



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

**TÍTULO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Respiración de suelo como indicador de la calidad de fondos en estanques de cultivo de camarón *Penaeus vannamei* y su impacto en la calidad de agua y salud del camarón.

**AUTOR  
BLGO. CRISTIAN ADRIÁN GUACHO USCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
Previo a la obtención del grado académico de  
**MAESTRIA EN ACUICULTURA**

**TUTOR  
Ph.D. CÉSAR MOLINA POVEDA**

**La Libertad – Ecuador**

**2025**



**UPSE**

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

**TRIBUNAL DE GRADO**

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

---

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

---

**PhD. César Molina Poveda  
TUTOR**

---

**PhD. Juan Valenzuela Cobos  
ESPECIALISTA 1**

---

**MSc. Jimmy Villón Moreno  
ESPECIALISTA 2**

---

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



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

**CERTIFICACIÓN:**

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

Atentamente,

---

**Ph.D. CÉSAR MOLINA POVEDA  
TUTOR**



**UPSE**

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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, CRISTIAN ADRIAN GUACHO USCA**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, **Respiración de suelo como indicador de la calidad de fondos en estanques de cultivo de camarón *Penaeus vannamei* y su impacto en la calidad de agua y salud del camarón.**, previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Santa Elena, a los 02 días del mes de diciembre de año 2025

---

**BLGO. CRISTIAN GUACHO USCA  
AUTOR**



**UPSE**

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

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, CRISTIAN ADRIÁN GUACHO USCA**

**DERECHO DEL AUTOR**

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

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

Santa Elena, a los 02 días del mes de diciembre de año 2025

---

**BLGO. CRISTIAN GUACHO USCA  
AUTOR**



UPSE

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

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **Respiración de suelo como indicador de la calidad de fondos en estanques de cultivo de camarón *Penaeus vannamei* y su impacto en la calidad de agua y salud del camarón**, presentado por el estudiante, **Cristian Adrián Guacho Usca** fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 8%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 INFORME DE ANÁLISIS  
magister

Guacho Usca Cristian Adrian

**8%**  
Textos sospechosos

2% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas

2% Idiomas no reconocidos

4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Guacho Usca Cristian Adrian.docx ID del documento: a8724e9e13b34555815aae41b714ea9074d2612d Tamaño del documento original: 1,83 MB	Depositante: SONNYA PATRICIA MENDOZA LOMBANA Fecha de depósito: 6/11/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 6/11/2025	Número de palabras: 6645 Número de caracteres: 42.357
--	---	--

PhD. CÉSAR MOLINA POVEDA  
TUTOR

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias infinitas a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanos, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, y a mis abuelos, quienes supieron estar cuando más los necesitaba. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico., eternamente agradecido*

*Cristian Adrián Guacho Usca*

## **DEDICATORIA**

*A mis amados padres,*

*Con inmenso amor y gratitud dedico este logro a ustedes, quienes con su esfuerzo y sacrificio me brindaron las herramientas para alcanzar mis sueños. Su apoyo inquebrantable y su fe en mí fueron la fuerza que me impulsó a seguir adelante. Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia.*

*Jose Guacho; Maida Usca*

## ÍNDICE

<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>IV</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>V</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
2.1. Acumulación y Descomposición de Materia Orgánica .....	5
2.2. Parámetros Físicoquímicos del Suelo .....	5
<b>3. PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>7</b>
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>8</b>
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
5.1. Objetivo General.....	9
Objetivos específicos .....	9
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
6.1. Área de estudio .....	10
6.2. Manejo previo al llenado .....	10
6.3. Tratamiento piscina.....	10
6.4. Manejo post llenado y siembra .....	10
6.5. Variables del ensayo .....	11
6.6. Respiración en la columna de agua.....	11
6.7. Respiración del fondo .....	12
6.8. Toma de parámetros Químicos .....	13
6.9. Puntos de Muestreos .....	13
6.10. Análisis estadístico .....	14

<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>15</b>
7.1. Respiración del suelo. ....	15
7.2. Relación Parámetros físico – químicos y oxígeno disuelto del suelo.....	16
7.3. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las Variables Físico-Químicas del Estanque.....	21
7.3.1. Componente Principal 1: Gradiente de Carga Orgánica y Mineralización	21
7.3.2. Componente Principal 2: Distribución Espacial y Temporal de la Calidad del Agua	22
7.3.3. Interpretación Integral y Relaciones Ecológicas .....	22
<b>8. DISCUSIÓN</b> .....	<b>28</b>
8.1. Carga Orgánica, Mineralización y Calidad del Agua .....	29
8.2. Respiración del Sedimento y Acumulación de Compuestos Tóxicos .....	29
8.3. pH, Amoníaco y Estrés Fisiológico .....	30
8.4. Implicaciones para la Gestión Acuícola .....	30
8.5. Limitaciones y Perspectivas.....	31
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>10. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>34</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamiento Piscina .....	10
-----------------------------------	----

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ensayo de toma de datos respiración del fondo y respiración de la columna de agua.....	11
Figura 2 Formulas mejoradas del Doctor Vinatea, Utilizada en el trabajo Demanda de oxígeno y estrategias de aireación en camaroneras. ....	12
Figura 3 Ubicación de los puntos de muestreo dentro de la piscina.....	13

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Promedios de respiración de columna de agua de cada estación de muestreo durante los meses de junio a septiembre.....	15
<b>Gráfico 2.</b> Promedios de respiración del fondo del agua de cada estación de muestreo durante el mes de marzo .....	16
<b>Gráfico 3.</b> Promedio de los Parámetros físico - químicos del agua durante los meses de junio a septiembre. Las barras representan la Media $\pm$ DS. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $P>0.05$ ) según análisis no paramétrico de Kruskal - Wallis .....	XIX
<b>Gráfico 4.</b> Promedio de los nutrientes del agua durante los meses de junio a septiembre. ....	XX
<b>Gráfico 5.</b> Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables físico-químicas del estanque de producción de camarón. Las flechas representan las variables originales; su longitud y dirección indican la correlación con los componentes principales. Las variables cercanas entre sí muestran alta correlación positiva; aquellas opuestas, correlación negativa. ....	25

## RESUMEN

El cultivo de camarón *Penaeus vannamei* constituye una actividad de gran relevancia económica, cuyo rendimiento depende de la gestión adecuada de la calidad del agua y del suelo. El suelo del estanque no es un sustrato inerte, sino un componente activo donde se acumula y descompone la materia orgánica, generando procesos que influyen directamente en la concentración de oxígeno disuelto y, en consecuencia, en la salud del camarón. Este estudio evaluó la respiración del suelo como indicador de la calidad de los fondos, mediante mediciones de consumo de oxígeno en distintos puntos del estanque, junto con el registro de variables físico-químicas como temperatura, pH, salinidad y nutrientes. Los resultados mostraron que las tasas de respiración se mantuvieron dentro de rangos adecuados, sin diferencias significativas entre zonas de muestreo, lo que sugiere condiciones ambientales estables. Asimismo, las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos se mantuvieron en niveles que no representaron riesgo fisiológico para los organismos. Estos hallazgos demuestran que la respiración del sedimento es un indicador eficaz para evaluar la calidad del fondo y prevenir condiciones adversas en el cultivo, reforzando la necesidad de incorporar su monitoreo en las prácticas de manejo acuícola.

**Palabras clave:** *Penaeus vannamei*, respiración del suelo, oxígeno disuelto, calidad del agua, sedimento, salud del camarón.

## ABSTRACT

The cultivation of *Penaeus vannamei* shrimp is a highly relevant aquaculture activity, and its productivity depends on proper management of both water and soil quality. The pond bottom is an active biological zone where organic matter accumulates and decomposes, influencing dissolved oxygen dynamics and the health of cultured shrimp. This study evaluated soil respiration as an indicator of bottom quality by measuring oxygen consumption rates in the water column and sediment across different areas of the pond, along with monitoring key physicochemical parameters such as temperature, pH, salinity, and nutrient levels. Results indicated that respiration rates remained within acceptable ranges, with no significant differences among sampling points, reflecting stable environmental conditions. Additionally, concentrations of ammonium, nitrites, and nitrates remained at levels that did not impose physiological stress on the shrimp. These findings confirm that sediment respiration is an effective diagnostic tool for assessing pond bottom conditions and detecting early signs of environmental imbalance. Incorporating soil respiration monitoring into routine management practices can improve system stability and promote healthier shrimp production.

**Keywords:** *Penaeus vannamei*, soil respiration, dissolved oxygen, water quality, sediment, shrimp health

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de camarón se ha convertido en la actividad de mayor crecimiento a nivel mundial. Así como también en nuestro país, en los últimos años se ha vuelto una de las actividades de mayor evolución económica y productiva (Krebs, 2023). Sin embargo, dado el crecimiento de la actividad, se vio la necesidad de tomar factores prioritarios para el mismo cultivo, las enfermedades que presentaban los camarones durante el cultivo y analizar las variaciones que se presentan en el manejo de la calidad del agua y suelo, los cambios que se dan por motivo del consumo de oxígeno en la columna de agua y el suelo mismo (Ramírez, 2004).

El suelo y el oxígeno son factores importante en la producción, pero también son los que menos atención se le ha dado para mantener sus condiciones, mismos que al tener una mala calidad pueden causar cambios en el medio de cultivo (Ramírez, 2004), pues los camarones son considerados como animales delicados, mismos que al estar en un entorno desfavorable tienden a estresarse, estrés que les causa: bajos crecimientos, con vulnerabilidad frente a las enfermedades por parte del camarón *P. vannamei*, por lo que surge la necesidad de mantener los factores físico-químicos los cuales son considerados como esenciales, los parámetros más estudiados son oxígeno, temperatura, pH, turbidez y salinidad, por tanto estos factores deben siempre mantenerse entre los rangos óptimos, para el cultivo de *P. vannamei*, así como también la calidad de suelos y columna de agua (Arancibia & Cáceres, 2018).

El oxígeno disuelto (OD) es un factor importante en la calidad de agua de la acuicultura, en el cultivo de camarón este representa un factor importante pues al tener una baja concentración afecta al crecimiento y a la salud del mismo camarón, a más de ello una baja concentración de oxígeno conlleva a provocar una baja conversión alimenticia y provoca altas mortalidades (Assessment of the oxygen consumption rate of the *Penaeus vannamei* with respect to salinity, temperature and body weight, 2020).

El oxígeno en la mayoría de organismos vivos acuáticos, es de vital importancia, ya que necesitan altas concentraciones de oxígeno, en el camarón blanco *P. vannamei*, la concentración de oxígeno que requiere va en un intervalo de 4 a 7 ppm, el oxígeno tiende a ser de suma importancia no solo por la respiración, este también influye en procesos la mineralización de la materia orgánica y actividad microbiana (Harold, 2021).

Con el paso del tiempo y con el avance tecnológico de la acuicultura se han diseñado sistemas electrónicos sofisticados que ayudan a controlar el nivel de concentración de oxígeno en los sistemas de cultivos, sin embargo, se ha querido ampliar el conocimiento de las tasas respiratorias de los organismos bajo diferentes condiciones ambientales, y diferentes densidades de siembra, (Valenzuela-Quñonez, et al., 2011).

El OD es el factor más importante y generalmente el más limitante para la calidad del agua en la producción acuícola sin ser la excepción el cultivo del camarón *P vannamei*. Es por lo tanto importante alcanzar niveles de OD por encima de 4-5 mg/L para el crecimiento, la supervivencia y la mejora de la respuesta inmunológica del camarón (Bett).

Sin embargo, el oxígeno en un estanque de cultivo es consumido por múltiples componentes bióticos y abióticos del ecosistema. El balance de oxígeno en el estanque es una dinámica compleja que depende de la producción de oxígeno (principalmente por la fotosíntesis de la comunidad fitoplanctónica durante el día) y el consumo por la respiración de los organismos cultivados, otros organismos heterótrofos en la columna de agua, y, de manera significativa, por el sedimento del fondo (Bhat)

La demanda de oxígeno del sedimento (DOS o SOD, por sus siglas en inglés) puede constituir una parte sustancial de la demanda total de oxígeno del estanque, a veces superando el 50% en sistemas intensivos. Esto se debe a la acumulación de materia orgánica (alimento no consumido, heces, fitoplancton muerto) que se descompone por acción bacteriana en el fondo del estanque. Esta demanda de oxígeno bentónica es especialmente importante porque los camarones son organismos bentónicos que pasan la

mayor parte del tiempo en contacto directo con el sedimento, donde las concentraciones de OD son naturalmente más bajas que en la superficie (Briggs & Funge-Smith).

Además, la producción primaria (fotosíntesis del fitoplancton) es una fuente vital de OD durante el día, pero también contribuye a fluctuaciones diarias extremas. Por la noche, cuando cesa la fotosíntesis, la respiración del fitoplancton y de toda la comunidad del estanque puede agotar rápidamente las reservas de oxígeno, creando condiciones de hipoxia matutina.

La interacción entre estos factores —el consumo directo del camarón (cuya tasa varía con el peso corporal, la temperatura y la salinidad), la demanda del sedimento y la dinámica de la producción primaria— determina la disponibilidad neta de oxígeno. Concentraciones bajas de OD, incluso si no son letales, fuerzan al camarón a destinar más energía al trabajo metabólico y al balance bioenergético que al crecimiento, afectando negativamente los parámetros zootécnicos y la rentabilidad del cultivo. Una gestión eficaz del oxígeno disuelto, por lo tanto, requiere una comprensión integral de todas las fuentes y sumideros de oxígeno dentro del ecosistema del estanque (Harold, 2021) .

## 2. ANTECEDENTES

La calidad del fondo de los estanques ha sido reconocidas por investigadores, como uno de los elementos clave para el desarrollo de una buena producción, así también como actúan la características edáficas y bioquímicas que influyen en los suelos directamente, la calidad de agua y como estos están en relación con la salud de los camarones en las piscinas de engorde (Krebs, 2023), de esta manera también las investigaciones sobre los rangos óptimos en las variables físicas, químicas, biológicas y los parámetros que intervienen que los mismos cambien han sido poco investigados (Harold, 2021).

Existen diferentes estudios que describen las propiedades de los suelos, diferencias, nutrientes que poseen entre otros realizados en estanques camaroneros, de todos ellos los que han estado relacionado a la salud y producción de los organismos han sido muy pocas, uno de los obstáculos de mayor influencia que se ha visto es las relaciones entre las características de suelo y agua, y la falta de interés en realizar estudios de este tipo (Krebs, 2023).

A nivel mundial los estudios realizados en respiración de fondo para estanques de camarón, se han realizados estudios en países como Colombia, México, Estados Unidos (Ramírez-Echeverri, et al., 2010)

La salud del camarón cultivado está intrínsecamente ligada a la calidad del ecosistema del estanque, donde el suelo juega un papel fundamental. El sedimento del estanque no es un sustrato inerte, sino un componente dinámico que regula la química del agua y sirve de hábitat para el camarón, un organismo predominantemente bentónico.

La acumulación de desechos orgánicos, como alimento no consumido y heces, en el fondo del estanque es un problema crítico en sistemas intensivos. La descomposición anaeróbica de esta materia puede generar condiciones tóxicas que estresan al camarón y comprometen su sistema inmunológico, favoreciendo la aparición de patologías bacterianas y virales (Bower C. e.)

Este documento explora los parámetros clave de la calidad del suelo, su impacto directo en la salud del camarón (*P. vannamei*) y las estrategias de manejo recomendadas a través de Buenas Prácticas de Manejo (BPM) para mitigar estos riesgos. El suelo del estanque afecta la salud del camarón a través de la mediación de la calidad del agua y la creación de un ambiente físico propicio o perjudicial.

## 2.1. Acumulación y Descomposición de Materia Orgánica

En el sistema de cría intensiva, es bastante frecuente observar acumulación de sedimento a medida que se van desarrollando los diversos ciclos productivos. Tal acumulación resulta en una reducción sustancial de la concentración en la interfaz agua-sedimento lo cual puede oxigeno condiciones anóxicas (es decir, sin oxígeno). Bajo tales condiciones, la descomposición bacteriana genera sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), metano (CH<sub>4</sub>) y amoníaco no ionizado (NH<sub>3</sub>) compuestos considerados tóxicos cuando sobrepasan los niveles máximos tolerados por la especie. El sulfuro de hidrógeno es altamente tóxico para los camarones, incluso en cantidades mínimas, afectando directamente su sistema respiratorio, lo que lleva a la letargia y la anorexia. La exposición crónica de los camarones a estos compuestos productos de la descomposición del fondo induce estrés fisiológico y los hace más susceptibles a patógenos oportunistas, como son las bacterias del género *Vibrio*.

## 2.2. Parámetros Fisicoquímicos del Suelo

En contraste, la composición química del suelo alterará el pH y la alcalinidad del agua.  
:

- **pH y Alcalinidad:** Los suelos con un alto potencial de acidez debido a los sulfatos (PAC) presentan riesgos severos. Durante el secado y la aireación entre ciclos, estos suelos se oxidan y producen ácido sulfúrico, lo que hace que el estanque tenga un pH muy bajo al rellenarse. Se debe mantener un pH óptimo de 7.5 a 8.5 para el cultivo de camarones. La cal agrícola se ha utilizado ampliamente con el

propósito de neutralizar la acidez, mejorar la alcalinidad y el carbono inorgánico para el fitoplancton.

- **Potencial Redox (Eh):** Este es el estado de oxidación o reducción del sedimento. Un potencial redox por debajo de -200 mV demuestra que las condiciones son muy reductoras, lo cual indica que hay una baja disponibilidad de oxígeno; por lo tanto, problemas severos de calidad del fondo y un gran daño potencial de afectación al bienestar del camarón.
- **Balance Iónico:** Los suelos también son sumideros de iones importantes como potasio, magnesio y calcio, y por lo tanto pueden influir en la cantidad de estos minerales en el agua. Estos iones son más importantes en la osmorregulación y el proceso de muda de los camarones

### **3. PROBLEMÁTICA**

El consumo de oxígeno del suelo en los estanques de camarones es clave para la producción de estos estanques, pero las implicaciones de esto en la producción y salud de los camarones siguen siendo en gran medida desconocidas. Nuestra comprensión de esta relación entre la cantidad de consumo de O<sub>2</sub> del suelo y el nivel de O<sub>2</sub> disuelto en el agua y las mediciones de calidad del agua es limitada. Además, es esencial evaluar cómo tales impactos en el consumo de oxígeno del suelo y, en consecuencia, en la producción y salud de los camarones son influenciados por factores ambientales y prácticas de manejo.

Aunque técnicamente sofisticada, la respirometría de camarones sufre de inconvenientes técnicos y metodológicos. Estos comprenden la selección de equipos y sensores, técnicas de medición estandarizadas e interpretación de resultados. La variabilidad biológica y ambiental plantea un desafío natural en los estudios de respirometría de camarones. Las diferencias entre los camarones y los parámetros ambientales de temperatura y salinidad pueden afectar los valores de medición y también pueden complicar las comparaciones entre estudios.

La interpretación de los datos de respirometría y su traducción en prácticas de manejo específicas en las operaciones de cultivo de camarones a menudo es compleja. Se necesitan investigaciones adicionales para establecer relaciones claras entre las tasas de consumo de oxígeno y parámetros de salud y producción, como el crecimiento, la supervivencia y la resistencia a enfermedades. La aplicación efectiva de la respirometría en entornos de cultivo de camarones plantea desafíos adicionales. Es crucial desarrollar métodos y protocolos que sean prácticos y aplicables en condiciones reales de cultivo, teniendo en cuenta factores como el tamaño del tanque, la densidad de población y las prácticas de alimentación

#### **4. HIPÓTESIS**

La respiración del suelo en los fondos marinos, influyen en la calidad de agua, salud de los animales y en la disponibilidad de oxígeno en la piscina camaronera.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. Objetivo General

Evaluación de la respiración del suelo en estanques de camarones *Penaeus vannamei* como indicador de la calidad del fondo, su influencia en la calidad del agua y la salud de los camarones.

#### Objetivos específicos

- Comparar la respiración del suelo en las zonas de entrada, préstamo, mesa y salida del estanque.
- Relacionar la calidad del agua basada en temperatura, pH, oxígeno disuelto y nutrientes con la respiración del suelo.
- Establecer la actividad respiratoria del suelo como parámetro de salud, crecimiento y supervivencia, el camarón cultivado

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Área de estudio

Este estudio se realizó durante el mes de marzo del 2025 en la camaronera Distrisoda S.A, ubicado en la isla Matorrillo, en el Golfo de Guayaquil, provincia del Guayas.

### 6.2. Manejo previo al llenado

A la piscina se realizó un tratamiento previo a la siembra, que consistió en mantenerla seca por varios días, con la finalidad de reducir oxidar la materia orgánica presente en el fondo, para posterior a la misma prepararla

### 6.3. Tratamiento piscina

El tratamiento realizado a la piscina fue la siguiente:

*Tabla 1 Tratamiento Piscina*

<b>Tratamiento Físico</b>	<b>Insumo</b>	<b>Kg/ha</b>	<b>Bioactivador Orgánico</b>	<b>L/ha</b>
Secado 5 días	CaCO <sub>3</sub>	50	Bio Bac A	1

### 6.4. Manejo post llenado y siembra

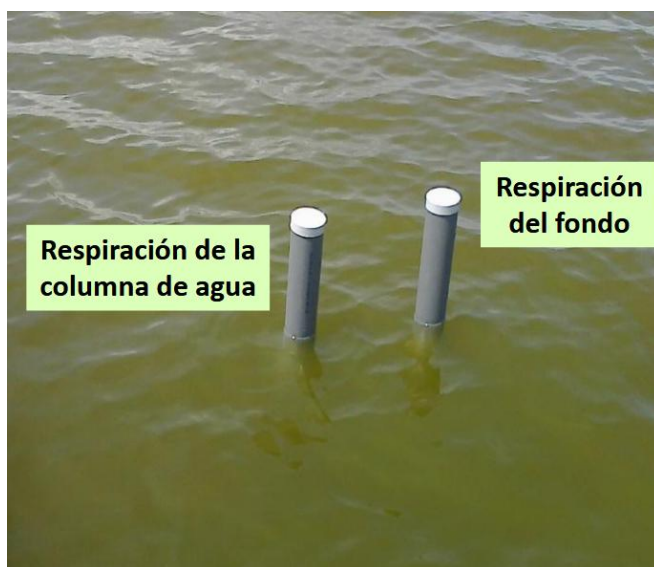
Las piscinas fueron llenadas en el transcurso de 3 días, para luego ser fertilizadas aplicando 10 kg/ha de meta silicato y aplicando las enzimas 1 l/ha.

Se procedió con la siembra de las piscinas llevando una densidad de 400.000 mil postlarvas/ has, mismas que se fueron analizando en el mes de marzo.

## 6.5. Variables del ensayo

El consumo de oxígeno de los camarones, columna de agua y suelo fueron medidas tomadas por medio del multiparámetro de marca YSI Pro 20i, que despliega simultáneamente temperatura y oxígeno disuelto, la temperatura en rango de -5 a 55 °C, con una precisión de  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  y oxígeno disuelto en un rango de 0 a 50 mg/l, con una precisión de  $\pm 0.2$  mg/l entre 0 y 20 mg/l (Figura 1) estos datos fueron tomados de manera diaria durante 27 días en el mes de marzo.

Adicional se recopiló los datos de conteos de fitoplancto mediante toma de muestra de agua, en la piscina a prueba, así mismo las concentraciones tomadas de oxígeno fueron diarias reportadas en mg/l.



**Figura 1** ensayo de toma de datos respiración del fondo y respiración de la columna de agua.

## 6.6. Respiración en la columna de agua

La medición de la respiración de la columna de agua fue realizada en los días que se tomó el dato de la piscina, datos el mismo día que se tomen los datos en la piscina, las

mediciones y toma de datos se realizaron a las 06:00 a 09:00 a.m, antes de tener incidencia de radiación solar figura 2. La medición se hizo a mitad del ciclo de cultivo.

### 6.7. Respiración del fondo

Para el dato del oxígeno disuelto del suelo se realizó, introduciendo tubos de PVC, en la piscina de cultivo, con una tapa en el fondo, tomando como datos los valores de oxígeno inicial y final que presenten dentro de las cámaras, durante un tiempo de 2 horas desde su colocación en los puntos de medición, en el mismo momento fueron tomados lo datos de O.D, que presentó la piscina.

Las cámaras usadas fueron fabricadas de tubos de PVC, de ½ pulgada, utilizando una para la respiración del suelo sin tapa en el fondo, y la de la columna del agua utilizando una cámara con tapa en el fondo para obtener el dato de respiración del suelo (técnica utilizada de acuerdo al Doctor Vinatea).

Para estimar la cantidad de oxígeno consumido por el sedimento se realizarán los siguientes cálculos:

Para el cálculo de la respiración de la columna de agua se realizó a través de la formula:

$$\text{Respiración del fondo} \\ \text{RF (mg O}_2\text{/L/h)} = \frac{\text{Oxígeno inicial} - \text{Oxígeno final}}{\text{Tiempo (h)}} - \text{RC}$$

**Tubo con una tapa**

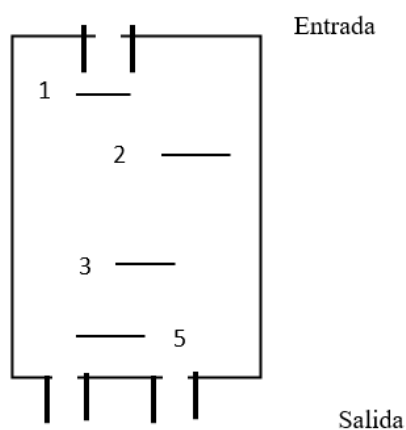
*Figura 2 Formulas mejoradas del Doctor Vinatea, Utilizada en el trabajo Demanda de oxígeno y estrategias de aireación en camaroneras.*

## 6.8. Toma de parámetros Químicos

Se realizó la toma y seguimiento de parámetros fisicoquímicos e ir analizando la incidencia de los parámetros, en la piscina y conocer la variación del mismo en la respiración.

## 6.9. Puntos de Muestreos

Para poder medir la concentración de oxígeno *in situ* se procederá a utilizar la metodología utilizada por Ramírez (2004), el número de sitios por muestreo es de 5 puntos en la piscina donde cada una estará provista por su cámara de incubación (figura 3).



**Figura 3** Ubicación de los puntos de muestreo dentro de la piscina

Se escogieron 5 puntos de muestreo en diferentes partes de las piscinas de cultivo.

1. Entrada
2. Canal derecho (préstamo)
3. Mesa
4. Salida

Para la medición de la respiración se utilizó cámaras a partir de tubos de pvc de 5 pulgadas, a los cuales se le acopló un tubo de pvc de 3 pulgadas con una altura de 15 cm de altura, para poder tomar los datos de oxígeno con el multiparámetro.

#### **6.10. Análisis estadístico**

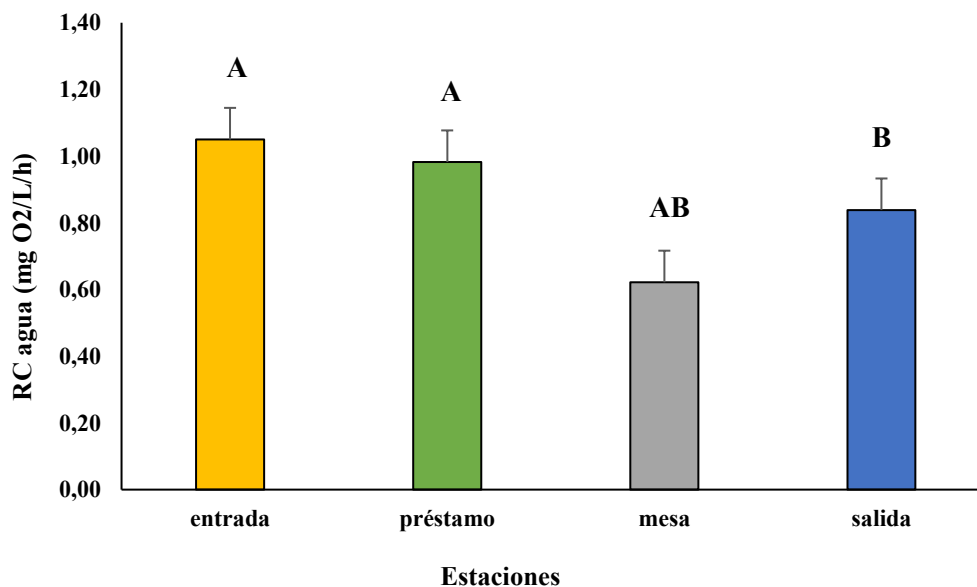
Se determinó la normalidad de los datos utilizando una prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, seguido de una prueba de homocedasticidad de Levene (igualdad de varianzas) para comparar las medias de las concentraciones de oxígeno disuelto se aplicó ANOVA de una vía, con  $p < 0.05$  como valor significativo y un test a posteriori de Tukey y un test no paramétrico de Kruskal-Wallis para los parámetros físico – químicos. Para verificar la correlación entre los parámetros físico-químicos y las concentraciones de oxígeno disuelto se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA). Todas las pruebas estadísticas se realizaron usando el programa MINITAB versión 19.0.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Respiración del suelo.

Los valores de respiración de columna de agua (RC) mostraron diferencias leves entre las estaciones de muestreo. La estación entrada presentó el valor promedio más alto (1,05 mg O<sub>2</sub>/L/h), mientras que la estación mesa registró el valor más bajo (0,98 mg O<sub>2</sub>/L/h). De acuerdo con el análisis estadístico, las estaciones entrada y préstamo compartieron la misma letra (A), lo que indica que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellas. La mesa presentó la letra AB, mostrando una tendencia intermedia, y la salida se diferenció del resto con la letra B, reflejando una disminución significativa de la respiración de la columna de agua en esa zona, y presentó a su vez diferencias significativas (Gráfico 1).

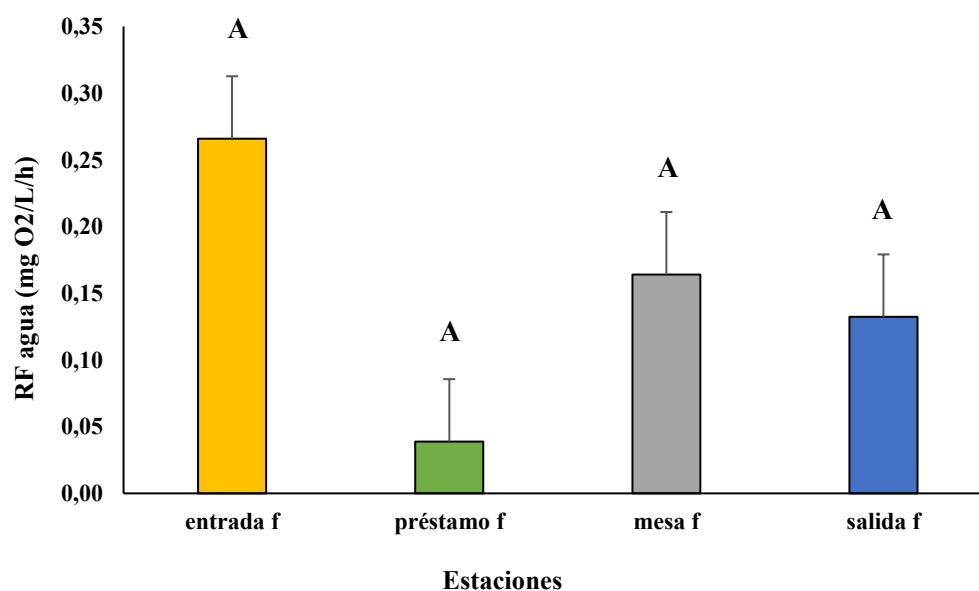
**Gráfico 1.** Promedios de respiración de columna de agua de cada estación de muestreo durante los meses de junio a septiembre.



Las barras representan la Media  $\pm$  DS. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según ANOVA de 1 vía y test a posteriori de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En cuanto a la respiración del fondo (RF), los valores fueron más bajos que en la columna de agua (oscilando entre 0.04 y 0.27 mg O<sub>2</sub>/L/h), donde la tasa más alta se registró en la entrada (0.27 mg O<sub>2</sub>/L/h), y la del área de préstamo (0.04 mg O<sub>2</sub>/L/h). Las letras idénticas en la Figura indican que no hubo diferencias significativas en los datos ( $p > 0.05$ ) entre estas estaciones, lo que indica una respiración uniforme del agua de fondo en el período de muestreo (Gráfico. 2).

**Gráfico 2.** Promedios de respiración del fondo del agua de cada estación de muestreo durante el mes de marzo



Las barras representan la Media  $\pm$  DS. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según ANOVA de 1 vía y test a posteriori de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 7.2. Relación Parámetros físico – químicos y oxígeno disuelto del suelo

Durante el período de muestreo comprendido entre los meses de julio, agosto y septiembre, fueron tomados los parámetros físicos del agua, a su vez mencionar que no existieron diferencias estadísticamente significativas en cada parámetro ( $p > 0,05$ ).

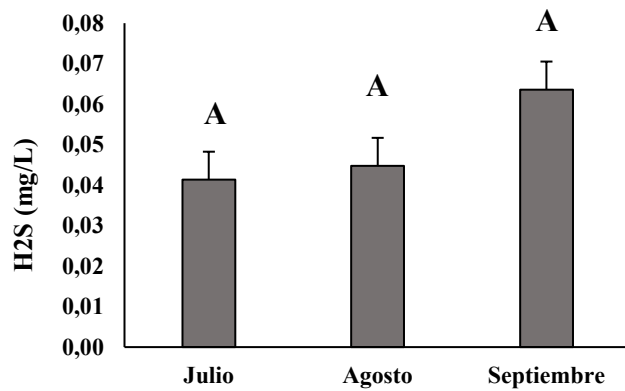
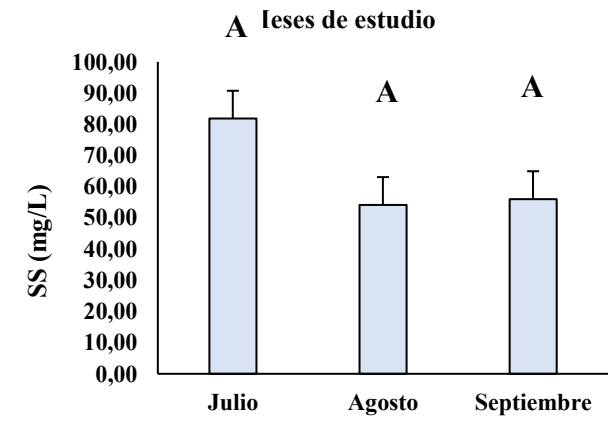
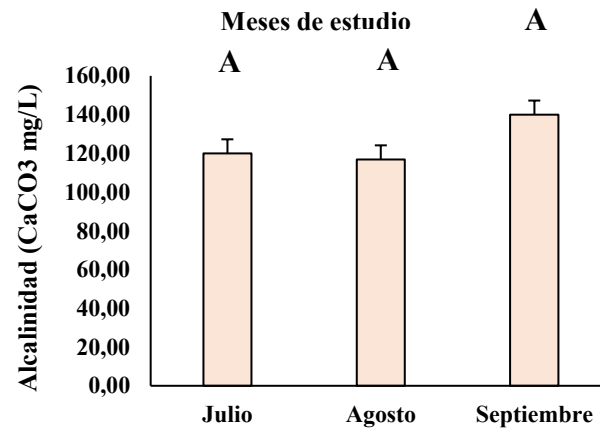
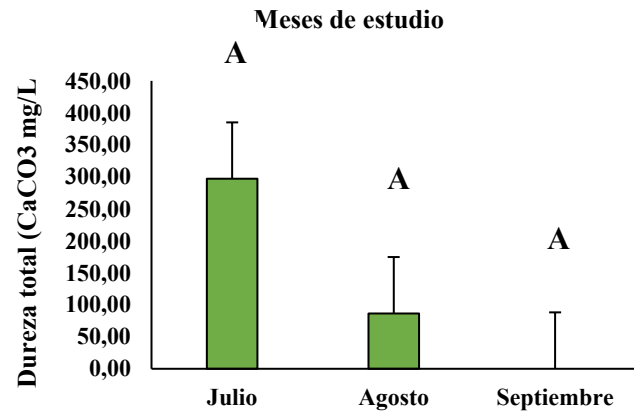
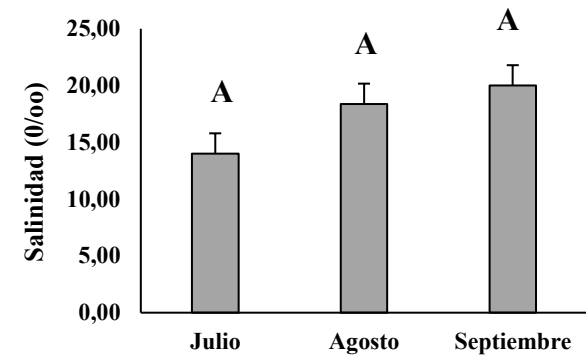
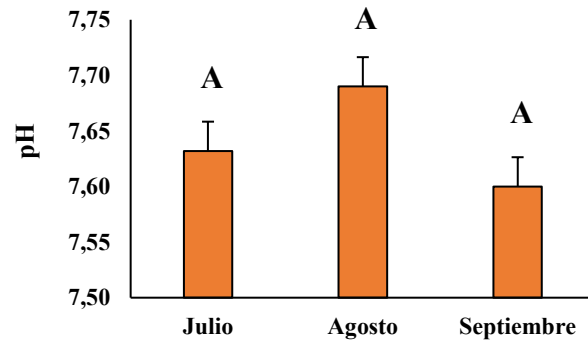
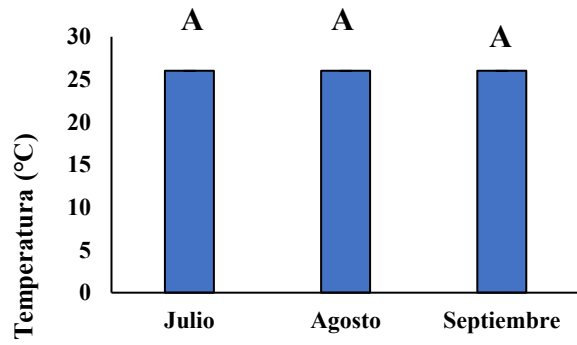
Todos los parámetros se encuentran en la Figura 3 y se describen a continuación:

La temperatura media preservada fue constante en los meses restantes del estudio, lo que sugiere una estabilidad térmica adecuada para el cultivo. El pH indicó un rango alcalino de 7.60 a 7.69, de modo que las condiciones ambientales son beneficiosas para el procesamiento del sistema biológico y el contenido de nutrientes en el sistema.

La salinidad en el presente estudio incrementó de forma gradual hasta 20 ‰ en septiembre, indicando un proceso de concentración natural del agua por evaporación, sin afectar de forma negativa la respiración del fondo.

La dureza total varió entre 296,91, 56 mg/L CaCO<sub>3</sub>, hasta valor 0 durante el último mes de muestreo (septiembre), evidenciando una disminución progresiva, mientras que la alcalinidad se mantuvo entre los valores 116,88 - 140 mg/L CaCO<sub>3</sub>, resultando mayor en septiembre lo que contribuye a la regulación del pH y la estabilidad química del medio y favoreciendo a los cultivos.

En cuanto a sólidos suspendidos (SS), estos disminuyeron progresivamente hasta el mes de septiembre oscilando de 81,8 mg/L a 54,13 mg/L, observándose una menor carga particulada para el agua de cultivo. Para sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) se mantuvo en valores de 0,04 a 0,06 mg/L, siendo el mes de septiembre el que presentó mayor valor, facilitando el desarrollo de las etapas larvarias ya que no superaron los niveles tóxicos, es decir, una buena oxigenación del sedimento y el agua.



Meses de estudio

Meses de estudio

Meses de estudio

**Gráfico 3.** Promedio de los Parámetros físico - químicos del agua durante los meses de junio a septiembre. Las barras representan la Media  $\pm$  DS. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) según análisis no paramétrico de Kruskal - Wallis

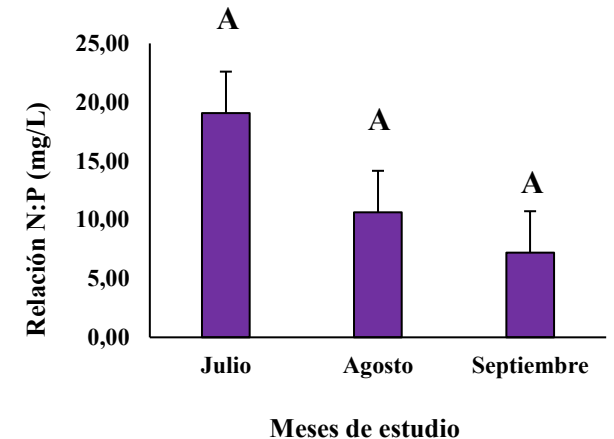
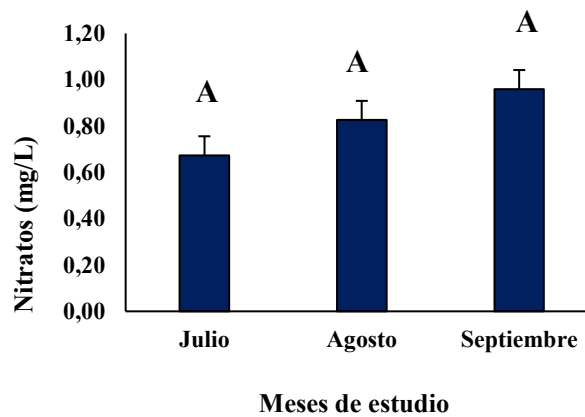
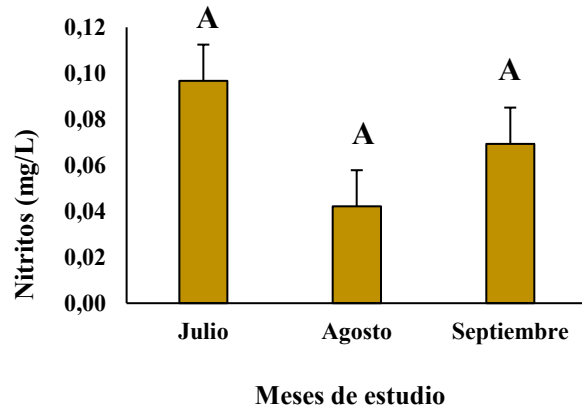
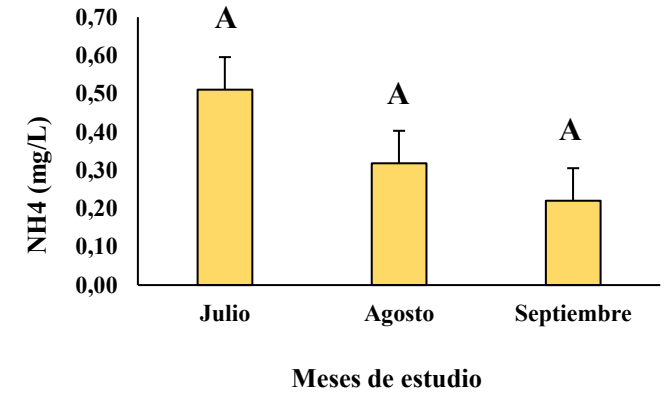
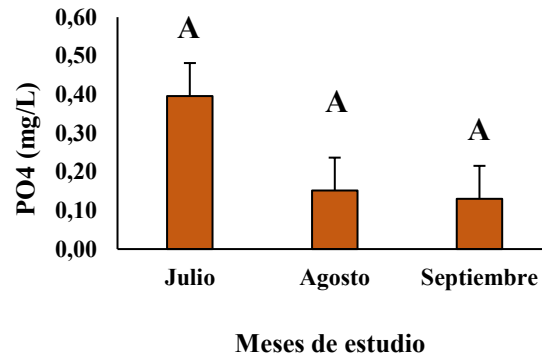
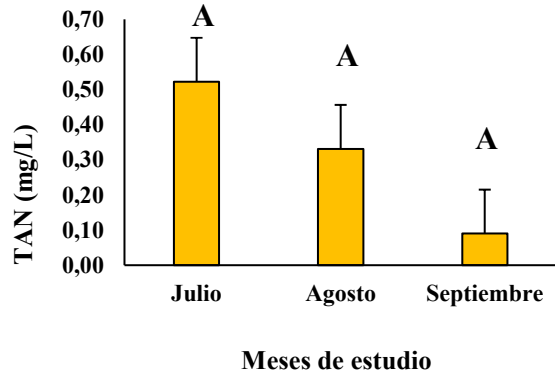
En cuanto a los parámetros de calidad de agua son presentados en la Figura 4. Las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) oscilaron entre 0,22 y 0,51 mg/L, mientras que los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentaron concentraciones promedio de 0,04 – 0,10 mg/L y 0,67 – 0,99 mg/L respectivamente, mostrando un equilibrio adecuado entre los procesos de nitrificación y desnitrificación. Cabe destacar, que los valores promedio más altos se presentaron al inicio de la experimentación durante el mes de julio y en cuanto a nitratos para el mes de septiembre.

El fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se mantuvo estable (0.13 – 0.40 mg/L), con la relación N: P disminuyendo de 19.07 durante julio a 7.20 en septiembre, lo que representa disminuciones en los compuestos de nitrógeno disponibles.

Entre agosto y septiembre, la disminución de la concentración de TAN, se observó una reducción gradual de los promedios de 0,52 a 0,09 mg/L en septiembre, evidencio un equilibrio entre la calidad del agua y la demanda biológica de oxígeno del sedimento.

Cabe mencionar, que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de cada nutriente ( $p > 0,05$ ).

**Gráfico 4.** Promedio de los nutrientes del agua durante los meses de junio a septiembre.



Las barras representan la Media  $\pm$  DS. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según análisis no paramétrico de Kruskal - Wallis

Para poder entender la relación del oxígeno disuelto con los parámetros físico – químicos y los nutrientes se realizó un análisis de componentes principales (PCA) (Figura 5):

### **7.3. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las Variables Físico-Químicas del Estanque**

El análisis de componentes principales (ACP) se aplicó con el objetivo de identificar patrones subyacentes entre las variables físico-químicas medidas en los estanques de producción de camarón *Litopenaeus vannamei*, con énfasis en su relación con la dinámica del sedimento y la calidad del agua. El biplot resultante (Figura 4.1) representa la proyección de las variables originales sobre los dos primeros componentes principales, que conjuntamente explican la mayor proporción de la varianza total del conjunto de datos. Esta visualización permite inferir correlaciones, agrupamientos y gradientes ambientales relevantes para la interpretación ecológica y operativa del sistema acuícola.

#### **7.3.1. Componente Principal 1: Gradiente de Carga Orgánica y Mineralización**

El Primer Componente Principal (PC1), ubicado en el eje horizontal, constituye el eje de máxima variabilidad en el sistema y está fuertemente influenciado por variables asociadas a la dinámica de nutrientes, carga orgánica y actividad metabólica microbiana en la columna de agua y en el fondo del estanque.

Las variables con cargas positivas en PC1 —*NO<sub>2</sub>*, *Sólidos Suspendidos*, *PD4*, *Salida resp columna*, *N.P.*, *Dureza Total*, *NH<sub>4</sub>* y *TAN*— se agrupan en la dirección derecha del eje, lo que sugiere una fuerte correlación positiva entre ellas. Esto refleja una alta tasa de mineralización y acumulación de productos de descomposición, así como la retención presente en el área de salida en el estanque. Las concentraciones de *NH<sub>4</sub>*, *NO<sub>2</sub>* y nitrógeno particulado (N.P.) están correlacionadas con la descomposición y la tasa de fijación de nitrógeno de la materia orgánica, mientras que los sólidos suspendidos y la dureza total están asociados con la estabilidad coloidal y la cantidad de minerales utilizados para facilitar la actividad biológica y alimentación.

Mientras tanto, las variables de carga negativa PC1 como la alcalinidad de *CaCO<sub>3</sub>*, *H<sub>2</sub>S*, préstamo o fondo, fondo de entrada, tabla de respiración de columna, temperatura, *NO<sub>3</sub>*, salinidad están presentes a la izquierda del eje. Esta agrupación indica un perfil que puede relacionarse con condiciones más estables o menos productivas, quizás asociadas con la entrada

de agua o condiciones del estanque que tienen una menor actividad metabólica. La alcalinidad ( $\text{CaCO}_3$ ) y la salinidad, ambas con cargas negativas, indican que estas variables tienden a ser más altas en condiciones de menor carga orgánica o en áreas no directamente afectadas por la respiración del sedimento.

Asimismo, la presencia de  $\text{H}_2\text{S}$  en esta región podría estar relacionada con la acumulación de compuestos reductores en el fondo, particularmente bajo condiciones anaeróbicas.

### 7.3.2. Componente Principal 2: Distribución Espacial y Temporal de la Calidad del Agua

El Segundo Componente Principal (PC2), representado en el eje vertical, captura la segunda mayor fuente de variabilidad ortogonal al PC1 y parece estar relacionado con la distribución espacial y temporal de los parámetros físico-químicos entre la entrada, la salida y el fondo del estanque.

En la parte superior del eje Y (valores positivos), se ubican variables como mesa fondo, *NO<sub>2</sub>*, *Sólidos Suspendidos*, *PD4*, *salida resp column*, *N.P.*, *Dureza Total*, *NH<sub>4</sub>* y *TAN*. La combinación de estas variables muestra que están vinculadas a procesos que ocurren principalmente en un área de salida de la piscina, ya que la presencia de productos de descomposición, nutrientes y sólidos suspendidos es más evidente visualmente. Esto indica un proceso de transporte y secuestro de productos orgánicos desde el fondo hacia la salida como consecuencia de un proceso potencialmente relacionado con la circulación hidrodinámica del estanque, la eficiencia de los sistemas de aireación y del flujo de agua de drenaje.

En el eje inferior de la ordenada Y (valores negativos), están las variables entradas columna, pH y salida inferior la cuales parecen estar asociadas con la calidad del agua en la entrada y el fondo del estanque, donde el pH podría ser bajo ya que se libera  $\text{CO}_2$  producto de la respiración microbiana, y la salida inferior probablemente indica que se están acumulando compuestos tóxicos, como  $\text{H}_2\text{S}$ . En esta región de pH está inversamente correlacionada con la actividad metabólica y la mineralización que a medida que se produce más  $\text{CO}_2$  fruto de la respiración microbiana, se puede acidificar el medio.

### 7.3.3. Interpretación Integral y Relaciones Ecológicas

El biplot contiene dos grupos funcionales grandes y distintos:

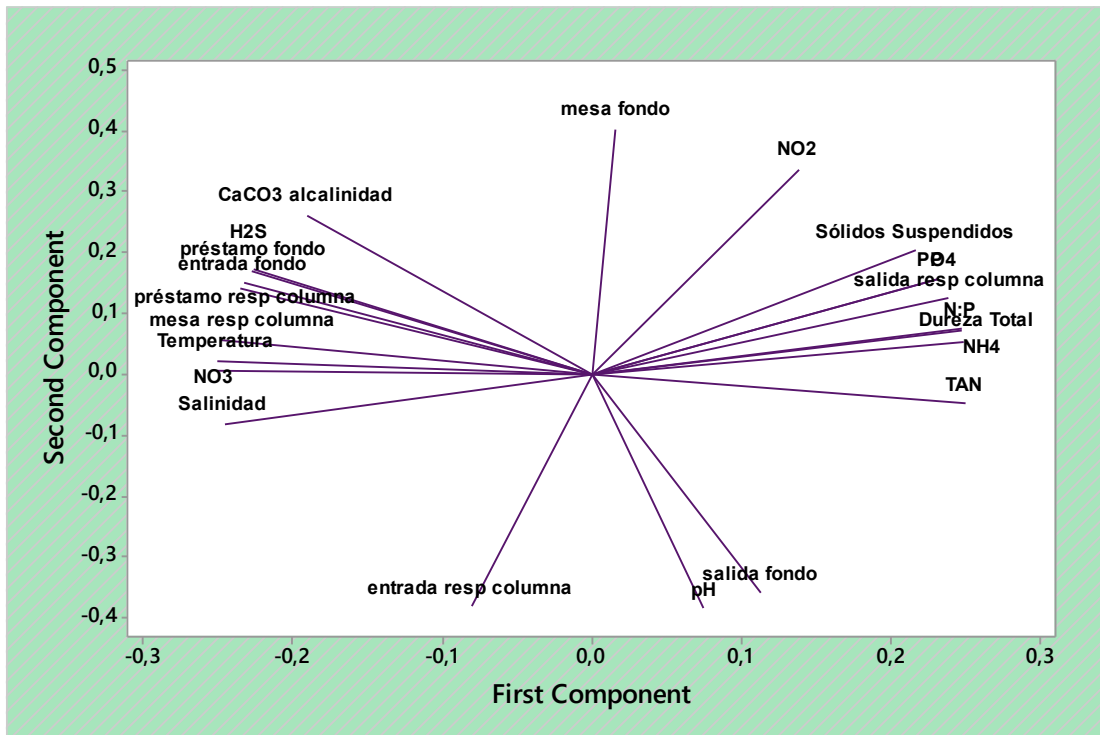
1. Grupo asociado a la salida y a la columna de agua: caracterizado por altos niveles de nutrientes ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , TAN), sólidos suspendidos y dureza, lo que sugiere un alto grado de mineralización y actividad microbiana en la zona de salida, probablemente como consecuencia de la acumulación de materia orgánica no consumida y de excretas del camarón.
2. Grupo asociado con la entrada y el fondo: caracterizado por parámetros que incluyen alcalinidad, salinidad, temperatura y  $\text{H}_2\text{S}$ , lo que sugiere que existe un ambiente de sustrato más estable o diferente en el fondo del estanque y la entrada de agua, lo que lleva a una actividad metabólica reducida o acumulación de compuestos reductores.

Luego, la respiración del fondo (tabla de fondo, entrada de fondo, salida de fondo) parece tener una correlación inversa con la respiración de la columna (tabla de respiración de columna, entrada de respiración de columna, salida de respiración de columna), lo que puede sugerir una separación en los procesos de descomposición y consumo de oxígeno desde el sedimento hasta la columna de agua. Esto está en línea con investigaciones previas que han indicado que hasta el 80% del consumo de oxígeno en estanques intensivos tiene lugar en la interfaz agua-sedimento (Boyd & Tucker, 1998). Finalmente, la presencia del pH en la parte inferior derecha del biplot indica que está negativamente asociado con los nutrientes principales y los sólidos suspendidos y está en línea con el estado ácido que el agua experimenta con la liberación de químicos ( $\text{CO}_2$ ) durante la respiración microbiana.

Este fenómeno tiene implicaciones directas en la toxicidad que produce el  $\text{NH}_3$ , ya que a  $\text{pH} < 7.0$  aumenta la forma tóxica del amoníaco, lo que puede conllevar a estrés fisiológico en los camarones y predisponerlos a enfermedades.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18
Temperatura	-0,251	0,022	-0,100	0,322	0,004	-0,298	-0,317	-0,205	0,084	-0,058	-0,404	-0,078	-0,013	0,439	0,083	-0,210	-0,262	0,161
pH	0,075	-0,385	-0,070	0,052	-0,139	-0,217	0,069	-0,016	-0,011	-0,195	0,366	-0,315	0,400	0,132	0,022	-0,389	0,110	-0,310
Salinidad	-0,246	-0,081	-0,016	0,396	0,145	0,367	0,167	0,391	-0,123	-0,029	-0,320	-0,253	0,205	-0,347	-0,108	-0,145	0,027	0,110
TAN	0,249	-0,049	-0,095	0,098	0,077	0,161	-0,101	0,143	0,311	0,033	0,281	-0,029	-0,259	-0,105	-0,130	-0,306	-0,447	-0,097
Dureza Total	0,247	0,073	-0,020	-0,078	0,165	-0,092	-0,204	0,096	-0,192	0,135	-0,098	-0,167	0,137	0,246	-0,365	-0,028	0,542	0,085
Sólidos Suspendidos	0,217	0,203	0,023	-0,058	0,049	-0,379	0,149	0,125	-0,224	0,158	-0,266	-0,243	-0,042	-0,048	0,072	-0,155	-0,284	-0,075
CaCO3 alcalinidad	-0,191	0,261	0,070	0,057	-0,035	0,162	0,180	0,016	0,191	0,333	-0,013	-0,047	-0,354	0,170	0,248	-0,459	0,394	-0,280
H2S	-0,228	0,171	-0,168	0,087	0,087	-0,058	0,335	-0,220	-0,149	0,372	0,203	0,263	0,308	0,097	-0,309	0,012	-0,224	-0,129
PO4	0,232	0,156	0,017	0,289	0,172	-0,253	-0,267	0,345	-0,232	0,359	0,271	0,124	0,050	-0,123	0,335	0,086	-0,003	-0,005
NH4	0,249	0,052	0,071	-0,216	-0,149	-0,343	0,468	0,262	0,198	-0,166	-0,306	0,116	0,043	-0,081	0,036	-0,066	-0,009	-0,012
NO2	0,138	0,337	-0,081	0,383	-0,558	0,072	0,156	0,122	0,047	-0,200	0,226	0,053	0,055	0,208	0,090	0,104	0,104	0,328
NO3	-0,251	0,006	-0,270	-0,022	-0,351	-0,121	-0,306	0,120	-0,244	-0,188	-0,101	0,092	-0,145	-0,247	0,091	0,129	0,076	-0,508
N:P	0,247	0,073	0,029	-0,303	-0,136	0,452	-0,182	0,189	-0,394	-0,089	-0,102	0,155	0,032	0,332	-0,046	-0,275	-0,234	-0,027
P	0,232	0,156	0,058	0,142	-0,091	-0,010	0,052	-0,305	-0,140	-0,027	0,047	-0,466	-0,422	-0,111	-0,343	0,176	-0,021	-0,099
entrada resp columna	-0,081	-0,382	-0,137	0,079	0,149	0,005	0,426	0,081	-0,457	-0,063	0,087	-0,001	-0,386	0,329	0,205	0,150	-0,028	0,041
préstamo resp columna	-0,236	0,140	0,441	0,101	-0,189	-0,178	0,012	-0,050	-0,368	-0,133	0,134	0,153	-0,060	-0,195	-0,277	-0,340	-0,046	0,079
mesa resp columna	-0,249	0,055	-0,086	-0,364	-0,191	0,013	-0,046	0,014	-0,089	0,198	0,200	-0,530	0,081	-0,102	0,259	-0,020	-0,135	0,373
salida resp columna	0,239	0,124	0,220	0,137	-0,073	0,285	0,097	-0,394	-0,125	0,057	-0,196	-0,126	0,336	-0,023	0,365	0,134	-0,093	-0,317
entrada fondo	-0,233	0,149	0,280	0,019	0,012	0,010	-0,006	0,442	0,184	-0,025	0,077	-0,254	0,075	0,389	-0,191	0,378	-0,188	-0,344
préstamo fondo	-0,227	0,174	0,019	-0,376	-0,113	-0,002	0,046	0,033	-0,005	0,143	0,011	0,028	0,022	0,004	-0,016	0,033	-0,012	-0,002
mesa fondo	0,016	0,403	-0,677	-0,033	0,166	0,040	0,096	0,000	-0,036	-0,208	0,004	-0,069	0,069	-0,030	-0,085	-0,068	0,001	-0,078
salida fondo	0,113	-0,360	-0,217	0,083	-0,511	0,033	0,001	0,064	0,051	0,543	-0,221	0,032	-0,012	-0,003	-0,236	0,053	-0,036	-0,009

Variable	PC19	PC20	PC21	PC22
Temperatura	-0,108	-0,211	0,009	-0,130
pH	0,171	-0,066	-0,069	-0,141
Salinidad	0,055	-0,095	0,103	-0,161
TAN	-0,439	0,128	0,212	-0,155
Dureza Total	-0,401	0,113	0,241	-0,050
Sólidos Suspendidos	0,299	0,538	0,137	0,027
CaCO3 alcalinidad	0,057	-0,048	0,007	0,109
H2S	0,026	-0,170	0,372	0,078
PO4	0,015	-0,322	-0,178	-0,101
NH4	-0,248	-0,448	0,068	0,040
NO2	0,051	0,178	0,183	-0,100
NO3	-0,125	-0,001	0,344	0,026
N:P	0,213	-0,239	0,027	0,066
P	0,192	-0,392	0,005	-0,127
entrada resp columna	-0,234	0,064	-0,031	-0,089
préstamo resp columna	-0,280	0,094	-0,334	0,120
mesa resp columna	-0,216	-0,140	0,118	0,257
salida resp columna	-0,384	0,069	-0,082	-0,059
entrada fondo	-0,057	0,034	-0,166	0,147
préstamo fondo	-0,017	0,039	-0,132	-0,848
mesa fondo	-0,118	0,039	-0,491	0,106
salida fondo	-0,047	0,065	-0,341	0,078



**Gráfico 5.** Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables físico-químicas del estanque de producción de camarón. Las flechas representan las variables originales; su longitud y dirección indican la correlación con los componentes principales. Las variables cercanas entre sí muestran alta correlación positiva; aquellas opuestas, correlación negativa.

## **ACTIVIDAD RESPIRATORIA DEL SUELO**

La actividad respiratoria del suelo (o del sedimento) consiste en la producción de CO<sub>2</sub> y consumo de oxígeno causada por microorganismos que descomponen materia orgánica. En los estanques de cultivo de camarón, esta actividad es un parámetro clave porque el camarón pasa gran parte del tiempo cerca del fondo y depende directamente de la calidad del sedimento.

### **Relación entre la respiración del suelo y la calidad del agua**

Se observó que los niveles más altos de respiración microbiana estuvieron asociados con:

Incrementos en las concentraciones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

Disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua durante las horas nocturnas.

Mayor liberación de nutrientes (N y P) desde el sedimento.

En contraste, la piscina con respiración microbiana moderada mantuvo una calidad de agua más estable, con menores fluctuaciones de oxígeno y menor acumulación de nitrógeno inorgánico.

### **Impacto sobre la salud del camarón**

Los valores elevados de respiración del suelo coincidieron con un aumento en indicadores de estrés fisiológico en los camarones, tales como:

Reducción del consumo de alimento.

Incremento de organismos con branquias erosionadas o con melanización.

Mayor presencia de camarones letárgicos en zonas profundas del estanque.

En los estanques con actividad respiratoria equilibrada, los camarones mostraron:

Mayor actividad natatoria.

Buen estado de las branquias.

Coloración y dureza del exoesqueleto normales.

## Relación con el crecimiento

Se identificó una relación inversa entre la respiración excesiva del sedimento y las tasas de crecimiento:

Los tratamientos con mayor actividad respiratoria registraron ganancias de peso menores ( $2.0 \text{ g} \pm \text{DE } 25$  que debe ser el teórico), asociadas a un gasto energético aumentado por estrés y menor calidad del agua.

En los tratamientos con respiración moderada, el crecimiento promedio fue significativamente mayor, alcanzando  $3.0 \text{ g} \pm \text{DE } 2.5 \text{ gr}$ .

Se observó además una mejor eficiencia alimenticia (FCA) en los estanques con menor acumulación de materia orgánica, reflejando un ecosistema más estable.

## Efecto sobre la supervivencia

La supervivencia mostró una correlación directa con la actividad respiratoria del sedimento:

Los valores excesivos de respiración se asociaron con picos de mortalidad relacionados a eventos de hipoxia nocturna y posibles liberaciones de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

En contraste, las piscinas con respiración controlada registraron las mayores tasas de supervivencia, alcanzando porcentajes de 2% a 3%

Estos resultados indican que el monitoreo de la respiración del suelo puede actuar como un indicador temprano de riesgo, permitiendo prevenir eventos críticos antes de que afecten la supervivencia del cultivo

DI-47-C	
HA.	10,97
FECHA SIEMBRA	21/6/2025
FECHA COSECHA	21/9/2025
DIAS DE CULTIVO	92
DENSIDAD SEMBRADA	929.353
SOBREVIVENCIA	23%

## 8. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio mostraron que los valores de respiración tanto en la columna de agua como en el fondo se mantuvieron dentro de los rangos reportados por Ramírez-Echeverri et al. (2010) para estanques de camarón en sistemas semi intensivos, lo que indica una adecuada oxigenación del sistema. La ausencia de diferencias significativas entre estaciones de muestreo sugiere que el manejo aplicado fue uniforme y que el sedimento mantuvo condiciones químicas y biológicas estables, necesarias para el desarrollo del camarón.

En la temperatura, que, aunque no existió correlación entre los datos se mantuvo constante durante los meses de julio a septiembre (26 °C), parecido a lo que señala Valenzuela – Quiñonez et al (2011), los cuales determinan que la estabilidad térmica es un factor determinante en la regulación de la respiración y el metabolismo de los organismos acuáticos. Para el pH, que fue ligeramente alcalino, indica que es un ambiente favorable para la nitrificación y así evitando la acumulación de amonio según lo reportado por Arancibia y Cáceres (2018).

Los bajos niveles de amonio, nitritos y nitratos observados en este estudio respaldan que la oxidación del nitrógeno utilizada en la investigación se ha completado de manera eficiente, lo que corresponde a los hallazgos de Krebs (2023) y Vásquez et al. (2013), quienes enfatizan una correlación directa de la mineralización de los desechos orgánicos con la cantidad de oxígeno requerida por el sedimento. Esto también indica que la respiración del fondo estaba equilibrando el sistema y evitó la acumulación de un tipo que podría resultar en mala salud para los camarones

Así mismo, Boyd y Tucker (2012), afirman que una adecuada disponibilidad de nutrientes y carbonatos estimula los procesos de respiración aeróbica y el reciclaje de nutrientes en los sedimentos acuícolas. Adicionalmente, Ramírez (2004) y Harold (2021), reportaron que variaciones de temperatura o salinidad pueden modificar la solubilidad del oxígeno en el agua y con ello afectar la eficiencia metabólica del sedimento.

El ACP permitió encontrar patrones multivariados en las variables fisico-químicas de los estanques de producción de camarón, donde gradientes ecológicos y funcionales fueron

identificadas lo que refleja la dinámica entre la carga orgánica, actividad microbiana del sedimento y calidad del agua. Estos hallazgos se alinean con numerosos estudios que han demostrado que la interacción entre el sedimento y la columna de agua es un factor determinante en la estabilidad y productividad de los sistemas acuícolas intensivos (Boyd & Tucker, 1998; Burford et al., 2003).

### **8.1. Carga Orgánica, Mineralización y Calidad del Agua**

El agrupamiento de variables como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , TAN, sólidos suspendidos y nitrógeno particulado (N.P.) en la dirección positiva del PC1 sugiere una fuerte relación entre la mineralización de materia orgánica y la acumulación de nutrientes en la zona de salida del estanque. Esto corresponde con lo presentado por Samocha y colegas (2004), quienes informaron que el 70% de la sustancia orgánica no consumida se absorbe en el fondo en sistemas intensivos y es descompuesta por bacterias heterotróficas para producir amonio,  $\text{CO}_2$  y otros metabolitos. En consecuencia, en la descarga del estanque, una acumulación de tales compuestos probablemente indica un rendimiento inferior en la eliminación de desechos, favoreciendo el potencial para el crecimiento de patógenos (*Vibrio* spp.) – así como su diseminación a bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Lavilla-Pitogo et al., 1990). Además, la dureza total y los sólidos suspendidos se asociaron positivamente con los nutrientes nitrogenados, corroborando a Burford et al. (2003). Esta dinámica puede llevar a variaciones del sistema, particularmente cuando no se aplica una buena gestión de la alimentación o en caso de que haya una aireación insuficiente para proporcionar condiciones oxidantes en el sedimento.

### **8.2. Respiración del Sedimento y Acumulación de Compuestos Tóxicos**

La presencia de  $\text{H}_2\text{S}$  en la dirección negativa del PC1, junto con variables como “entrada fondo” y “préstamo o fondo”, sugiere que la formación de sulfuro de hidrógeno está asociada principalmente con zonas del estanque donde predomina la respiración anaeróbica del sedimento. Este resultado es coherente con los estudios de Boyd (2000), quien destacan que en condiciones de anoxia, las bacterias reductoras de sulfato (SRB) utilizan sulfatos como aceptor

final de electrones, generando H<sub>2</sub>S como subproducto. Considerando que el H<sub>2</sub>S es muy tóxico, incluso a concentraciones tan altas como 30–50 µg/L de H<sub>2</sub>S no ionizado (Boyd y Tucker 1998), su retención en el subsuelo en el fondo es de particular preocupación para los camarones, especialmente en eventos de "volteo" de sedimentos, que pueden precipitar estos compuestos de nuevo en la columna de agua. La dirección inversa de la respiración del fondo y la respiración de la columna en PC2 apoya el funcionamiento parcialmente independiente y las propiedades metabólicas separadas entre estos dos compartimentos. Esto está de acuerdo con Burford et al. (2003), quienes utilizaron sensores de microelectrodos para mostrar que el consumo de oxígeno en el sedimento puede representar hasta el 80% del consumo del estanque, y que se han detectado gradientes rápidos de oxígeno en los primeros milímetros del fondo de un estanque. Por lo tanto, en la gestión de estanques, este aspecto también debe incluir la oxigenación de la columna de agua, la circulación y aireación del fondo para asegurar la no acumulación de compuestos reductores.

### **8.3. pH, Amoníaco y Estrés Fisiológico**

La posición del pH en la parte inferior derecha del biplot, con una correlación negativa con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y TAN, refleja la relación directa entre la acidificación del agua y la acumulación de CO<sub>2</sub> por respiración microbiana. Esta interacción tiene implicaciones críticas para la toxicidad del amoníaco, ya que la proporción de amoníaco no ionizado (NH<sub>3</sub>)—la forma tóxica—aumenta exponencialmente con el pH (Randall & Tsui, 2002). De manera similar, aunque el pH de los estanques probados no superó puntos críticos (>9.0), su variación en respuesta a los niveles de TAN implica que eventos de estratificación o alta actividad fotosintética podrían producir picos transitorios de NH<sub>3</sub> con el potencial de causar estrés crónico en los camarones. Se ha relacionado con una disminución en la respuesta inmune y una mayor susceptibilidad a enfermedades como AHPND (Tran et al., 2013).

### **8.4. Implicaciones para la Gestión Acuícola**

Los resultados del ACP subrayan la importancia de una gestión integral del sedimento, que vaya más allá del monitoreo tradicional de la columna de agua. La alta correlación entre

variables de salida (e.g., *salida resp columna*, *salida fondo*) y nutrientes sugiere que la zona de drenaje es un indicador sensible del estado trófico del estanque. Este hallazgo respalda la recomendación de implementar sistemas de monitoreo en puntos estratégicos (entrada, centro, salida) para detectar tempranamente desequilibrios en la carga orgánica.

De igual forma, la división de nuestras variables de entrada y salida en el espacio factorial implica que la calidad de nuestra agua entrante sirve como un factor amortiguador, y podemos rastrear la acumulación de metabolitos en nuestra salida para determinar el impacto acumulativo de nuestro cultivo. Esto resalta la importancia de medidas como la incorporación de probióticos, la aireación profunda y la minimización de la sobrealimentación, que han demostrado ser efectivas en la modulación del microbiota del sedimento y la reducción del nivel de acumulación de H<sub>2</sub>S y amoníaco (Verschuere et al., 2000; Balcázar et al., 2006).

## **8.5. Limitaciones y Perspectivas**

Es importante señalar que el presente ACP se basó únicamente en variables físico-químicas y no incluyó datos microbiológicos (e.g., conteo de *Vibrio*, diversidad microbiana del sedimento) ni parámetros productivos (e.g., tasa de crecimiento, conversión alimenticia). Futuros estudios deberían integrar estos aspectos mediante enfoques de análisis multivariado conjunto (por ejemplo, RDA o CCA) para establecer relaciones causales más robustas entre la dinámica del sedimento y la salud del camarón.

Los hallazgos del PCA en general confirman que la respiración del suelo no ocurre en un vacío, sino que juega un papel esencial en el metabolismo del estanque y tiene implicaciones directas para la calidad del agua y la fisiología del camarón. A partir del conocimiento de estos patrones espaciales y funcionales, se podrían formular políticas de manejo más sostenibles para evitar colapsos ambientales y de salud durante la acuicultura intensiva.

## 9. CONCLUSIONES

- La respiración observada en la columna de agua y las profundidades del estanque en los sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei* estuvieron dentro de los rangos normales, sin variaciones significativas entre las zonas de muestreo, lo que sugiere una gestión homogénea con respecto al medio ambiente.
- Toda la respiración dependía directamente de los parámetros fisicoquímicos y los nutrientes, mientras que ambos parámetros se correlacionaban positivamente con la respiración; la dureza total, el amonio y el fosfato influían positivamente en la actividad respiratoria del sedimento, y la temperatura, la salinidad y el pH tenían una asociación negativa con el comportamiento del oxígeno disuelto.
- Esto confirma la respiración del suelo como un indicador efectivo de la calidad del fondo en los sistemas de cultivo de camarones que combina elementos fisicoquímicos con nutrientes para identificar qué tan bien funciona la condición ecológica de un sistema.

## 10.RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar un monitoreo regular de la respiración del fondo, así como de las variables fisicoquímicas, para predecir la presencia de posibles problemas con la calidad del agua y con el fin de mejorar la gestión del cultivo
- Se sugiere que se mantenga los parámetros físico - químicos y oxígeno disuelto dentro de los rangos óptimos reportados, evitando fluctuaciones varias y no uniformes, ya que podrían alterar la respiración y el metabolismo del suelo.
- Se recomienda hacer constantes estudios basados en el mismo tema o complementarios relacionados con otros parámetros que no se tomaron en cuenta y a su vez microbiológicos con el fin de conocer y tener más información sobre la respiración del sedimento como posible herramienta de diagnóstico ambiental en sistemas de cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, E., & Cáceres, D. (2018). Comparación del ritmo de crecimiento del *Litopenaeus vannamei* y las fluctuaciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos, de los estanques 1 y 2 de la granja camaronera Playa Hermosa, en el periodo comprendido de Abril a Junio del 2017. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Assessment of the oxygen consumption rate of the *Penaeus vannamei* with respect to salinity, temperature and body weight. (2020). *UNAH*, pag. 57-65 DOI 10.5377/ret.v13i25.10412.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>
- Harold, C. (2021). *FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN ESTANQUES ACUÍCOLAS EN ÉPOCA FRÍA*. Machala : UTMACH.
- Krebs, L. (2023). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I desarrollo de un protocolo estandar para medir dióxido de carbono. *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL* .
- Ramírez, A. (2004). Estudio de la respiración de fondos en estanques de cultivo de camarones en las condiciones de medio ambiente y de manejo en C.I CARTAGENERA DE ACUACULTURA S.A. *FUNDACION UNIVERSIDAD DE BOGOTA JORGE TADEO LOZANO* .
- Ramírez-Echeverri, et al. (2010). *RESPIRACIÓN DE FONDO EN ESTANQUES DE CULTIVO DE CAMARONES EN LA BARRANCO (SUCRE), CARIBE COLOMBIANO*. Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 2010, 43(1): 76 - 87.
- Valenzuela-Quinonez, W., Rodríguez, G., Ponce-Palafox, J., & Esparza-Leal, H. (2011). Effect of different combinations of temperature and salinity on specific oxygen consumption in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 46, N°3: 303-311.
- Vásquez, J., Macías, F., & Menjivar, J. (2013). *Respiración del suelo según su Uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia*. Colombia : Bioagro 25(3): 175-180.
- Xylem . (2020). Obtenido de YSI Pro20i MEDIDOR PORTÁTIL DE OXÍGENO DISUELTO: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Specification%20Sheets/YSI-Pro20i-Spec-Sheet-Spanish.pdf>

- Balcázar, J. L., et al. (2006). The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*, 114(3–4), 173–186.
- Boyd, C. E. (2000). *Water Quality: An Introduction*. Springer.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer.
- Burford, M. A., et al. (2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219(1–4), 393–411.
- Lavilla-Pitogo, C. R., et al. (1990). Occurrence of luminous bacterial disease of *Penaeus monodon* larvae in the Philippines. *Aquaculture*, 91(1–2), páginas 1-13.
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1–12), 17–23.
- Samocha, T. M., et al. (2004). Management of organic carbon and nitrogen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural Engineering*, 30(3–4), 227–243.
- Tran, L., et al. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105(1), 45–55.
- Verschuere, L., et al. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4), 655–671.

## ANEXOS

### TOMA DE CONSUMOS DE OXIGENOS

entrada		
Respiracion columna de agua RC (mg O2/L/h)	Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)	Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)
0,4	0,6	0,2
0,8	0,92	0,12
0,6	0,89	0,29
0,9	1,2	0,3
1,2	0,9	-0,3
1,8	2,1	0,3
0,6	0,9	0,3
0,5	0,75	0,25
0,9	0,96	0,06
1,6	1,9	0,3
1,2	1,6	0,4
1,6	1,8	0,2
1,3	1,6	0,3
1,6	1,8	0,2
0,9	1,3	0,4
0,98	1,2	0,22
0,97	1,95	0,98

PRESTAMO		
Respiracion columna de agua RC (mg O2/L/h)	Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)	Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)
0,8	0,9	0,1
0,7	0,8	0,1
0,9	0,7	-0,2
0,7	1,1	0,4
0,9	1,2	0,3
1,2	0,9	-0,3
1	0,8	-0,2
1,5	1,2	-0,3
0,9	0,98	0,08
0,6	1,2	0,6
0,7	0,98	0,28
0,6	0,6	0
0,9	1,3	0,4
1,2	1,1	-0,1
1,4	0,9	-0,5
1,5	0,9	-0,6
1,2	1,8	0,6

<b>MESA</b>		
<b>Respiracion columna de agua RC (mg O2/L/h)</b>	<b>Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)</b>	<b>Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)</b>
0,6	0,9	0,3
0,2	0,5	0,3
0,8	0,8	0
0,6	0,9	0,3
0,5	0,6	0,1
0,4	0,9	0,5
0,3	0,5	0,2
0,6	0,8	0,2
0,8	0,98	0,18
0,5	0,8	0,3
0,4	0,5	0,1
0,7	1	0,3
0,9	0,9	0
0,8	0,98	0,18
0,7	0,5	-0,2
0,8	0,6	-0,2
0,97	1,2	0,23

<b>SALIDA</b>		
<b>Respiracion columna de agua RC (mg O2/L/h)</b>	<b>Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)</b>	<b>Respiracion del fondo de agua RF(mg O2/L/h)</b>
0,9	1	0,1
0,7	0,8	0,1
0,65	0,9	0,25
0,9	1,2	0,3
1,1	0,9	-0,2
1	1,5	0,5
0,9	1	0,1
1,2	0,9	-0,3
1	1,3	0,3
0,9	1,5	0,6
0,2	0,9	0,7
0,6	0,9	0,3
0,9	0,8	-0,1
0,8	0,7	-0,1
1	0,5	-0,5
0,8	1,1	0,3
0,7	0,6	-0,1

**Anexo 1:** toma de consumo de oxigenos en los puntos de estudio (entrada, mesa. Prestamo y salida)

## DATOS QUÍMICOS PISCINA ANALIZADA

Fecha	Año	EMPRESA	ZONA	TIPO	HECTÁREAS	CICLO	Semana	Piscina	Días de Cultivo	Peso (gr)	Observación	Temperatura	pH	Salinidad	TAN	NH4 MOLECULAR	N MOLECULAR	N-TAN	NH4	NH3	NO2	NO3	N-NO2	N-NO3	Nitrogeno Total	P	PO4
24/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	26	DI047	3	1,1		26	7,75	11	0,58	18	14	0,447	0,56	0,02	0,08	0,90	0,024	0,205	0,68	0,11	0,34
1/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	27	DI047	10	1,9		26	7,31	12	0,10	18	14	0,078	0,10	0,00	0,03	0,86	0,010	0,195	0,28	0,06	0,17
5/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	27	DI047				26	7,34	13	0,08	18	14	0,058	0,07	0,00	0,16	0,67	0,047	0,153	0,26	0,14	0,43
8/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	28	DI047	17	3,4		26	7,94	13	0,45	18	14	0,350	0,43	0,02	0,00	0,53	0,001	0,120	0,47	0,00	0,01
15/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	29	DI047	24	5,3		26	7,92	14	0,23	18	14	0,175	0,21	0,01	0,00	0,31	0,001	0,071	0,25	0,04	0,12
20/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	29	DI047				26	7,68	15	0,28	18	14	0,214	0,27	0,01	0,04	0,16	0,013	0,037	0,26	0,15	0,45
22/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	30	DI047				26	7,77	15	0,05	18	14	0,039	0,05	0,00	0,08	0,75	0,024	0,170	0,23	0,23	0,69
23/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	30	DI047	32	7,8		26	7,41	15	2,00	18	14	1,556	1,97	0,03	0,11	0,38	0,034	0,087	1,68	0,26	0,78
25/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	30	DI047	33	7,8		26	7,60	15	0,80	18	14	0,622	0,78	0,02	0,27	0,68	0,082	0,155	0,86	0,14	0,41
29/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	31	DI047				26	7,60	17	0,68	18	14	0,525	0,66	0,01	0,19	1,48	0,057	0,337	0,92	0,18	0,56
1/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	31	DI047				26	8,31	18	0,43	18	14	0,331	0,38	0,04	0,04	0,73	0,013	0,166	0,51	0,05	0,16
3/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	31	DI047				26	7,53	18	0,35	18	14	0,272	0,34	0,01	0,04	1,00	0,013	0,227	0,51	0,02	0,07
5/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	32	DI047				26	7,57	18	0,33	18	14	0,253	0,32	0,01	0,06	0,75	0,019	0,170	0,44	0,03	0,1
8/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	32	DI047				26	7,45	17	0,05	18	14	0,039	0,05	0,05	0,01	0,29	0,002	0,065	0,11	0,03	0,09
11/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	33	DI047				26	7,81	18	0,10	18	14	0,078	0,10	0,00	0,00	0,17	0,001	0,039	0,12	0,04	0,11
18/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	34	DI047				26	7,30	19	0,45	18	14	0,350	0,45	0,00	0,09	1,45	0,027	0,330	0,71	0,10	0,31
19/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	34	DI047				26	8,05	19	0,63	18	14	0,486	0,59	0,04	0,06	1,32	0,018	0,300	0,80	0,10	0,29
29/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	35	DI047				26	7,50	20	0,33	18	14	0,253	0,32	0,01	0,03	0,90	0,009	0,205	0,47	0,03	0,08
4/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10,97	51	36	DI047				26	7,60	20	0,09	18	14	0,070	0,22	0,00	0,07	0,96	0,021	0,218	0,31	0,04	0,13

Relación N:P calculada	N:P	CaCO3	SiO2	Fe	S	H2S	Ca	Mg	K	Dureza Calcio (CaCO3)	Dureza Magnesio (CaCoMg)	Dureza total	Ca:Ca	Mg:Ca	K:Ca	Referencia Ca	Referencia Mg	Referencia K	Solidos Suspendidos2	N/SI
6,0	6:1	135			0,06	0,064	160	300	120	399	71	471	1,00	1,88	0,75	127,60	430,10	117,70	40	
5,0	5:1	125			0,02	0,021	180	280	138	449	67	516	1,00	1,56	0,77	139,20	469,20	128,40	69	
1,8	1,8:1	105			0,03	0,032				0	0	0				150,80	508,30	139,10	119	
142,7	142,7:1	90			0,01	0,011	140	460	112	349	110	459	1,00	3,29	0,80	150,80	508,30	139,10	54	
6,2	6,2:1	115			0,06	0,064	220	380	134	549	90	639	1,00	1,73	0,61	162,40	547,40	149,80	87	
1,8	1,8:1	140			0,02	0,021				0	0	0				174,00	586,50	160,50	84	
1,0	1:1	130			0,04	0,042	200	440	160	499	105	604	1,00	2,20	0,80	174,00	586,50	160,50	80	
6,5	6,5:1	100			0,05	0,053				0	0	0				174,00	586,50	160,50	74	
6,4	6,4:1	140			0,04	0,042				0	0	0				174,00	586,50	160,50	109	
5,0	5:1	120			0,06	0,064	180	540	180	449	129	578	1,00	3,00	1,00	197,20	664,70	181,90	102	
9,7	9,7:1	180			0,07	0,074				0	0	0				208,80	703,80	192,60	49	
22,2	22,2:1	90			0,01	0,011				0	0	0				208,80	703,80	192,60	58	
13,4	13,4:1	95			0,04	0,042	220	600	172	549	143	692	1,00	2,73	0,78	208,80	703,80	192,60	49	
3,6	3,6:1	110			0,01	0,011				0	0	0				197,20	664,70	181,90	63	
3,2	3,2:1	100			0,03	0,032				0	0	0				208,80	703,80	192,60	73	
6,9	6,9:1	140			0,04	0,042				0	0	0				220,40	742,90	203,30	37	
8,4	8,4:1	110			0,08	0,085				0	0	0				220,40	742,90	203,30	43	
17,7	17,7:1	110			0,04	0,042				0	0	0				232,00	782,00	214,00	61	
7,2	7,2:1	140			0,06	0,064				0	0	0				232,00	782,00	214,00	56	

## Anexo 2: Análisis químicos de piscina estudiada

# CONTEO DE FITOPLANTON

Fecha	Año	EMPRESA	ZONA	TIPO	HECTÁREAS	Semana	CICLO	Piscina	Observación	Nitzschia sp.	Chaetoceros sp.	Navicula sp.	Amphora sp.	Skeletonema sp.	Thalassiosira sp.	Otro Sp. Diatomeas	Total Diatomeas	%Diatomeas	Oscillatoria sp.	Anabaena sp.	Spirulina sp.	Crocococcus sp.	Otras Sp. Cianobacterias	Total Cianobacterias	% Cianobacterias	Ceratium sp.
20/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	25	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	24,10%	7.500	0	0	0	2.500	10.000	48,19%	0
23/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	26	51	D047		0	0	0	0	0	5.000	0	5.000	35,71%	5.000	0	0	0	0	5.000	35,71%	0
24/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	26	51	D047		0	0	5.000	0	0	0	2.500	7.500	47,62%	5.000	0	0	0	0	5.000	31,75%	0
25/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	26	51	D047		5.000	0	0	0	0	0	0	5.000	21,74%	12.500	0	0	0	0	12.500	54,35%	0
27/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	26	51	D047		0	0	0	0	25.000	60.000	15.000	100.000	73,66%	0	0	0	0	5.000	5.000	3,65%	0
30/6/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	27	51	D047		0	0	0	0	0	17.500	5.000	22.500	62,50%	7.500	0	0	0	5.000	12.500	34,72%	0
2/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	27	51	D047		0	0	0	0	0	12.500	5.000	17.500	30,70%	12.500	0	0	0	20.000	32.500	57,02%	0
4/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	27	51	D047		12.500	0	0	0	0	0	5.000	17.500	50,36%	12.500	0	0	0	2.500	15.000	43,17%	0
7/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	28	51	D047		0	0	0	0	0	5.000	5.000	10.000	26,85%	7.500	0	0	0	5.000	12.500	33,56%	0
9/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	28	51	D047		0	82.500	0	0	0	0	57.500	150.000	76,73%	0	0	0	0	0	0	0,00%	0
11/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	28	51	D047		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	5.000	0	0	0	0	5.000	58,82%	0
14/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	29	51	D047		5.000	0	0	0	0	7.500	0	12.500	27,17%	12.500	0	0	0	0	12.500	27,17%	0
16/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	29	51	D047		2.500	0	0	0	7.500	2.500	25.000	37.500	58,37%	17.500	0	0	0	5.000	22.500	35,02%	0
18/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	29	51	D047		5.000	0	0	0	0	0	0	5.000	16,39%	25.000	0	0	0	0	25.000	81,97%	0
21/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	30	51	D047		0	0	0	0	5.000	5.000	0	10.000	26,14%	17.500	0	2.500	0	0	20.000	52,29%	0
23/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	30	51	D047		0	0	0	0	0	5.000	0	5.000	9,22%	15.000	0	30.000	0	0	45.000	82,95%	0
24/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	30	51	D047		0	0	0	0	0	15.000	5.000	20.000	14,08%	97.500	0	10.000	0	0	107.500	75,70%	0
25/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	30	51	D047		0	0	0	0	5.000	90.000	0	95.000	38,11%	137.500	0	0	0	0	137.500	55,17%	0
27/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	30	51	D047		0	0	0	0	0	10.000	25.000	35.000	29,29%	67.500	0	0	0	0	67.500	58,49%	0
28/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	31	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	7,84%	52.500	0	0	0	5.000	57.500	90,20%	0
30/7/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	31	51	D047		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	20.000	0	0	0	0	20.000	60,15%	0
1/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	31	51	D047		12.500	0	0	0	0	0	0	12.500	8,61%	107.500	0	0	0	0	107.500	74,01%	0
4/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	32	51	D047		0	0	0	0	0	5.000	0	5.000	6,01%	60.000	0	10.000	0	0	70.000	84,08%	0
6/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	32	51	D047		0	0	0	0	2.500	17.500	2.500	22.500	12,75%	150.000	0	0	0	0	150.000	84,99%	0
8/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	32	51	D047		0	0	0	0	2.500	17.500	0	20.000	5,90%	315.000	0	0	0	0	315.000	92,99%	0
10/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	32	51	D047		0	0	0	0	0	10.000	12.500	22.500	3,91%	465.000	0	0	0	57.500	522.500	90,83%	0
11/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	33	51	D047		0	0	0	0	0	12.500	0	12.500	3,24%	315.000	0	12.500	0	0	327.500	84,84%	0
13/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	33	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	3,62%	97.500	0	10.000	0	15.000	122.500	88,61%	0
15/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	33	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	8,20%	37.500	0	0	0	5.000	42.500	69,67%	0
18/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	34	51	D047		0	0	0	0	0	0	7.500	7.500	5,44%	117.500	0	0	0	5.000	122.500	88,93%	0
19/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	34	51	D047		0	0	0	0	0	12.500	2.500	15.000	8,77%	122.500	0	0	0	12.500	135.000	78,95%	0
20/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	34	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	24,39%	15.000	0	0	0	0	15.000	73,17%	0
22/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	34	51	D047		5.000	0	0	0	0	50.000	27.500	82.500	79,71%	15.000	0	0	0	0	15.000	14,49%	0
25/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	35	51	D047		5.000	0	2.500	0	0	32.500	0	40.000	78,43%	7.500	0	0	0	0	7.500	14,71%	0
27/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	35	51	D047		0	0	0	0	0	7.500	0	7.500	22,90%	15.000	0	0	0	7.500	22.500	68,70%	0
29/8/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	35	51	D047		5.000	0	0	0	0	10.000	0	15.000	34,48%	22.500	0	0	0	0	22.500	51,72%	0
1/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	36	51	D047		0	0	2.500	0	0	5.000	12.500	20.000	11,83%	77.500	0	0	0	27.500	105.000	62,13%	0
3/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	36	51	D047		0	0	0	0	0	15.000	5.000	20.000	15,59%	87.500	0	0	0	0	87.500	68,23%	0
4/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	36	51	D047		0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	6,51%	57.500	0	0	0	0	57.500	74,92%	0
5/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	36	51	D047		5.000	0	5.000	0	0	22.500	0	32.500	18,60%	140.000	0	0	0	0	140.000	80,11%	0
6/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	36	51	D047		0	5.000	0	0	0	0	0	5.000	6,78%	57.500	0	0	0	0	57.500	77,97%	0
8/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	37	51	D047		0	0	0	0	0	15.000	2.500	17.500	33,33%	30.000	0	0	0	0	30.000	57,14%	0
8/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	37	51	D047	TARDE	0	0	0	0	0	15.000	0	15.000	30,15%	27.500	0	0	0	0	27.500	55,28%	0
10/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	37	51	D047		0	0	0	0	0	35.000	30.000	65.000	81,76%	12.500	0	0	0	0	12.500	15,72%	0
10/9/2025	2025	DISTRISODA	ZONA 3	ENGORDE	10.97	37	51	D047	BETA	0	0	0	0	0	0	5.000	5.000	5,62%	20.000	0	0	0	0	20.000	22,47%	0

Ceratium sp.	Gymnodinium sp.	Procentrum sp.	Exuviella sp.	Protopteridinium sp.	Otras Sp. Dinoflagelados	Total Dinoflagelados	% Dinoflagelados	Chlorophytas	% Chlorophytas	Euglenophytas	% Euglenophytas	Chatonella sp.	Heterosigma sp.	Fibrocapsa sp.	Rafidofitas	% Rafidofitas	Cryptomonas sp.	Rhodomonas sp.	Cryptophytas	% Cryptophytas	Total cel/mL	% Total cel/mL
0	0	0	0	0	750	750	3,61%	5.000	24,10%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	20.750	100%
0	500	0	0	500	3.000	4.000	28,57%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	14.000	100%
0	1.000	0	0	0	2.250	3.250	20,63%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	15.750	100%
0	1.750	0	0	0	0	1.750	7,61%	2.500	10,87%	0	0,00%	0	1250	0	1250	5,43%	0	0	0	0,00%	23.000	100%
0	500	1.000	0	0	0	1.500	1,10%	27.500	20,26%	1.750	1,29%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	135.750	100%
0	0	0	0	0	1.000	1.000	2,78%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	36.000	100%
0	0	0	0	0	2.000	2.000	3,51%	5.000	8,77%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	57.000	100%
0	0	500	0	0	1.750	2.250	6,47%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	34.750	100%
0	0	500	0	0	1.000	1.500	4,03%	7.500	20,13%	750	2,01%	0	0	0	0	0,00%	5.000	0	5.000	13,42%	37.250	100%
0	8.250	2.500	0	0	2.750	13.500	6,68%	30.000	14,85%	3.500	1,73%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	202.000	100%
0	1.750	0	0	0	1.750	3.500	41,18%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	8.500	100%
0	7.000	4.250	0	2.250	0	13.500	29,35%	2.500	5,43%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	5.000	0	5.000	10,87%	46.000	100%
0	3.250	0	0	250	500	4.000	6,23%	0	0,00%	250	0,39%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	64.250	100%
0	500	0	0	0	0	500	1,64%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	30.500	100%
0	2.250	0	0	0	1.000	3.250	8,50%	5.000	13,07%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	38.250	100%
0	4.000	0	0	0	250	4.250	7,83%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	54.250	100%
0	3.750	0	0	0	0	3.750	2,64%	10.000	7,04%	750	0,53%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	142.000	100%
0	11.000	750	0	0	0	11.750	4,71%	5.000	2,01%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	249.250	100%
0	500	0	0	0	0	500	0,42%	10.000	8,37%	6.500	5,44%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	119.500	100%
0	0	0	0	0	750	750	1,18%	0	0,00%	500	0,78%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	63.750	100%
0	0	0	0	0	0	0	0,00%	12.500	37,59%	750	2,26%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	33.250	100%
0	1.000	0	0	0	500	1.500	1,03%	12.500	8,61%	1.250	0,86%	0	0	0	0	0,00%	10.000	0	10.000	6,88%	145.250	100%
0	0	500	0	0	2.750	3.250	3,90%	5.000	6,01%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	83.250	100%
0	1.750	2.250	0	0	0	4.000	2,27%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	176.500	100%
0	2.250	1.000	0	500	0	3.750	1,11%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	338.750	100%
0	0	0	0	0	0	0	0,00%	30.000	5,22%	250	0,04%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	575.250	100%
0	0	0	0	0	3.500	3.500	0,91%	42.500	11,01%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	386.000	100%
0	0	0	0	0	750	750	0,54%	10.000	7,23%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	138.250	100%
0	0	250	0	0	750	1.000	1,64%	12.500	20,49%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	61.000	100%
0	0	0	0	0	2.750	2.750	2,00%	5.000	3,63%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	137.750	100%
0	0	0	0	0	1.000	1.000	0,58%	20.000	11,70%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	171.000	100%
0	0	0	0	500	0	500	2,44%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	20.500	100%
0	1.000	0	0	0	0	1.000	0,97%	5.000	4,83%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	103.500	100%
0	750	0	0	0	2.750	3.500	6,86%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	51.000	100%
0	1.000	0	0	0	1.750	2.750	8,40%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	32.750	100%
0	4.250	500	0	0	0	4.750	10,92%	0	0,00%	0	0,00%	0	1250	0	1250	2,87%	0	0	0	0,00%	43.500	100%
0	500	0	0	0	500	1.000	0,59%	42.500	25,15%	500	0,30%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	169.000	100%
0	4.000	0	0	0	1.500	5.500	4,29%	15.000	11,70%	0	0,00%	250	0	0	250	0,19%	0	0	0	0,00%	128.250	100%
0	1.000	250	0	0	500	1.750	2,28%	10.000	13,03%	2.500	3,26%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	76.750	100%
0	1.500	0	0	0	750	2.250	1,29%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	174.750	100%
0	3.000	0	0	0	750	3.750	5,08%	7.500	10,17%	0	0,00%	0	0	0	0	0,00%	0	0	0	0,00%	73.750	100%
0	0	0	0	0	1.750	1.750	3,33%	2.500	4,76%	500	0,95%	0	250	0	250	0,48%	0	0	0	0,00%	52.500	100%
0	2.500	500	0	0	2.750	5.750	11,56%	0	0,00%	0	0,00%	500	500	500	1500	3,02%	0	0	0	0,00%	49.750	100%
0	500	0	0	1.000	0	1.500	1,89%	0	0,00%	0	0,00%	0	0	500	500	0,63%	0	0	0	0,00%	79.500	100%

Anexo 3 conteo de fitoplancton piscina estadia