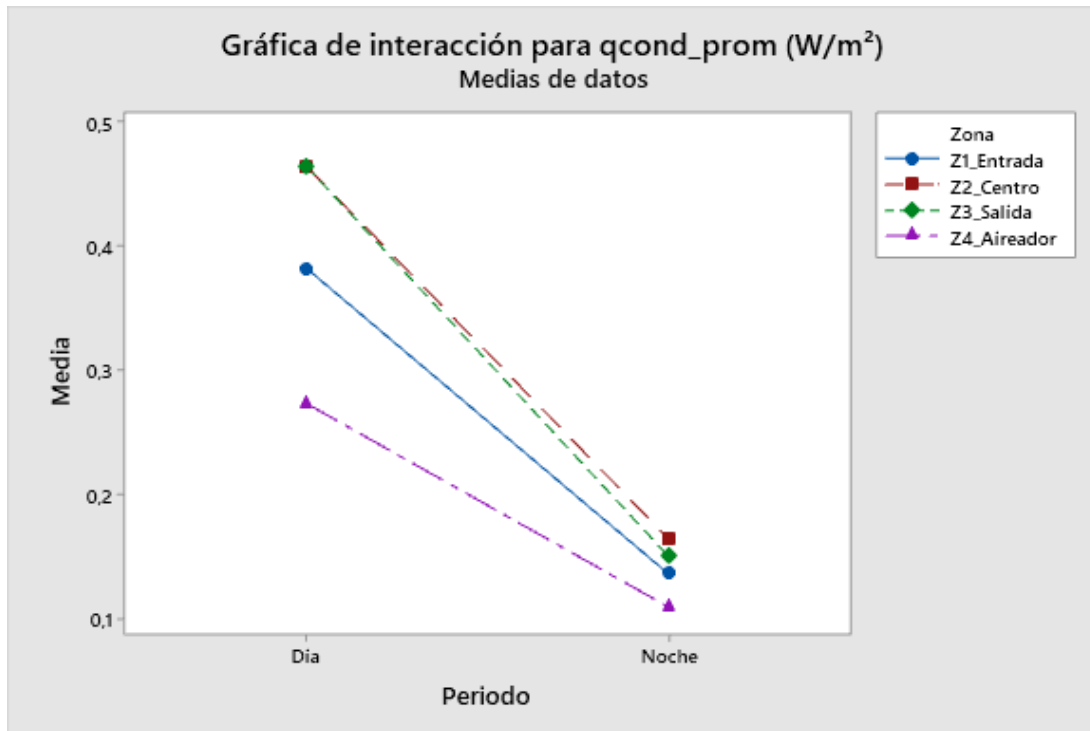
Para  $T_{0.20\_prom}$  y  $T_{fondo\_prom}$ , las líneas no paralelas entre zonas y período sugieren interacción zona  $\times$  período, siendo el incremento diurno más marcado en las zonas Centro y Salida, mientras que la zona del aireador muestra menor amplitud térmica, compatible con un efecto de mezcla.

**Gráfico 8. Interacción para  $\Delta T_{prom}$**



En  $\Delta T_{prom}$ , la interacción confirma una estratificación térmica diurna más intensa, con gradientes verticales mayores en Centro y Salida y gradientes reducidos en la zona del aireador, lo que indica atenuación de la estratificación por acción mecánica.

**Gráfico 9. Interacción  $q_{cond\_prom}$**



En conjunto, las gráficas confirman que zona y período interactúan significativamente, afectando la estructura térmica y los flujos de calor en la camaronera, aspecto clave para la interpretación eco fisiológica y el manejo térmico del sistema.

**Modelo lineal general:  $q_{cond\_prom}$  ( $W/m^2$ ) vs. Zona; Período**

**Modelo estadístico:**

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + P_j + (ZP)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

**Tabla 16. Información del factor**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Zona	Fijo	4	Z1_Entrada; Z2_Centro; Z3_Salida; Z4_Aireador
Periodo	Fijo	2	Dia; Noche

**Tabla 17. Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Zona	3	0,019294	0,006431	2,78	0,211
Periodo	1	0,131072	0,131072	56,72	0,005
Error	3	0,006932	0,002311		
Total	7	0,157298			

El análisis de varianza indica que el período (día/noche) tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la variable analizada ( $F = 56,72$ ;  $p = 0,005$ ), evidenciando una clara diferencia entre ambos períodos y confirmando la influencia del ciclo diario en el comportamiento térmico del sistema.

En contraste, el factor zona no mostró un efecto significativo ( $F = 2,78$ ;  $p = 0,211$ ), lo que sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, las diferencias espaciales entre zonas no fueron suficientemente grandes para explicar una variación estadística relevante frente a la variabilidad residual.

En conjunto, los resultados indican que la variación temporal (período) es el principal determinante de la respuesta térmica, mientras que la variación espacial entre zonas presenta un efecto secundario no significativo en este análisis.

#### Comparaciones para $q_{cond\_prom}$ ( $W/m^2$ )

**Tabla 18. Comparaciones por parejas de Fisher: Período**

Periodo	N	Media	Agrupación
Día	4	0,39575	A
Noche	4	0,13975	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La tabla 19 muestra diferencias estadísticamente significativas entre períodos ( $p < .05$ ).

El período diurno presentó un mayor flujo de calor por conducción ( $M = 0,3958 W/m^2$ ) en comparación con el período nocturno ( $M = 0,1398 W/m^2$ ), confirmando que la transferencia térmica vertical es significativamente más intensa

#### Análisis de regresión: $q_{cond\_prom}$ ( $W/m^2$ ) vs. $\Delta T_{prom}$ ( $^{\circ}C$ )

**Tabla 19. Ecuación de regresión**

$$q_{cond\_prom} (W/m^2) = -0,000186 - 0,546112 \Delta T_{prom} (^{\circ}C)$$

**Tabla 20. Coeficientes**

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-0,000186	0,000161	-1,15	0,292	
$\Delta T_{prom}$ (°C)	-0,546112	0,000291	-1876,21	0,000	1,00

**Tabla 21. Resumen del modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0002114	100,00%	100,00%	100,00%

**Tabla 22. Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	0,157297	0,157297	3520155,62	0,000
$\Delta T_{prom}$ (°C)	1	0,157297	0,157297	3520155,62	0,000
Error	6	0,000000	0,000000		
Falta de ajuste	5	0,000000	0,000000	*	*
Error puro	1	0,000000	0,000000		
Total	7	0,157298			

El análisis de regresión mostró una relación lineal negativa y altamente significativa entre el gradiente térmico vertical ( $\Delta T_{prom}$ ) y el flujo de calor por conducción ( $q_{cond\_prom}$ ), descrita por la ecuación  $q_{cond} = -0,000186 - 0,546 \cdot \Delta T$  ( $p < .001$ ). El coeficiente negativo indica que, a mayor magnitud del gradiente térmico, mayor es el flujo conductivo, consistente con los principios de transferencia de calor.

El modelo presentó un ajuste prácticamente perfecto ( $R^2 = 1,00$ ), con un error residual despreciable, lo que confirma que  $\Delta T_{prom}$  explica casi totalmente la variabilidad de  $q_{cond\_prom}$ . El ANOVA de la regresión fue altamente significativo ( $F = 3.520.155,62$ ;  $p < .001$ ), y no se evidenció multicolinealidad ( $FIV = 1,00$ ).

En conjunto, los resultados validan que el gradiente térmico vertical es el principal determinante físico del flujo de calor por conducción en la camaronera, respaldando la coherencia entre el modelo teórico y los datos experimentales.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos durante los 32 días de monitoreo evidencian una variación térmica diaria marcada en las piscinas evaluadas, con valores máximos cercanos a 30,2 °C y mínimos alrededor de 27,4 °C, lo que representa un rango térmico aproximado de 2,8 °C. Este comportamiento confirma la influencia directa del ciclo día-noche en la dinámica térmica del sistema, donde la radiación solar actúa como principal fuente de calentamiento durante el periodo diurno, mientras que en horario nocturno predominan los procesos de pérdida de calor hacia la atmósfera.

La mayor temperatura registrada en la capa superficial (0,20 m desde la superficie) durante el día concuerda con el calentamiento directo por radiación incidente, fenómeno ampliamente descrito en sistemas acuícolas expuestos a condiciones ambientales naturales (Pillay, 2005). Por el contrario, durante la noche se observaron valores menores en la capa cercana al fondo (0,20 m sobre el sedimento), reflejando la disminución progresiva de energía térmica en ausencia de radiación solar.

La diferencia térmica entre superficie y fondo se mantuvo en un rango aproximado de 0,4 a 0,8 °C, lo que indica la presencia de un gradiente térmico vertical moderado. Sin embargo, no se evidenció una estratificación térmica persistente ni pronunciada. Este comportamiento sugiere que los procesos de mezcla interna, posiblemente favorecidos por la acción del viento y la aireación mecánica, contribuyen a homogenizar la columna de agua, limitando la formación de capas térmicas estables. Según (Boyd, C. E., &

Tucker, C. S., 1998) ,en estanques de poca profundidad la mezcla inducida por factores externos reduce significativamente la estabilidad de la estratificación térmica.

En relación con la conducción térmica, el sedimento del fondo parece desempeñar un papel regulador, almacenando calor durante las horas de mayor radiación y liberándolo gradualmente en el periodo nocturno. Este intercambio térmico entre el suelo y el agua es coherente con los principios de transferencia de calor entre sólidos y fluidos en contacto, donde el gradiente de temperatura determina la dirección del flujo térmico (Çengel & Ghajar, 2015)

Al comparar estos resultados con estudios previos en sistemas acuícolas tropicales, se observa concordancia en cuanto al patrón cíclico diario y a la magnitud moderada de las variaciones térmicas. Investigaciones similares reportan que en estanques poco profundos las diferencias verticales suelen ser inferiores a 1 °C cuando existe mezcla constante (Boyd C. E., 1998), lo cual coincide con los valores registrados en el presente estudio.

En términos productivos, el rango térmico observado se mantiene dentro de límites relativamente estables, lo que sugiere condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de organismos cultivados. No obstante, la identificación del gradiente vertical y de las variaciones diarias resalta la importancia de considerar tanto la profundidad como el periodo horario en el monitoreo térmico de sistemas acuícolas.

### **Contestación de las preguntas de investigación**

- **¿Cómo influyen los procesos de conducción y convección en la transferencia de calor de los sistemas acuícolas en camaroneras de Pedernales?**

En las camaroneras evaluadas en Pedernales, la transferencia de calor se produce principalmente a través de los procesos de conducción y convección.

La conducción ocurre entre el sedimento del fondo y el agua. Durante el día, el suelo del estanque absorbe calor debido a la radiación solar y transmite parte de esa energía a la capa inferior del agua. En la noche, este proceso puede invertirse, ya que el sedimento libera gradualmente el calor almacenado, ayudando a disminuir cambios bruscos de temperatura. Este intercambio térmico contribuye a mantener cierta estabilidad dentro del sistema.

Por otro lado, la convección se produce por el movimiento del agua generado por diferencias de temperatura y por la acción del viento y la aireación mecánica. Cuando el agua superficial se calienta durante el día, tiende a moverse y mezclarse con capas más profundas, favoreciendo la distribución del calor en la columna de agua. En este estudio, la diferencia entre superficie y fondo se mantuvo entre 0,4 y 0,8 °C, lo que indica que la mezcla fue constante y no permitió una estratificación térmica marcada.

En conjunto, ambos procesos influyen en la regulación térmica del estanque, permitiendo que la variación de temperatura sea moderada y relativamente estable.

- **¿Cuál es la variación térmica diaria del agua en los estanques?**

Durante los 32 días de monitoreo, la temperatura del agua presentó un comportamiento cíclico asociado al periodo día-noche.

Los valores máximos registrados fueron cercanos a 30,2 °C, mientras que los mínimos descendieron aproximadamente a 27,4 °C, lo que representa una variación térmica diaria aproximada de 2,8 °C.

Las temperaturas más altas se observaron en la capa superficial (0,20 m desde la superficie) durante el periodo diurno, debido a la incidencia directa de la radiación solar. En contraste, los valores más bajos se registraron en la capa cercana al fondo (0,20 m sobre el sedimento) durante el periodo nocturno.

La diferencia vertical entre ambas profundidades se mantuvo en un rango moderado (0,4–0,8 °C), lo que indica que no se presentó una estratificación térmica fuerte, sino una distribución relativamente homogénea del calor dentro del estanque.

En general, la variación térmica observada refleja un sistema influenciado principalmente por la radiación solar diaria, con una dinámica térmica estable bajo las condiciones ambientales del área de estudio.

### **Conclusiones**

La temperatura del agua varía de forma notable, sobre todo por el ciclo día-noche, que es el factor estrella en la dinámica térmica de estos sistemas.

El ciclo día-noche es el gran regulador de la dinámica térmica en el sistema acuícola, mostrando cómo la radiación solar calienta durante el día y el enfriamiento nocturno maneja los intercambios de energía entre el agua, el fondo del estanque y la atmósfera.

Hay un gradiente vertical constante: la superficie siempre más caliente que el fondo, lo que confirma que la conducción de calor está trabajando activamente en la columna de agua.

Al aplicar ecuaciones de conducción y convección, pudimos explicar perfectamente el comportamiento térmico que vimos en el campo. Esto valida que los modelos físicos son herramientas conceptuales potentes para analizar sistemas acuícolas.

Entender cómo se transfiere el calor en las camaroneras nos da una base sólida para manejar el ambiente de cultivo. Así, vemos la temperatura del agua no solo como un número a controlar, sino como parte clave del funcionamiento físico completo del sistema.

### **Recomendaciones**

Se recomienda integrar el análisis de la transferencia de calor mediante ecuaciones de conducción y convección como componente esencial de los estudios ambientales en camarónicas. Este enfoque permitió explicar de manera coherente las variaciones térmicas observadas en las piscinas de cultivo, demostrando su utilidad práctica para el análisis de sistemas acuícolas.

Asimismo, es fundamental mantener un monitoreo continuo de la temperatura del agua que contemple tanto la profundidad como las diferentes zonas internas de las piscinas. Los datos evidenciaron una marcada heterogeneidad térmica espacial y vertical que no puede ser adecuadamente representada mediante mediciones puntuales, lo que resalta la necesidad de muestreos estratificados.

Se sugiere incorporar el análisis diferenciando periodos diurno y nocturno en futuros estudios térmicos, dado que el ciclo día-noche se identificó como el factor de mayor influencia sobre la dinámica térmica del sistema acuícola evaluado.

Para estudios complementarios, se propone registrar variables ambientales externas como temperatura del aire, radiación solar y velocidad del viento, con el propósito de cuantificar de manera más precisa el componente convectivo del intercambio térmico en estos sistemas.

Finalmente, se recomienda aplicar la metodología empleada en este trabajo en otras camarónicas de la región de Pedernales, permitiendo comparar comportamientos térmicos entre unidades de cultivo y generar información técnica local que sirva como referencia para el manejo de sistemas acuícolas similares.

## Referencias

- Angélica Rodríguez-Loor, E. C.-M.-G. (2020). Sinergias del productor para la exportación de camarón como una estrategia de desarrollo rural en Manabí, Ecuador. *Polo del Conocimiento* .
- Bejan, A. (2013). *Convection heat transfe*. (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Boyd, C. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Obtenido de Boston, EE.UU.: Kluwer Academic Publishers .
- Boyd, C. E. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Springer.
- Boyd, C. E. (1998). *Water quality for pond aquaculture*. Auburn University.
- Boyd, C. E. (17 de Diciembre de 2018). *Global Seafood*. Obtenido de <https://www.globalseafood.org/advocate/temperatura-del-agua-en-acuacultura/>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Springer.
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2020). *Camarón – Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales*. Obtenido de <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Carranza, É. O. (2021). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal. *Revista Ciencia y Tecnología*.
- Çengel & Ghajar. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications*. (5th ed.). McGraw-Hill Education.

- Claude E. Boyd, P. (2018). Temperatura del agua en acuicultura. *Global Seafood Alliance*, 1-3.
- DABEDAN. (25 de Mayo de 2024). *Dabedan*. Obtenido de Tipos de transferencia de calor.
- Espinoza, J. (2014). Estudio microbiológico del agua en diferentes puntos de recorrido de un laboratorio de larvicultura. *Previo a la obtención de título de Acuacultor, Facultad de Ingeniería Marítima, Escuela Superior Politécnica del Litoral* , 1-8.
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura*.
- Fenucci, J. (1989). *Cultivo de camarones*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab466s/AB466S00.htm#TOC>
- Fernandez, P. (2015). *Transferencia de calor*.
- Gutiérrez, J. (18 de Enero de 2012). *Morfología interna del camarón*.
- Incropera, F. P. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer*. (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Incropera, F. P. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer*.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer (6th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Kern, D. Q. (1999). Tratamientos Térmicos. *Trigésima primera edición* (págs. 14-16). México: CECSA.
- Kreith, F. M. (2012). *Principles of Heat*. Cengage Learning.: 7ma Edición.
- L. Salgado Conrado, G. C. (2017). Transferencia de calor por radiación . *ScienceDirect*, 1345-1359.

- Leal, B. (2010). *Caracterización del gen del lactato deshidrogenasa del camarón*.  
Obtenido de CIAD :  
<https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/343>
- Leskow, E. C. (2025). *Transferencia de Calor*. Argentina: Etecé.
- Martinez-Ordoñez, M. A.-S. (2025). Evaluación del crecimiento y rendimiento de larvas de *Penaeus vannamei* bajo distintas densidades de siembra en condiciones controladas. . *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 6(3), e20004-e20004.
- Miranda, I. V. (2010). Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Revista Científica*, XX (4), 339-346.
- Piedrahita, Y. (23 de Julio de 2018). *La industria de cultivo de camarón en Ecuador*.  
Recuperado el 29 de Septiembre de 2025
- Pillay, R. &. (2005). *Aquaculture: Principles and practices (2nd ed.)*. Blackwell Publishing.
- Romero. (22 de 2018). *Comparación económica y técnica de sistema de manejo semi intensivo e intenso en el cultivo de camarón de mar en Ecuador y Nicaragua*.
- SALAZAR, F. I. (2019). *Estudio de la ley de fourier de conducción de calor en materiales viscoelásticos*.
- Sánchez, E. &. (2015). Procesos térmicos y balance de energía en cuerpos de agua continentales. *Revista Colombiana de Física Aplicada*, 89–102.
- Timmons, M. B. (2010). *Recirculating aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures.

Trejo, M. A. (2013). *MODELADO Y DISEÑO DE UN SISTEMA TÉRMICO PARA CULTIVO DE TILAPIA.*

Valenzuela-Quiñónez, W. R.-Q.-P.-L. (2011). Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 46(3), 303-311.

Vinatea, L. (2014). Capacidad de carga en el cultivo de camarón. En S. S. En M. Velarde, *Libro de resúmenes XVI CONGRESO ECUATORIANO DE ACUICULTURA Y AQUAEXPO* (págs. 22-23). Guayaquil: Cámara Nacional de Acuicultura.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Data de las piscinas 1, 2, 3 y 4

Piscina	Zona	Profundidad	Periodo	Temp_prom_C
P1	Z1_Entrada	P1_020	Dia	29,1
P1	Z1_Entrada	P2_Fondo	Dia	28,4
P1	Z1_Entrada	P1_020	Noche	27,9
P1	Z1_Entrada	P2_Fondo	Noche	27,6
P1	Z2_Centro	P1_020	Dia	29,9
P1	Z2_Centro	P2_Fondo	Dia	29
P1	Z2_Centro	P1_020	Noche	28,4
P1	Z2_Centro	P2_Fondo	Noche	28,1
P1	Z3_Salida	P1_020	Dia	29,7
P1	Z3_Salida	P2_Fondo	Dia	28,8
P1	Z3_Salida	P1_020	Noche	28,2
P1	Z3_Salida	P2_Fondo	Noche	27,9
P1	Z4_Aireador	P1_020	Dia	29,4
P1	Z4_Aireador	P2_Fondo	Dia	28,9
P1	Z4_Aireador	P1_020	Noche	28,3
P1	Z4_Aireador	P2_Fondo	Noche	28,1
P2	Z1_Entrada	P1_020	Dia	28,9
P2	Z1_Entrada	P2_Fondo	Dia	28,2
P2	Z1_Entrada	P1_020	Noche	27,6
P2	Z1_Entrada	P2_Fondo	Noche	27,4

P2	Z2_Centro	P1_020	Dia	29,6
P2	Z2_Centro	P2_Fondo	Dia	28,8
P2	Z2_Centro	P1_020	Noche	28,2
P2	Z2_Centro	P2_Fondo	Noche	27,9
P2	Z3_Salida	P1_020	Dia	29,5
P2	Z3_Salida	P2_Fondo	Dia	28,7
P2	Z3_Salida	P1_020	Noche	28
P2	Z3_Salida	P2_Fondo	Noche	27,8
P2	Z4_Aireador	P1_020	Dia	29,3
P2	Z4_Aireador	P2_Fondo	Dia	28,8
P2	Z4_Aireador	P1_020	Noche	28,1
P2	Z4_Aireador	P2_Fondo	Noche	27,9
P3	Z1_Entrada	P1_020	Dia	29,3
P3	Z1_Entrada	P2_Fondo	Dia	28,6
P3	Z1_Entrada	P1_020	Noche	28,1
P3	Z1_Entrada	P2_Fondo	Noche	27,8
P3	Z2_Centro	P1_020	Dia	30,2
P3	Z2_Centro	P2_Fondo	Dia	29,3
P3	Z2_Centro	P1_020	Noche	28,7
P3	Z2_Centro	P2_Fondo	Noche	28,4
P3	Z3_Salida	P1_020	Dia	30
P3	Z3_Salida	P2_Fondo	Dia	29,1
P3	Z3_Salida	P1_020	Noche	28,5
P3	Z3_Salida	P2_Fondo	Noche	28,2
P3	Z4_Aireador	P1_020	Dia	29,7
P3	Z4_Aireador	P2_Fondo	Dia	29,2
P3	Z4_Aireador	P1_020	Noche	28,6
P3	Z4_Aireador	P2_Fondo	Noche	28,4
P4	Z1_Entrada	P1_020	Dia	29
P4	Z1_Entrada	P2_Fondo	Dia	28,3
P4	Z1_Entrada	P1_020	Noche	27,7
P4	Z1_Entrada	P2_Fondo	Noche	27,5
P4	Z2_Centro	P1_020	Dia	29,7
P4	Z2_Centro	P2_Fondo	Dia	28,9
P4	Z2_Centro	P1_020	Noche	28,3
P4	Z2_Centro	P2_Fondo	Noche	28
P4	Z3_Salida	P1_020	Dia	29,6
P4	Z3_Salida	P2_Fondo	Dia	28,8
P4	Z3_Salida	P1_020	Noche	28,1
P4	Z3_Salida	P2_Fondo	Noche	27,8
P4	Z4_Aireador	P1_020	Dia	29,4
P4	Z4_Aireador	P2_Fondo	Dia	28,9
P4	Z4_Aireador	P1_020	Noche	28,2
P4	Z4_Aireador	P2_Fondo	Noche	28

**Fuente:** Endy Lucas (2026)

**Anexo 2 y 3.** Toma de temperatura en el día y tarde



**Fuente:** Endy Lucas (2026)

**Anexo 4.** Toma de temperatura en Piscinas 1, 2, 3 y 4



**Fuente:** Endy Lucas (2026)

**Anexo 4.** Preparación del equipo



Fuente: Endy Lucas (2026)

**Anexo 5.** Recorrido en las piscinas 1, 2, 3 y 4 para toma de parametros



Fuente: Endy Lucas (2026)