



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

CARRERA DE BIOLOGIA

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE BIÓLOGA**

TITULO

**ANALISIS DE LA VARIABILIDAD DE PH Y SISTEMAS DE
CARBONATO EN PISCINAS CAMARONERAS EN EL ESTUARIO
DEL RIO COJIMIES**

AUTORA

KAREN NOELIA MACIAS VILELA

TUTOR

ING. RAUL MACIAS

PEDERNALES – ECUADOR

2025

CERTIFICACIÓN DE APROBACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El tribunal evaluador certifica:

Que el trabajo de fin de carrera modalidad Proyecto de Investigación titulado: **Análisis de la variabilidad de pH y sistemas de carbonato en piscinas camaroneras en el esturio del Río Cojimés** realizado y concluido por la Srta. **Macías Vilela Karen Noelia**, 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, 29 de enero de 2025

Para dar testimonio y autenticidad firman:



Ing. Derli Alava
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Carmelo Yoffre Menéndez Cevallos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Edison Leonardo Falcones Molina
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería Agropecuaria 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 **Macias Vilela Karen Noelia**, legalmente matriculado/a en la carrera de Biología período académico 2024-2, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es

Análisis de la variabilidad de (pH) y sistemas de carbonato en piscinas camaroneras en el estuario del Rio Cojimies, cantón Pedernales, provincia Manabí, en el año 2024. 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.

Pedernales, 16 de diciembre de 2024.

Lo certifico,



Ing. Ramon Raúl Macias Chila, Mgs
Docente Tutor(a)
Área: Carrera de Biología

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Por medio de la presente, yo Karen Noelia Macías Vilela declaro que el presente trabajo de titulación "**Análisis de la variabilidad de pH y sistemas de carbonato en piscinas camaroneras en el estuario del Río Cojimíes**" es el resultado de mi esfuerzo académico y de investigación. Todas las actividades relacionadas con el diseño, ejecución, recolección de datos, análisis, e interpretación de los resultados fueron realizadas bajo mi responsabilidad, con la orientación de mis co-tutores Francisco Navarrete Mier y Patricia Castillo-Briceño

Los datos recopilados, así como las conclusiones expuestas en este trabajo, son producto del monitoreo en campo, mediciones in situ y análisis en laboratorio realizados. Los métodos empleados y los resultados obtenidos se describen con total transparencia y se apegan a los principios éticos de la investigación científica.



Karen Noelia Macías Vilela

C.I.: 1314930817

DEDICATORA

A Dios, mi padre celestial por su amor infinito, por permitirme cumplir cada uno de sus propósitos.

A mi ángel en el cielo, mi abuela, mi Mami Esperanza por su amor, su apoyo, por motivarme a ser mejor y ser mi compañía siempre.

A los seres que me dieron la vida, mis maravillosos padres. Edgar Macias y Yanira Vilela, por nunca soltarme, por siempre apoyarme en este proceso de desarrollo profesional y personal.

A mi compañero de vida, mi amado Jahir Gallardo por ser mi soporte en todo momento, por tomar de mi mano y ayudarme avanzar y mejorar siempre.

Y a mi más grande amor, mi pequeño hijo; Santiago Gallardo Macías, por ser mi motor de vida e inspiración cada día.

Este trabajo esta dedicado a ustedes, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi academia de formación a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí – Extensión Pedernales por permitirme formarme profesionalmente, a cada uno de mis maestros por brindarme el conocimiento del saber cada día en el aula de clases.

A mis tutores Patricia y Francisco por abrirme las puertas del saber de la pasión por la ciencia, de nunca dejarme atrás y de compartirme sus conocimientos y experiencias, ha sido una gran satisfacción poder trabajar con tan brillantes profesionales.

A mis compañeros del Team EBIOAC, a Jenny, Roddy y José, por brindarme su amistad y compañerismo desde del día uno, por su valioso tiempo que me brindaron cuando los necesité, sin ustedes tampoco hubiese sido posible esto.

Al profe Raul por el acompañamiento en este proceso de titulación.

A mi grupo de 6/6, Lili, Helen, Emely, Gise y Evelin por su compañerismo y complicidad desde el comienzo de nuestra amistad en las aulas de clases, sin ustedes no hubiese sido tan entusiastamente todo este camino universitario.

Un agradecimiento especial a los dueños de las camaroneras, Don Klever Gallardo y su madre Maria Z, por brindarme la apertura en sus espacios, sin ustedes este proyecto de investigación no se hubiese podido llevarse a cabo.

Y a quienes, con dedicación y amor, me acompañaron en mi crecimiento, asegurándose de que llegara hasta este momento, compartiendo conmigo su tiempo, sabiduría, lágrimas y alegrías sin reservas.

RESUMEN

La presente investigación analiza el sistema de carbonatos en piscinas de cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en el estuario del Río Cojimíes, Ecuador, en el contexto de la acidificación oceánica, un fenómeno asociado al cambio climático que afecta la biodiversidad marina y la productividad acuícola. Dada la importancia económica de la industria camaronera, comprender las condiciones del agua es esencial para mitigar los impactos del cambio climático y fomentar la sostenibilidad.

El estudio se llevó a cabo en dos sitios: Daule, caracterizado por mezcla de agua dulce y salada, y Cojimíes, con mayor influencia marina. Durante tres ciclos de cultivo se midieron in situ pH, temperatura y salinidad, y se analizaron muestras de alcalinidad total en laboratorio. Los datos se procesaron con el software CO2SYS para calcular parámetros como $p\text{CO}_2$, $t\text{CO}_2$ y los índices de saturación de aragonita y calcita. Se realizaron análisis estadísticos para comparar las variaciones entre sitios y ciclos.

Los resultados mostraron que Cojimíes tiene mayor variabilidad en pH (8.42-8.77), salinidad (22.2-30.5 UPS) y temperatura (27.9-29.8 °C), atribuida a factores ambientales. En Daule, los parámetros fueron más estables, con mayor saturación de aragonita (5.13 ΩAr) y calcita (7.94 ΩCa), lo que sugiere un manejo más controlado. La correlación negativa entre pH y $t\text{CO}_2$ en ambos sitios evidencia una interacción entre la variabilidad natural y las prácticas de manejo, destacando la necesidad de optimizar estas últimas para mejorar la estabilidad del sistema. Este estudio proporciona una línea base sobre los parámetros del sistema de carbonatos en sistemas acuícolas.

Palabras claves

Acidificación oceánica, sistema de carbonatos, alcalinidad total, aragonita, calcita, pH, piscinas camaroneras

ABSTRACT

This research analyzes the carbonate system in shrimp farming ponds (*Litopenaeus vannamei*) in the Cojimíes River estuary, Ecuador, within the context of ocean acidification, a climate change-related phenomenon that impacts marine biodiversity and aquaculture productivity. Given the economic importance of the shrimp farming industry, understanding water conditions is essential to mitigate climate change impacts and promote sustainability.

The study was conducted in two locations: Daule, characterized by a mix of freshwater and saltwater, and Cojimíes, with a stronger marine influence. During three cultivation cycles, pH, temperature, and salinity were measured in situ, and total alkalinity samples were analyzed in the laboratory. Data were processed using CO2SYS software to calculate parameters such as $p\text{CO}_2$, $t\text{CO}_2$, and the saturation indices of aragonite and calcite. Statistical analyses were performed to compare variations between locations and cycles.

The results showed that Cojimíes exhibited greater variability in pH (8.42–8.77), salinity (22.2–30.5 PSU), and temperature (27.9–29.8 °C), attributed to environmental factors. In Daule, the parameters were more stable, with higher saturation of aragonite (5.13 ΩAr) and calcite (7.94 ΩCa), suggesting better management practices. The negative correlation between pH and $t\text{CO}_2$ at both sites highlights an interaction between natural variability and management practices, emphasizing the need to optimize the latter to improve system stability. This study provides a baseline for the carbonate system parameters in aquaculture environments.

Keywords

Ocean acidification, carbonate systems, total alkalinity, aragonite, calcite, pH, shrimp ponds.

INDICE DE CONTENIDO

<i>CERTIFICACIÓN DE APROBACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</i>	II
<i>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</i>	III
<i>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</i>	IV
<i>DEDICATORA</i>	V
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	VI
<i>RESUMEN</i>	VII
<i>Palabras claves</i>	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
<i>Keywords</i>	VIII
<i>INDICE DE CONTENIDO</i>	IX
<i>INDICE DE TABLAS</i>	XII
<i>INDICE DE FIGURA</i>	XII
<i>INDICE DE ANEXOS</i>	XIV
<i>CAPITULO 1: CONTEXTUALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN</i>	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.2.1. <i>Identificación de variables</i>	6
1.2.1.1. Variables independientes.....	6
1.2.1.1.1. pH del agua	6
1.2.1.1.2. Salinidad	6
1.2.1.1.3. Temperatura del agua	7
1.2.1.1.4. Alcalinidad total	7
1.2.1.2. Variables dependientes.....	7
1.2.1.2.1. Estado de saturación de aragonita (Ω_{Ar})	7
1.2.1.2.2. Estado de saturación de calcita (Ω_{Cal})	7
1.2.1.2.3. Concentraciones de dióxido de carbono (pCO_2)	7

1.2.2.	Hipótesis.....	8
1.2.3.	Pregunta de investigación.....	8
1.2.4.	Objetivos del trabajo de investigación.....	8
1.2.4.1.	Objetivo General.....	8
1.2.4.2.	Objetivos Específicos.....	8
1.3.	Justificación del proyecto.....	9
1.4.	Marco Teórico.....	10
1.5.	Antecedentes.....	10
1.6.	Bases teóricas.....	12
1.6.1.	Acidificación de los océanos.....	12
1.6.2.	Acidificación en zonas costeras.....	14
1.6.3.	Química del agua de mar.....	15
1.6.4.	Alcalinidad.....	16
1.6.5.	Calcita.....	16
1.6.6.	Aragonita.....	17
1.6.7.	Posibles impactos de la acidificación oceánica en la fauna marina.....	17
1.6.8.	Impacto en crustáceos.....	19
1.7.	Biología del camarón blanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>).....	20
1.8.	Posición taxonómica.....	21
1.9.	Características.....	21
1.10.	Ciclo de vida del camarón.....	22
1.10.1.	Estadios larvales.....	23
1.10.1.1.	Nauplio.....	23
1.10.1.2.	Zoea.....	23
1.10.1.3.	Mysis.....	24
1.10.1.4.	Post-Larva.....	24
1.10.1.5.	Juvenil.....	24
1.11.	Morfología del camarón.....	24
1.12.	Manejo de sistemas de cultivo en camaroneras.....	25
1.12.1.	Alimentación.....	25
1.12.2.	Mantenimiento de la productividad a lo largo del ciclo de cultivo.....	26
1.12.3.	Recambio de agua.....	26
1.13.	Parámetros físicos-químicos en camaroneras.....	27
1.13.1.	pH.....	27
1.13.2.	Salinidad.....	27
1.13.3.	Temperatura.....	28

1.13.4.	Alcalinidad Total (AT).....	28
1.13.5.	Oxigeno disuelto	29
2.	<i>CAPITULO 2: DESARROLLO METODOLOGICO</i>	29
2.1.	Enfoque de la investigación.....	29
2.2.	Diseño de la investigación	30
2.3.	Tipo de investigación, nivel o alcance	31
2.4.	Metodologia	31
2.4.1.	Area de estudio	31
2.4.2.	Fase de campo	32
2.4.2.1.	Recolección de muestras para alcalinidad (AT)	33
2.4.3.	Fase de laboratorio	34
2.4.4.	Población/Muestra	34
2.4.5.	Técnicas de investigación.....	35
3.	<i>CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	36
3.1.	Resultados de métodos y técnicas de investigación utilizadas.....	36
3.2.	Fluctuación de los parametros fisicos quimicos en los estanques de cultivo	37
3.2.1.	pH.....	37
3.2.2.	Salinidad	38
3.2.3.	Temperatura.....	39
3.2.4.	Alcalinidad total.....	40
3.3.	Variación de parámetros químicos asociados a la AO según las fechas de muestreo en camaronerías	41
3.3.1.	pH.....	41
3.3.2.	Alcalinidad Total (AT).....	41
3.3.3.	Presión parcial de CO ₂ (pCO ₂)	42
3.3.4.	Carbono inorgánico disuelto (tCO ₂).....	43
3.3.5.	Calcita	44
3.3.6.	Aragonita	45
3.4.	Análisis comparativo del pH frente a parámetros clave del sistema de carbonatos..	46
3.4.1.	Relación entre pH y alcalinidad total en las camaronerías de Cojimíes y Daule...	46
3.4.2.	Relación entre pH y pCO ₂ en las camaronerías de Cojimíes y Daule	46

3.4.3.	Relación entre pH y tCO ₂ en las camaroneiras de Cojimies y Daule	47
3.4.4.	Relación entre calcita y pH en las camaroneiras de Cojimies y Daule	48
3.4.5.	Relación entre aragonita y pH en las camaroneiras de Cojimies y Daule	49
3.5.	Discusión.....	50
3.6.	<i>Comprobación de hipótesis</i>	54
4.	<i>Conclusiones</i>	57
5.	<i>Recomendaciones</i>	58
6.	<i>Bibliografías</i>	59
7.	<i>Anexos</i>	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen con las medias y desviación estándar de cada uno de los parámetros medidos y calculados (CO2SYS) considerados para este estudio para las diferentes piscinas en Cojimies. Cada letra indica que no hay diferencias significativa entre grupos

Tabla 2. Resumen con las medias y desviación estándar de cada uno de los parámetros medidos y calculados (CO2SYS) considerados para este estudio para las diferentes piscinas en Daule. Cada letra indica que no hay diferencias significativa entre grupos.37

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Esquema del proceso de acidificación oceánica. Autoría propia

Figura 2. El diagrama esquemático del sistema de química del carbono. Autor Admad et al 2023

Figura 3. La reducción en la concentración de iones de carbonato puede complicar la formación y preservación de estructuras de carbonato de calcio.

Figura 4. Ciclo de vida del camarón. Adulto, huevo, nauplio, zoea, mysis, postlarva, pre-juvenil, juvenil.

Figura 5. Partes externas del camarón *Litopenaeus vannamei*

Figura 6. Ubicación geográfica de las camaroneras de Cojimíes y Daule en Ecuador, con detalles ampliados de las áreas específicas de estudio (0°21'51"N, 80°00'01"W). Figura tomada de Google Earth	32
Figura 7. a) Relación entre pH y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre pH y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.	38
Figura 8. a) Relación entre salinidad y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre salinidad y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.	39
Figura 9. a) Relación entre temperatura y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre temperatura y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.	39
Ilustración 10. a) Relación entre AT y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre AT y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule..	41
Figura 11. Tendencia del pH según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule	41
Figura 12. Tendencia de la AT según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule.....	42
Figura 13. Tendencia de la pCO ₂ según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule.....	43
Figura 14. Tendencia de la tCO ₂ según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule.....	43
Figura 15. Tendencia de la Ω calcita según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule.....	44
Figura 16. Tendencia de la Ω aragonita según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule	45
Figura 17. Relación entre el pH y Alcanilidad Total	46
Figura 18. Relación entre pH y pCO ₂	47
Figura 19. Relación entre pH y tCO ₂	48
Figura 20. Relación entre pH y Ω calcita.....	49
Figura 21. Relación entre pH y Ω aragonita	49

INDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Calibración de multiparámetros y medición de parámetros in situ en estanques camaroneros	73
Anexos 2. Filtración de las muestras para Alcalinidad Total	74
Anexos 3. Fijación de la muestra con cloruro de mercurio	74
Anexos 4. Muestras colectadas para análisis Alcalinidad Total (AT)	74
Anexos 5. Equipo titulador para análisis de muestras de AT	75
Anexos 6. Calibración del equipo de titulación y pipeteo de muestras	75
Anexos 7. Proceso de lectura del equipo y resultados de análisis	76

CAPITULO 1: CONTEXTUALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El crecimiento acelerado del dióxido de carbono en la atmósfera está provocando cambios en el clima a una velocidad sin precedentes, lo que tiene impactos en la diversidad de especies a nivel mundial y, en última instancia, en el bienestar de las personas (Pörtner et al., 2022).

El cambio climático global, está teniendo un impacto significativo en los ecosistemas marinos (Nagelkerken et al., 2020). De acuerdo con las proyecciones, se espera que para el año 2100, la temperatura promedio de la superficie de los océanos aumente alrededor de 4 °C en relación con la década de 1990 en el escenario de 8.5 (sin modificaciones), lo que, sumado a los altos niveles de CO₂, también provocará una disminución en el pH de entre 0,3 y 0,5 unidades, fenómeno denominado acidificación de los océanos (Lee et al., 2023).

La acidificación de los océanos (AO) es un problema ambiental que pone en peligro la diversidad de vida marina en todos los océanos del planeta (Figuerola et al., 2021). La AO es provocada por la introducción de carbono de origen antropogénico en el océano, lo que conduce a una disminución en el pH y en los niveles de saturación de los minerales de carbonato de calcio; aragonita (Ω_{Ar}) y calcita (Ω_{Ca}) (Jiang et al., 2019).

A medida que los niveles de CO₂ en la atmósfera continúen subiendo, la cantidad de CO₂ que el océano absorbe también aumentará, lo que resultará en una mayor acidificación debido a la naturaleza logarítmica de la escala de pH, donde una disminución de una unidad en el pH implica un incremento de 10 veces en la acidez, provocando cambios en la química de carbonatos (Gattuso et al., 2015a)

Las química del los carbonatos del agua del mar, incluyen compuestos como la presión parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$), la alcalinidad total (AT), el pH y las concentraciones de carbono inorgánico disuelto (DIC), que abarcan diferentes compuestos como dióxido de carbono, ácido carbónico, iones bicarbonato e iones carbonato (Glandon et al., 2018).

Aunque la acidificación del agua puede deberse en parte a los aportes atmosféricos, las aguas costeras pueden contener niveles de CO_2 superiores a los del océano abierto, lo que indica que no solo la atmósfera es responsable de cambios en la composición de los carbonatos (Wallace et al., 2014); sino que la actividad biológica, la entrada de agua dulce y el flujo de carbono orgánico de la tierra son también factores clave que afectan el sistema de carbonatos en los ecosistemas costeros. (Osburn et al., 2019).

A medida que las condiciones se vuelven más ácidas, la cantidad de iones de carbonato disminuye, lo cual puede causar daños a los seres vivos que requieren carbonato para construir sus esqueletos de carbonato de calcio, como los corales, moluscos, crustáceos y fitoplancton (Fabry et al., 2008a). Los organismos suelen utilizar aragonita o calcita como forma mineral de carbonato de calcio, y la disminución del carbonato da como resultado un estado de saturación de aragonita (Ω_{Ar}) o saturación de calcita (Ω_{Ca}), lo que significa que la formación de esqueletos hechos de aragonita o calcita serán más difíciles de formar (Hurd et al., 2020).

La acidificación de los océanos puede tener impactos en varias especies marinas, tanto aquellas de importancia para la biodiversidad como las que son relevantes para la acuicultura, pudiendo ocasionar así pérdidas económicas (Mangi et al., 2018a). Por ejemplo, se ha comprobado que, en peces como la lubina europea la acidificación de los océanos altera la respuesta fisiológica (Servili et al., 2023a). De igual manera en bivalvos

como *Spisula solidissima* afecta al desarrollo y la fisiología de las larvas (Czaja et al., 2023), en crustáceos se ha encontrado que la capacidad de sobrevivir se ve perjudicada así como el crecimiento, comportamiento, la reproducción, la respuesta inmune y la formación de exoesqueletos de *Scylla serrata* (Thangal et al., 2022). En camarones *Lysmata californica* la exposición a corto plazo a la reducción del pH inducida por CO₂ afecta la mineralización del exoesqueleto y la biofotónica del camarón, con impactos potenciales sobre la crípsis, la defensa física y la evitación de los depredadores (Taylor et al., 2015) mientras que en *Litopenaeus vannamei* la fisiología y procesos metabólicos disminuyen en ambientes de pH reducido (Muralisankar et al., 2021a).

En Ecuador, la industria camaronera es un pilar económico clave, contribuyendo significativamente a las exportaciones y al empleo en las zonas costeras. En 2023, Ecuador exportó aproximadamente 250 millones de libras de camarón, generando ingresos cercanos a los 5,000 millones de dólares, consolidándose como uno de los principales exportadores de *Litopenaeus vannamei* a nivel mundial (CNA, 2023; Viera-Romero et al., 2024). La industria camaronera ha experimentado un notable avance en sus actividades de exportación y producción acuícola (Azüero et al., 2021). Sin embargo, en un escenario de cambio climático y de acidificación oceánica aún no se conocen en su mayoría las consecuencias y desafíos que el sector de la acuicultura tendrá que enfrentar a corto y largo plazo (Froehlich et al., 2018), especialmente en ecosistemas costeros y estuarinos como el de Cojimíes, donde las condiciones locales amplifican los efectos del cambio químico del agua.

Las zonas estuarinas como Cojimíes están sujetas a una alta variabilidad de los parámetros fisicoquímicos debido a la interacción entre agua dulce y salada, así como a la actividad biológica y los aportes de carbono orgánico. Estas condiciones pueden intensificar los impactos de la AO, afectando directamente la química del sistema de

carbonatos y, por ende, la sostenibilidad de los cultivos camaroneros. El monitoreo y análisis de estos sistemas resultan esenciales para identificar los riesgos asociados y desarrollar estrategias de mitigación que aseguren la continuidad de la producción y la estabilidad económica de las comunidades que dependen de esta actividad (Zhang et al., 2024).

Es vital investigar los efectos de esta problemática en especies de alto valor económico, aunque los estudios nacionales centrados en el monitoreo de parámetros vinculados a la AO son aún limitados. Estos estudios son necesarios para evaluar su posible impacto y desarrollar estrategias de mitigación que fortalezcan la capacidad de adaptación de la industria acuícola frente al cambio climático (Castillo-Briceno & Navarrete-Mier, 2015).

En el presente estudio se analiza la dinámica de la variabilidad del pH y sistemas de carbonatos en piscinas camaroneras en el estuario de Cojimíes, y los resultados obtenidos servirán como herramienta base para entender el manejo y estado actual en estos sistemas de cultivo, generando investigación que permitan prever riesgos asociados a la AO.

1.2. Planteamiento del problema

La concentración y exceso de CO₂ atmosférico que es producido por la quema de combustibles fósiles y cambios en el uso del suelo como la agricultura y deforestación, es absorbido por el océano, alterando su composición química. Este proceso, conocido como acidificación oceánica (AO), genera efectos negativos en los ecosistemas marinos y costeros, con implicaciones económicas y ecológicas que afectan de manera directa a la industria camaronera ecuatoriana (Forster et al., 2023). En el contexto de *Litopenaeus vannamei*, la AO puede alterar significativamente los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, la alcalinidad y los niveles de carbonato, provocando un entorno menos

favorable para el crecimiento, la reproducción y la resistencia a enfermedades de los camarones (Muralisankar et al., 2021). Estas condiciones pueden llevar a pérdidas económicas importantes debido a la disminución en la productividad de los estanques camaroneros. Estudios previos han estimado que los costos asociados a la reducción del rendimiento y el aumento de enfermedades podrían alcanzar hasta el 15% de las ganancias anuales de la industria acuícola global (Mangi et al., 2018). Conforme la concentración de este gas continúa aumentando, la acidificación del océano se transforma en un problema cada vez más alarmante y requiere medidas urgentes.

Las especies marinas calcificadoras, como crustáceos, moluscos, corales formadores de arrecifes son vulnerables a la disminución del pH (G. E. Hofmann et al., 2010), provocando un efecto de estrés biológico y fisiológico (Melzner et al., 2020). Considerando que Ecuador se ha consolidado como el segundo exportador de *Litopenaeus vannamei* a escala mundial, después de India y que, además la industria camaronera ecuatoriana no solo tiene récord de exportación, sino que es uno de los sectores que más empleo genera (CNA, 2022), entender los posibles impactos de procesos como la acidificación oceánica en la industria, son de importancia clave para la protección de la soberanía alimentaria del país.

Además de los efectos directos en la producción, la AO impacta la calidad del agua y la biodiversidad local. En ecosistemas como el estuario de Cojimíes, las interacciones entre el agua dulce y salada amplifican las fluctuaciones del pH, afectando a especies claves que contribuyen al equilibrio ecológico. Esto podría resultar en un deterioro general del ecosistema, con consecuencias indirectas como la pérdida de servicios ecosistémicos y el aumento de la vulnerabilidad de las comunidades costeras (Wallace et al., 2014).

Al momento se ha realizado muy pocos estudios analizando la influencia del sistema de carbonatos en el cultivo de camarón, y no se tienen datos sobre los niveles o variaciones del sistema de carbonatos en las piscinas o estanques de cultivo de camarón. Considerando que las piscinas son sistemas dinámicos, es importante entender la variabilidad de los parámetros relacionados al sistema de carbonatos especialmente los efectos que puede tener la acidificación oceánica en este sector en un corto y largo plazo. Por lo cual este estudio se desarrollará con el objetivo de analizar la dinámica de la variabilidad del pH y sistemas de carbonatos que se tienen actualmente en las piscinas del cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*, como una herramienta para comprender el estado actual en este sector de la acuicultura y que servirían de base para estudios futuros de procesos de acidificación oceánica.

1.2.1. Identificación de variables

1.2.1.1. Variables independientes

1.2.1.1.1. pH del agua

El rango óptimo de pH para *Litopenaeus vannamei* se sitúa entre 7.5 y 8.5. Fuera de este rango, es decir, por debajo de 7.5 o por encima de 8.5, el camarón experimenta estrés, lo que afecta su metabolismo y puede aumentar la mortalidad (Boyd & Hanson, 2010).

1.2.1.1.2. Salinidad

Litopenaeus vannamei tolera un rango amplio de salinidad, entre 10 y 45 ppt (partes por mil). Sin embargo, la salinidad óptima para su crecimiento es entre 15 y 25 ppt. Un valor fuera de este rango afecta su supervivencia y crecimiento (Valdez et al., 2008).

1.2.1.1.3. Temperatura del agua

Litopenaeus vannamei es capaz de sobrevivir en un amplio rango de temperaturas que va desde los 15 hasta los 35°C, aunque se considera que las condiciones óptimas para su crecimiento se encuentran entre los 28 y 32°C (Anna & Dinesh, 2021).

1.2.1.1.4. Alcalinidad total

La alcalinidad total en sistemas de cultivo de *Litopenaeus vannamei* se considera esencial para la estabilidad del pH y la salud de los camarones. De acuerdo con Ching (2007), los niveles de alcalinidad óptimos para un crecimiento saludable deben mantenerse por encima de 80 mg/L de CaCO₃, equivalentes a 800 µmol/kg. Este rango asegura un entorno químico adecuado para las funciones metabólicas y reduce el estrés en los camarones.

1.2.1.2. Variables dependientes

1.2.1.2.1. Estado de saturación de aragonita (Ω_{Ar})

Valores por encima de 1 indican que el agua está sobresaturada y es propicia para la calcificación. Cuando este valor cae por debajo de 1, la disolución de carbonato se vuelve más probable que afecte negativamente a los organismos que dependen de aragonita para sus estructuras esqueléticas (CIGoM, 2023).

1.2.1.2.2. Estado de saturación de calcita (Ω_{Cal})

Similar a la Ω aragonita, los valores por encima de 1 son ideales para la formación de esqueletos. Cuando los valores caen por debajo de 1, la calcita se disuelve, impactando a especies que dependen de ella (Orr et al., 2005).

1.2.1.2.3. Concentraciones de dióxido de carbono (pCO₂)

En cultivos de camarón, se considera que las concentraciones de pCO₂ deben mantenerse entre 100 y 300 µatm para evitar problemas fisiológicos en los camarones (Boyd & Tucker, 1998).

1.2.2. Hipótesis

H0: Los cultivos de camarones en zonas estuarino-costeras del estuario de Cojimies no presentan condiciones de química de carbonatos altamente variables, sin alcanzar niveles comparables a los escenarios de acidificación oceánica estimados para fin de siglo.

HA: Los cultivos de camarones en zonas estuarino-costeras del estuario de Cojimies presentan condiciones de química de carbonatos altamente variables, alcanzando niveles comparables a los escenarios de acidificación oceánica estimados para fin de siglo.

1.2.3. Pregunta de investigación

¿Cómo fluctúan los parámetros de pH, salinidad, temperatura, alcalinidad total y demás parámetros relativos a la química de carbonatos a lo largo de un ciclo de cultivo en un estanque camaronero?

1.2.4. Objetivos del trabajo de investigación

1.2.4.1. Objetivo General

Caracterizar la variabilidad de pH y sistemas de carbonatos en piscinas camaroneras en el estuario del Río Cojimies.

1.2.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar como fluctúan los parámetros de pH, salinidad, temperatura en los estanques camaroneros.
- Analizar los sistemas de carbonatos mediante el análisis de alcalinidad total y su relación in situ con elementos del sistema.
- Analizar las fluctuaciones de los parámetros químicos asociados a la AO en los estanques camaroneros.

1.3. Justificación del proyecto

La investigación sobre la variabilidad del pH y los sistemas de carbonatos en piscinas camaroneras del estuario de Cojimíes resulta de gran relevancia, dada la creciente amenaza que representa la AO para los ecosistemas marinos y, en particular, para la industria acuícola. Ecuador, como uno de los principales productores y exportadores de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), se encuentra en una posición de vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático, los cuales podrían afectar de manera directa no solo a la producción camaronera, sino también verse afectada la economía.

La escasez de estudios nacionales enfocados en la relación entre los sistemas de carbonatos y la producción camaronera en Ecuador subraya la necesidad de investigación como la presente. Este estudio ofrece una perspectiva innovadora y necesaria para comprender las fluctuaciones de parámetros cruciales, como el pH, salinidad, temperatura, la alcalinidad y las concentraciones de dióxido de carbono en los estanques camaroneros. Al anticipar los efectos potenciales de la AO en estos sistemas de cultivo, la investigación podrá contribuir a la implementación de medidas que aseguren la sostenibilidad en esta industria el cual es un sector económico clave para Ecuador.

La industria camaronera ecuatoriana no solo genera ingresos significativos por exportación, sino que también es un pilar en la generación de empleo en las zonas costeras del país. Los resultados de esta investigación proporcionarán información clave para la toma de decisiones dentro del sistema garantizando la continuidad de la producción camaronera y el bienestar social de las comunidades que dependen de ella.

Sin embargo, a nivel práctico, esta investigación ayudará a identificar las variables críticas que influyen en la calidad del agua y el crecimiento del camarón *Litopenaeus vannamei* en condiciones de acidificación. Los datos obtenidos permitirán optimizar las estrategias de manejo en los estanques camaroneros, asegurando que las condiciones de cultivo sean las más adecuadas para minimizar los impactos negativos del cambio climático. Además, los resultados podrían ser utilizados para desarrollar medidas de adaptación que fortalezcan la capacidad de la industria para enfrentar los retos ambientales a corto y largo plazo, protegiendo así uno de los sectores más rentables del país.

Este estudio llenará un vacío significativo en la literatura científica sobre los efectos de la AO en la acuicultura, especialmente en ecosistemas estuarinos. Actualmente, existen pocos estudios que analicen la interacción entre los sistemas de carbonatos y el

cultivo de camarón en Ecuador, lo que convierte esta investigación en un aporte crucial para ampliar el conocimiento científico en esta área. Al abordar los impactos del cambio climático en un sector económico tan importante, la investigación no solo contribuirá al campo de la acuicultura, sino también a los estudios relacionados con la oceanografía costera y el monitoreo ambiental en zonas vulnerables.

Metodológicamente, este estudio emplea una combinación de técnicas de medición in situ y análisis químicos avanzados que permiten evaluar con precisión la dinámica de los sistemas de carbonatos en las piscinas camaroneras. Esta aproximación metodológica puede servir como un modelo replicable en otros sistemas de cultivo o en ecosistemas similares. Además, los resultados sentarán las bases para futuros estudios sobre mitigación y adaptación frente a la acidificación oceánica, ofreciendo herramientas útiles para investigadores y gestores en la implementación de estrategias que promuevan la sostenibilidad de la acuicultura frente a los desafíos ambientales.

1.4. Marco Teórico

1.5. Antecedentes

El océano absorbe el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera lo que provoca cambios en el sistema de la química de carbonatos, siendo especialmente evidente en la reducción del pH oceánico también llamada acidificación de los océanos (Sabine et al., 2002). Los impactos de la acidificación en los ecosistemas marinos están siendo estudiados a nivel global y es probable que, debido a los cambios en el pH del agua de mar ciertos organismos como peces, moluscos, crustáceos, corales formadores de arrecifes, sean vulnerables presentando alteraciones en procesos de calcificación, crecimiento, supervivencia ejes inmunitarios y comportamentales (G. Hofmann et al., 2010).

Por ejemplo, en larvas de bacalao del Atlántico, la exposición extrema de CO₂ provoca daños letales a graves en sus órganos internos y el daño aumenta con la concentración de CO₂, la acidificación de los océanos tiene el potencial de aumentar las tasas de mortalidad natural, afectando las poblaciones de peces (Frommel et al., 2012). Por otro lado, en crustáceos juveniles de langosta europea *Homarus gammarus* las condiciones de acidificación oceánica desatan una mayor mortalidad, reducción en su metabolismo, afectaciones en la adquisición de alimentos (Small et al., 2016). Además se

ha demostrado que las tolerancias fisiológicas durante la etapa larvaria pueden ser diferentes a la de la etapa juvenil y adulto (Peteiro et al., 2018).

Estudios realizados con camarones *Pandalus borealis* expuestos a condiciones de acidificación oceánica encontraron que, al finalizar las tres semanas de experimentación, la calidad organoléptica medida con un panel de degustadores era menor bajo condiciones de pH reducido (Dupont et al., 2014). Por otro lado, trabajos de investigación realizados con *Litopenaeus vannamei* a nivel local indican que los sistemas de larvicultura presentan las fluctuaciones diarias en algunos de los parámetros asociados a la química de carbonatos, los cuales podrían tener incidencia en el estado de salud de los organismos de cultivo (Briones y Mogro, 2022).

En postlarvas (PL) de camarón *Penaeus vannamei*, en condiciones impulsadas por CO₂ podrían estar asociadas a impactos negativos en la supervivencia, el crecimiento, el índice de alimentación, los componentes bioquímicos, la quitina, los minerales (Na, K y Ca), y además a la disminución de las poblaciones de hemocitos (Muralisankar et al., 2021b). Por lo tanto, se estima que la acidificación oceánica no solo tiene efectos en especies de interés para la biodiversidad, también podría afectar a especies de interés para la acuicultura y por lo tanto podría generar pérdidas económicas de importancia (Mangi et al., 2018b).

Un estudio evaluó el impacto de la acidificación oceánica (OA) en la capacidad reproductiva de la ostra oriental (*Crassostrea virginica*) en la zona costera de EE.UU, se investigaron los efectos de niveles moderados (pH 7,5) y severos (pH 7,1 y 6,7) de OA en la gametogénesis, fertilización y desarrollo larval. Tras cinco semanas, se observó que la acidificación moderada no afectó significativamente la reproducción, mientras que la acidificación severa retrasó o inhibió la gametogénesis y el éxito de la fertilización. El estudio concluye que, aunque las ostras toleran niveles moderados de OA, los niveles severos amenazan su sostenibilidad y los ecosistemas dependientes (Boulais et al., 2017). La investigación sobre los efectos de la acidificación oceánica en las zonas costeras ha revelado que, aunque estas áreas no experimentan una acidificación progresiva como en el océano abierto, están más propensas a episodios frecuentes y severos de acidificación (Gruber et al., 2012). Estas fluctuaciones en el pH pueden intensificarse debido a la mezcla de aguas dulces y saladas en los estuarios, lo que afecta directamente la composición química de los estanques camaroneros, exacerbando los riesgos para la salud de los camarones cultivados (Feely et al., 2010). Por lo tanto, es vital continuar con el

monitoreo de los sistemas de producción acuícola para desarrollar estrategias de adaptación que minimicen los efectos adversos de la acidificación en el sector productivo.

1.6. Bases teóricas

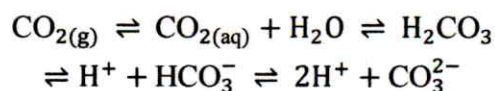
1.6.1. Acidificación de los océanos

La acidificación oceánica se refiere a los cambios químicos que experimentan los océanos como consecuencia de la absorción de CO₂ de la atmósfera (Jagers et al., 2019). Este proceso ocurre cuando el exceso de dióxido de carbono (CO₂) se disuelve en la superficie oceánica, alterando la composición química del agua, en efecto, se trata de un cambio químico impulsado principalmente por la hipercapnia en el agua (Guiney & Mucci, 2024).

La causa más común de este fenómeno proviene de las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, la producción de cemento y el cambio en el uso del suelo, que liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera (Ridge & McKinley, 2021).

Desde el inicio de la Revolución Industrial en el siglo XVIII, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de origen humano han aumentado significativamente debido a la mayor utilización de combustibles fósiles. Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, que rondaban las 280 ppm antes de la era industrial, han aumentado hasta aproximadamente 400 ppm en los últimos 250 años. Según proyecciones, para finales de este siglo, las concentraciones podrían situarse entre 580 ppm y 1000 ppm, dependiendo de la efectividad de las políticas adoptadas para reducir las emisiones de CO₂ (Stocker et al., 2013)(Hausfather & Peters, 2020).

El aumento sin precedentes en las emisiones de CO₂ ha generado gran preocupación a nivel global sobre el futuro de los ecosistemas marinos, ya que los océanos absorberán una mayor cantidad de CO₂ atmosférico. Este proceso provoca una disminución del pH en el agua de mar, fenómeno conocido como acidificación oceánica, que ocurre como resultado de una serie de reacciones químicas (Caldeira & Wickett, 2005).



Cuando el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua de mar, genera ácido carbónico (H₂CO₃). Este compuesto al ser inestable en el medio marino se disocia y libera iones de hidrógeno (H⁺) y de bicarbonato (HCO₃⁻), generando una disminución de pH, lo que a

su vez afectando la estabilidad de los carbonatos en el medio que se disocian en su forma iónica (CO_3^{2-}) (Stocker et al., 2013).

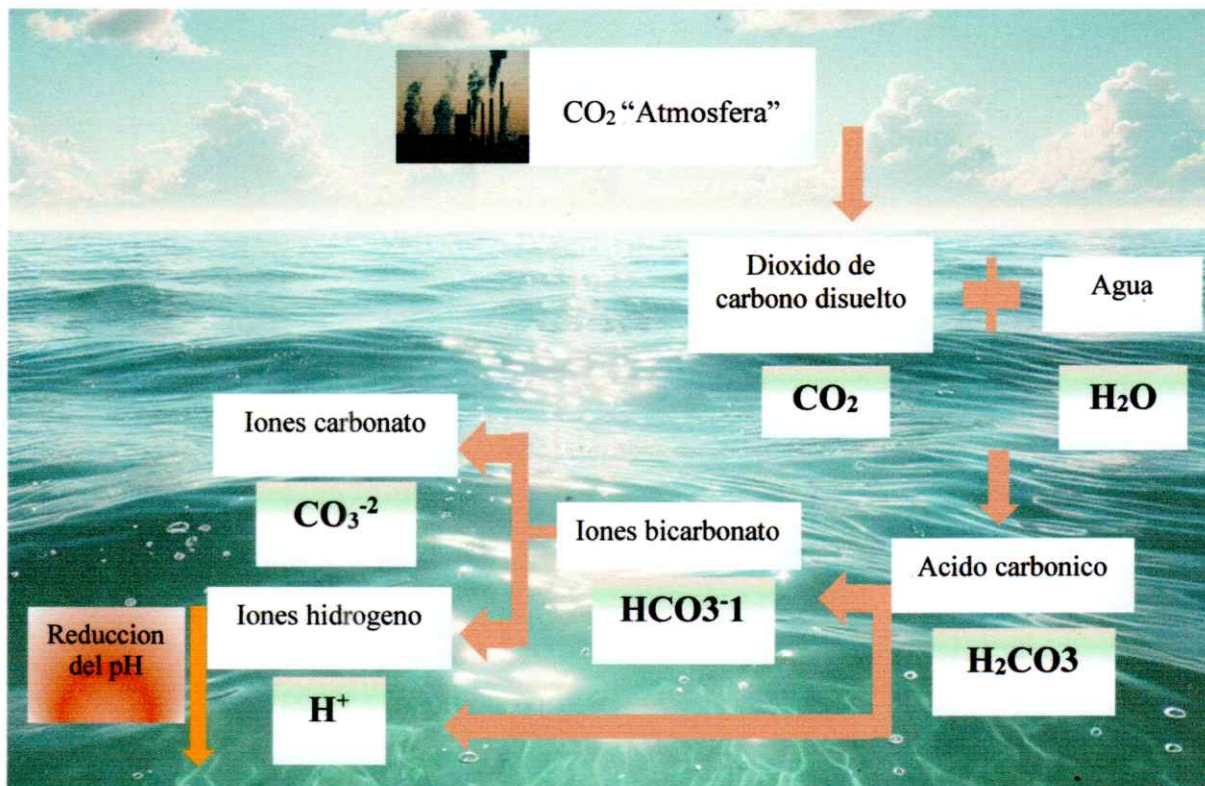


Figura 1. Esquema del proceso de acidificación oceánica. Autoría propia

Desde la época preindustrial, el pH promedio del agua de mar ha disminuido en aproximadamente 0,1 unidades, y dependiendo de los niveles de emisiones de CO_2 , se espera que para finales de este siglo el pH descienda aún más, con reducciones estimadas de alrededor de 0,15 , 0,20 y hasta 0,30 unidades (Stocker et al., 2013).

Para el año 2100, se estima que la concentración de carbonato (CO_3^{2-}) en el océano disminuirá alrededor del 50%, lo que resultará en una reducción en el estado de saturación de carbonatos (Ω), este descenso afectará significativamente la capacidad del agua de mar para mantener el carbonato de calcio (CaCO_3), un componente esencial en las conchas y esqueletos de muchos organismos marinos (Hu et al., 2024). Debido a esta disminución, se prevé que las tasas de formación de carbonato de calcio disminuirán, mientras que las tasas de disolución aumentarán, comprometiendo la supervivencia de especies calcificadoras (Mitchell et al., 2023).

1.6.2. Acidificación en zonas costeras

La acidificación en ecosistemas costeros presenta características distintas en comparación con el océano abierto debido a la compleja interacción de factores biogeoquímicos locales. En los sistemas costeros, los niveles de dióxido de carbono (CO_2) y la alcalinidad pueden fluctuar significativamente a lo largo del día y de las estaciones debido a procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición de materia orgánica y la entrada de agua dulce rica en nutrientes, esto genera variaciones importantes en el pH y en el estado de saturación de los minerales de carbonato, impactando los organismos calcificadores (Lemasson et al., 2019).

La entrada de agua dulce de ríos, rica en nutrientes y con pH generalmente más bajo, amplifica estas fluctuaciones, aumentando el riesgo de episodios de baja saturación de carbonato, lo que no ocurre con tanta frecuencia en el océano abierto (Savoie et al., 2022).

El océano abierto, en contraste, está caracterizado por una química más estable y homogénea, donde los cambios en la acidez se distribuyen de manera más uniforme y gradual, aunque también se ven afectados por la absorción de CO_2 antropogénico a largo plazo (Gattuso et al., 2015b). Sin embargo, los sistemas costeros experimentan una acidificación más intensa y localizada debido a la influencia directa de actividades humanas como la descarga de aguas residuales, la agricultura y la deforestación, que generan un aumento de nutrientes y, en consecuencia, del CO_2 producido por la descomposición (Hall-Spencer & Harvey, 2019).

Además, los ecosistemas costeros albergan una mayor diversidad de hábitats y especies, muchos de los cuales son sensibles a los cambios bruscos de pH. La acidificación en estos entornos puede afectar negativamente a especies que dependen de la calcita y la aragonita para construir sus esqueletos o conchas, como los moluscos, los corales de aguas someras y las algas calcáreas (Feely et al., 2010). La variabilidad estacional y diaria del pH en estas áreas hace que estos organismos estén en riesgo continuo de exposición a condiciones de sub-saturación de carbonato, lo que debilita sus estructuras y aumenta su vulnerabilidad frente a otros factores ambientales (Savoie et al., 2022).

Estos cambios también alteran las interacciones ecológicas y la disponibilidad de hábitats en los ecosistemas costeros, afectando a las comunidades bentónicas y a especies comerciales de importancia, como los crustáceos y peces juveniles que dependen de estos hábitats para su desarrollo temprano.

1.6.3. Química del agua de mar

El océano absorbe aproximadamente una cuarta parte de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) producidas por actividades humanas, esta absorción de CO_2 afecta el estado de saturación de minerales como el carbonato de calcio y disminuye el pH del agua de mar, un fenómeno conocido como acidificación oceánica (Doney et al., 2009). El intercambio de CO_2 entre la atmósfera y el océano, junto con las implicaciones biogeoquímicas de este proceso, están controlados por una serie de procesos y parámetros de equilibrio químico, conocidos colectivamente como el sistema de carbonato marino (Figura 2) (Humphreys et al., 2022).

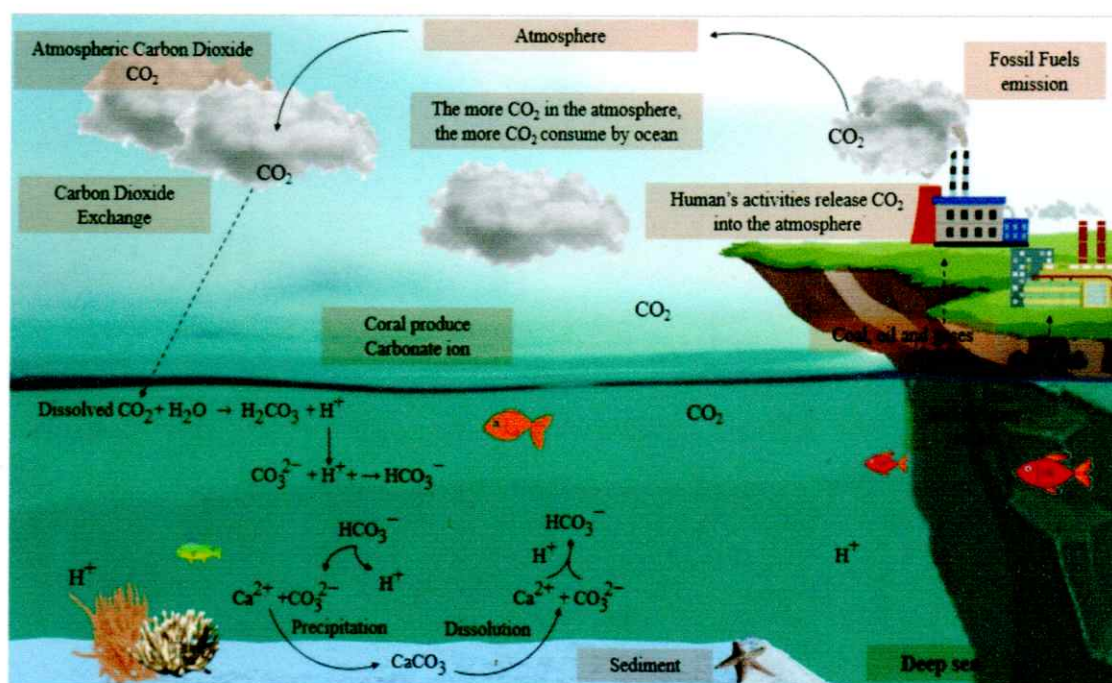
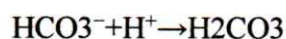


Figura 2. El diagrama esquemático del sistema de química del carbono. Autor Admad et al 2023

Existen cuatro parámetros principales para caracterizar el sistema de carbonatos en el océano: la alcalinidad total (TA), el pH, el carbono inorgánico disuelto total (DIC) y la presión parcial de dióxido de carbono (pCO_2).

Uno de los parámetros cuantitativos más frecuentemente empleados es la AT, que se define como una medida química de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, actuando como un amortiguador. De acuerdo con Nand y Ellwood, la alcalinidad del agua de mar se describe como la cantidad de moles de iones de hidrógeno requeridos para transformar el bicarbonato en ácido carbónico (Ahmad et al., s. f.), y se puede expresar mediante la siguiente fórmula.



1.6.4. Alcalinidad

La alcalinidad total (AT) representa una variable clave de la calidad del agua, esencial para la productividad de los ecosistemas acuáticos, la producción en acuicultura, el suministro de agua, y los procesos de tratamiento de agua potable y aguas residuales. Según Dickson (Dickson et al., 2003), la AT en una muestra de agua de mar se define como el número de moles de iones de hidrógeno que corresponde al excedente de aceptores de protones en relación con los donantes de protones en 1 kg de muestra (Seelmann et al., 2019).

La alcalinidad es un parámetro químico fundamental para calcular las concentraciones de las especies que componen el sistema de bicarbonato en el agua de mar, como CO_3^{2-} , HCO_3^- , H_2CO_3 y CO_2 (Anes et al., 2018). Por lo tanto, la alcalinidad se puede expresar mediante la ecuación:

$$\text{Alkalinity} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

La alcalinidad total (AT) puede verse influenciada principalmente por procesos como la precipitación y la evaporación en la superficie del mar (Fry et al., 2015). Otros factores que pueden modificar la AT en áreas marinas específicas incluyen la descarga de agua subterránea, el flujo de ríos y la disolución de minerales de carbonato, además del ciclo de la materia orgánica, cuya intensidad está regulada por la esorrentía y la alcalinidad del agua fluvial (Broullón et al., 2019). La medición de la AT se ha vuelto común y rutinaria en la evaluación estándar de la calidad del agua en diversos entornos, como océanos, mares y sistemas de tratamiento de agua, ya que los niveles de carbonato, bicarbonato e hidróxido sirven como indicadores de la concentración de estos componentes (Hassan Omer, 2020).

1.6.5. Calcita

La calcita, una forma mineral de carbonato de calcio (CaCO_3), es fundamental en la construcción de estructuras esqueléticas de diversos organismos marinos. Este mineral se distingue por su estabilidad en ambientes con mayor acidez en comparación con aragonita, lo cual permite su precipitación y sostenibilidad en el océano (Guiney & Mucci, 2024). Para que la calcita precipite de manera eficiente y favorezca la calcificación, su estado de saturación, representado por calcita, debe ser superior a 1, lo cual indica una sobresaturación en el agua de mar y favorece la formación de estructuras sólidas. En

condiciones donde calcita es inferior a 1, la calcita tiende a disolverse, lo que afecta la calcificación en organismos como moluscos y corales (Conci et al., 2024).

Sin embargo, los impactos de la acidificación oceánica, producida por el aumento de CO₂ en la atmósfera, han reducido los niveles de calcita, amenazando la estabilidad de estos organismos y comprometiendo la formación de estructuras de carbonato en los océanos. Además, factores ambientales como la temperatura y la concentración de iones de calcio y carbonato en el agua también influyen en la saturación de calcita, acentuando los desafíos que enfrentan los organismos calcificadores ante el cambio climático (Hare et al., 2020).

1.6.6. Aragonita

La aragonita es otra forma mineral de CaCO₃ que es más soluble que la calcita y se encuentra comúnmente en los esqueletos de corales y moluscos. Su mayor solubilidad significa que es más vulnerable a la disolución en condiciones de acidificación, un problema exacerbado en los océanos actuales (Conci et al., 2024). Para que la aragonita se mantenga estable y permita la calcificación, necesita que su estado de saturación (Ω_{Ar}) esté por encima de 1, lo cual indica sobresaturación. Este valor es crítico porque, al disminuir por debajo de 1, la aragonita comienza a disolverse, afectando directamente la capacidad de estos organismos para construir sus estructuras (Stolarski et al., 2020). Este problema es particularmente relevante en zonas de arrecifes donde la acidificación reduce la concentración de iones de carbonato, disminuyendo la saturación de Ω aragonita y limitando su precipitación. Estudios recientes sugieren que, a medida que los niveles de CO₂ aumentan en la atmósfera y se absorben en los océanos, la disminución en aragonita no solo compromete los ecosistemas marinos, sino que también podría llevar a la erosión de los arrecifes de coral en los próximos siglos (Hohn & Reymond, 2019).

1.6.7. Posibles impactos de la acidificación oceánica en la fauna marina

Con el pronóstico de una acidificación acelerada de los océanos en el futuro, los científicos marinos expresan gran preocupación por los posibles efectos de este fenómeno en los organismos marinos. Los organismos que construyen estructuras calcáreas, conocidos como calcificadores marinos, se consideran especialmente vulnerables, ya que se anticipa que la reducción en la saturación de carbonatos del agua de mar (Ω) dificultará sus procesos de calcificación (Orr et al., 2005). Asimismo, el agua de mar acidificada se considera "corrosiva" y puede provocar la disolución de los minerales de carbonato de calcio (CaCO₃) (Fabry et al., 2008b) (Figura 3) (NOAA, 2024).

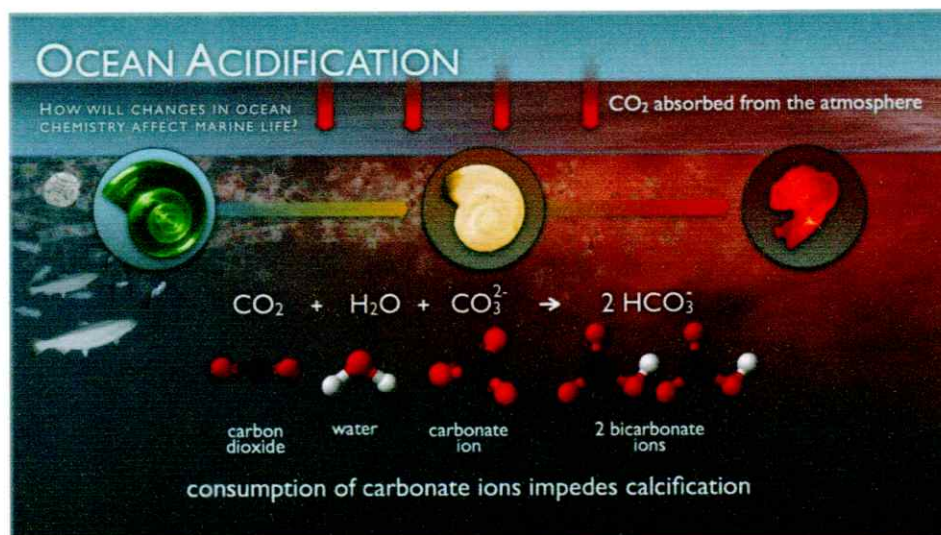


Figura 3. La reducción en la concentración de iones de carbonato puede complicar la formación y preservación de estructuras de carbonato de calcio.

La capacidad de los organismos calcificadores marinos para formar estructuras calcáreas sólidas y funcionales es crucial para su protección, crecimiento y supervivencia. Estas estructuras, como conchas y esqueletos, son esenciales para su bienestar físico (Leung et al., 2022). Sin embargo, la acidificación de los océanos puede ralentizar este proceso de calcificación, lo que reduce las posibilidades de supervivencia de estos organismos. Dado que los calcificadores, como cocolitóforos, algas coralinas, corales, moluscos, equinodermos y crustáceos, desempeñan roles vitales en los ecosistemas marinos, su declive afectaría gravemente la dinámica trófica, los ciclos geoquímicos y la formación de hábitats (M. Wang et al., 2018).

La acidificación oceánica también tiene efectos adversos significativos en las larvas de erizo de mar, disminuyendo la extensión de sus brazos y comprometiendo su capacidad de alimentación y movilidad, factores esenciales para su supervivencia (Liittschwager, 2010). Además, en condiciones de mayor acidez, estas larvas presentan deformidades en sus estructuras calcáreas, lo que las hace más vulnerables a los depredadores y reduce drásticamente sus tasas de supervivencia (Liittschwager, 2010). Por ejemplo, en la especie *Arbacia lixula*, se ha observado que las larvas provenientes de zonas con afloramientos naturales de CO₂ muestran alteraciones en su desarrollo y morfología bajo condiciones de pH reducido (Sepúlveda-Rodríguez, J. 2022). De manera similar, estudios en *Loxechinus albus*, conocido como erizo rojo, indican que la

disminución del pH y el aumento de la temperatura del océano pueden afectar su distribución geográfica y supervivencia, lo que sugiere que las larvas de esta especie podrían ser altamente vulnerables a los cambios químicos en el agua (CEAZA, 2019). Asimismo, investigaciones realizadas en *Psammechinus miliaris* han demostrado que, bajo condiciones de mayor acidez, las larvas desarrollan esqueletos más pequeños y delgados, comprometiendo su capacidad de defensa y, en última instancia, su supervivencia (Iglesias & Suárez, 2010).

La acidificación de los océanos también impacta a los organismos que no forman estructuras calcáreas. Estos organismos deben ajustar su equilibrio interno ácido-base para adaptarse a los cambios químicos en el agua de mar, lo cual puede desviar energía de funciones vitales como el metabolismo, la reproducción y la percepción del entorno (The Ocean Foundation, 2010).

En este estudio se examina también el impacto en los camarones a fin de comprender los posibles efectos de las condiciones cambiantes en los océanos sobre esta especie nativa del Ecuador, relevante como parte de la cadena trófica y de alta importancia económica a nivel nacional y global.

1.6.8. Impacto en crustáceos

Los impactos de la AO en los crustáceos abarcan desde alteraciones en su desarrollo y fisiología hasta problemas en su capacidad para regular el equilibrio ácido-base. Por ejemplo, en aguas templadas, estudios sobre el camarón boreal (*Pandalus borealis*) han evidenciado que la disminución del pH del agua de mar puede alterar su fisiología y comportamiento, comprometiendo su capacidad de supervivencia y reproducción (UICN, 2017). En regiones de aguas frías, investigaciones centradas en el camarón del Atlántico norte (*Crangon crangon*) indican que la acidificación reduce su tasa de crecimiento y debilita su exoesqueleto, aumentando su vulnerabilidad frente a depredadores y enfermedades (Sepúlveda-Rodríguez, J. 2022). Asimismo, en ecosistemas de aguas cálidas, se ha observado que el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) experimenta estrés fisiológico bajo condiciones de mayor acidez, lo que puede afectar su desarrollo y eficiencia en la alimentación (CEAZA, 2019).

En los camarones (*Macrobrachium rosenbergii*) uno de los efectos más preocupantes de la AO es su impacto en el desarrollo temprano y el crecimiento. En el langostino gigante de agua dulce (*Macrobrachium rosenbergii*) se demostró que la

exposición a niveles de pH más bajos afecta negativamente el crecimiento y desarrollo larvario lo que podría reducir las tasas de supervivencia en etapas críticas de vida (Liew et al., 2022).

En camarones del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) especie ampliamente cultivada a escala global, se han reportado alteraciones en su fisiología, histología y genoma bajo condiciones de AO, con consecuencias importantes en la salud general de los camarones (Muralisankar et al., 2021b).

Otro aspecto crítico es el debilitamiento del exoesqueleto, una estructura esencial para la defensa y movilidad de los camarones boreal rosado (*Pandalus gurneyi*) (Taylor et al., 2024) evidenciaron que la combinación de AO y el calentamiento oceánico altera la resistencia de la armadura y afecta negativamente el comportamiento de escape de los camarones boreal rosado (*Pandalus gurneyi*). Esto no solo los hace más vulnerables a los depredadores, sino que también podría tener implicaciones directas en su capacidad de supervivencia en entornos naturales.

Un componente clave en la respuesta de los camarones a la AO es su capacidad para regular el equilibrio ácido-base, una función esencial para mantener la homeostasis interna en condiciones adversas. En el cangrejo de porcelana intermareal (*Petrolisthes cinctipes*) se ha propuesto que la afectación por AO durante sus primeras etapas de vida afectaría el metabolismo y el balance energético. (Carter et al., 2013), este desequilibrio ácido-base no solo puede reducir la eficiencia energética, sino que también podría limitar su capacidad para adaptarse a cambios ambientales futuros. Esto sugiere que otros crustáceos, como el camarón del Pacífico, podrían enfrentar desafíos similares, como se ha propuesto para especies de camarones de aguas frías. En especies de camarones del Norte (*Pandalus borealis*, *Pandalus montagui*), se estima que aunque poseen mecanismos de ajuste de uso de energía para la regulación interna que podría contrarrestar parcialmente los efectos de la AO, esto es costoso en términos metabólicos, dejando menos recursos disponibles para el crecimiento, la reproducción y las respuestas a otros desafíos ambientales (Alianza del Observatorio de Acidificación Oceánica, 2023).

1.7. Biología del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)

El cultivo de camarones marinos en estanques se ha consolidado como una alternativa relevante, especialmente en especies del género *Litopenaeus*. Entre estas, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* destacan por su alto rendimiento.

Tradicionalmente, estos camarones eran capturados en su etapa postlarval o juvenil, durante su migración hacia aguas estuarinas, y posteriormente se criaban en estanques hasta alcanzar tallas comerciales (Chamberlain, 2010). Actualmente, *Litopenaeus vannamei* también se produce en laboratorios especializados en larvicultura, lo que garantiza un suministro continuo y controlado para su cultivo.

1.8. Posición taxonómica

Reino: Animal

Sub-reino: Metazoarios

Rama 3: Enterozoarios

División 13: Animales bilaterales

Phylum: Artrópodos

Sub-Phylum: Mandibulata

Clase: Crustáceos

Sub-clase: Malacostracos

Super Orden: Eucarida

Orden: Decápoda

Sub orden: Natantia

Sección: Penaeidae

Familia: Penaeido

Género: *Litopenaeus*

Especie: *Litopenaeus vannamei*

Nombre Común: Camarón Blanco (Cano et al., 2022)

1.9. Características

El camarón del género *Litopenaeus* se distingue por habitar principalmente en estuarios o áreas influenciadas por este tipo de ecosistemas. Estos entornos están sujetos a variaciones en la temperatura y salinidad debido a factores como las lluvias y el aporte de agua dulce de los ríos, lo que hace que estos camarones toleren una amplia gama de condiciones físico-químicas (Gaxiola & Rodríguez-Almaraz, 2017). Su alimentación se basa en plantas y organismos presentes en el medio donde viven, en términos generales, los camarones tienen una dieta de tipo omnívoro, lo que significa que consumen una variedad de alimentos, incluyendo algas, restos de materia orgánica, arena y diversos organismos bentónicos (Pineda, 1995). Durante las primeras etapas de su vida, su dieta se compone principalmente de plancton, mientras que, a medida que crecen, su

alimentación se adapta al comportamiento bentónico que desarrollan, siendo omnívoros carroñeros (Treece et al 1993).

1.10. Ciclo de vida del camarón

Los camarones del género *Litopenaeus* tienen un ciclo de vida complejo que se extiende aproximadamente 18 meses, comenzando como huevos y pasando por diversas etapas larvales (nauplio, zoea y mysis) hasta llegar a la fase de postlarva, juvenil y finalmente adulta (Torres, 1991). Este ciclo puede dividirse en dos fases principales: marina y estuarina (Morales, 1990). La reproducción ocurre en aguas profundas, donde el macho transfiere a la hembra un paquete de esperma que fertiliza los huevos durante la puesta. Las hembras grávidas son fácilmente identificables por sus ovarios verdes visibles a través del caparazón (Van Olst y Carlberg, 1972).

Tras la fecundación, los huevos se desarrollan a través de los estadios larvales de nauplio, zoea y mysis. Una vez que alcanzan el estado de postlarva, adquieren una forma similar a la de un camarón adulto y migran hacia las áreas estuarinas, con condiciones de menor salinidad, temperaturas más altas, mayor disponibilidad de alimento y protección frente a los depredadores. En este ambiente, las postlarvas experimentan un crecimiento acelerado (Morales, 1990).

Durante 3 a 4 meses, las postlarvas crecen en los estuarios, pasando por sucesivas mudas hasta convertirse en juveniles. Posteriormente, migran hacia el mar, donde el ritmo de crecimiento se incrementa notablemente. Las hembras, que salen de los estuarios siendo sexualmente inmaduras, alcanzan la madurez en los campos de apareamiento ubicados a profundidades de entre 12 y 18 metros, mientras que los machos maduran antes (Figura 4) (Castillo y Hernández 2011). El apareamiento ocurre cuando la hembra, tras mudar su exoesqueleto, presenta un caparazón blando, mientras que el macho conserva un exoesqueleto endurecido. El desove tiene lugar en temporadas cálidas, y las hembras pueden producir entre 200,000 y 500,000 huevos por desove, con evidencia de que pueden desovar en múltiples ocasiones. La vida promedio de un camarón es de alrededor de 12 meses, aunque algunos individuos pueden llegar a vivir hasta dos años (Morales, 1990).

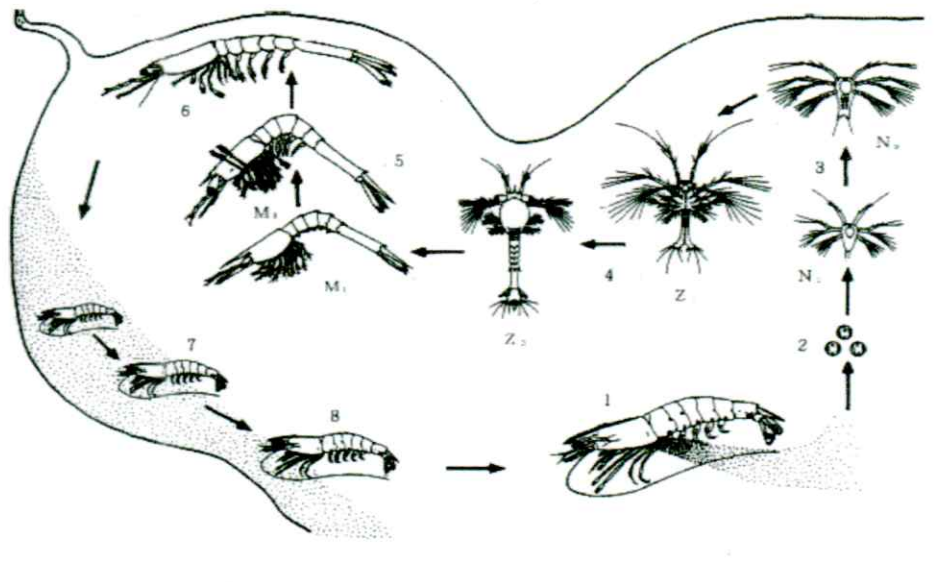


Figura 4. Ciclo de vida del camarón. Adulto, huevo, nauplio, zoea, mysis, postlarva, pre-juvenil, juvenil.

1.10.1. Estadios larvales

Tras la eclosión del huevo, que ocurre aproximadamente entre 14 y 16 horas después de la fertilización, las larvas pasan por varias etapas de desarrollo antes de alcanzar la fase adulta:

1.10.1.1. Nauplio

Esta etapa comprende cinco subestadios y tiene una duración aproximada de 40 a 50 horas, dependiendo de la temperatura y la calidad del nauplio. Las larvas en este estadio miden alrededor de 0.5 mm de longitud y 0.2 mm de ancho. Presentan un único ocelo y un cuerpo no diferenciado, alimentándose exclusivamente de las reservas de vitelo almacenadas (Arellano, 1990; Morales, 1990).

1.10.1.2. Zoea

Luego de completar la metamorfosis en la etapa de nauplio, las larvas avanzan al estadio de zoea. En este punto, comienzan a diferenciarse el cefalotórax y el abdomen, lo que facilita el movimiento hacia adelante. Esta etapa, que incluye tres subestadios, dura entre 4 y 6 días según las condiciones de manejo y calidad de las larvas. Durante esta fase, las larvas comienzan a alimentarse de microalgas fitoplanctónicas presentes en el agua (Arellano, 1990; Edemar et al., 1996).

1.10.1.3. Mysis

Posterior al tercer subestadio de zoea, las larvas evolucionan al estadio de mysis. En esta fase, se observa un cuerpo curvado a nivel abdominal y un movimiento caracterizado por contracciones abdominales. Este estadio también consta de tres subestadios, con una duración total de 3 días (Edemar et al., 1996).

1.10.1.4. Post-Larva

En esta etapa, las larvas se asemejan a camarones en miniatura. Los pleópodos se desarrollan progresivamente hasta volverse completamente funcionales, permitiendo que las post-larvas se desplacen mediante sus pereiópodos. Su dieta se basa principalmente en *Artemia*, aunque también consumen algas y alimentos artificiales (Arellano, 1990; Edemar et al., 1996).

1.10.1.5. Juvenil

En esta fase, que ocurre tras la etapa de post-larva, comienzan a diferenciarse los sexos. Los juveniles encuentran en los estuarios, marismas y lagunas las condiciones óptimas para su desarrollo. Al alcanzar entre 60 y 70 mm de longitud, migran hacia el mar, donde logran la madurez sexual y completan el ciclo de vida (Martínez & Rosa, 1996).

1.11. Morfología del camarón

El camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) es un invertebrado marino clasificado dentro del grupo de los artrópodos, subfilo Crustáceo, y perteneciente a la familia *Litopenaeus*. Su anatomía está compuesta por un tronco dividido en 14 segmentos más el telson. De estos, los primeros 8 forman el tórax, mientras que los 6 restantes corresponden al abdomen. Cada segmento posee apéndices: los pleópodos, ubicados en el abdomen anterior, son utilizados para nadar, mientras que los pereiópodos, localizados en la parte posterior, sirven para desplazarse en el fondo. Su cuerpo presenta una forma cilíndrica o ligeramente comprimida lateralmente, con un cefalotórax bien definido que incluye un rostro aserrado en forma de quilla (Figura 5) (Castillo y Hernández 2011). Además, el camarón cuenta con un exoesqueleto de quitina, caracterizado por ser delgado y flexible.

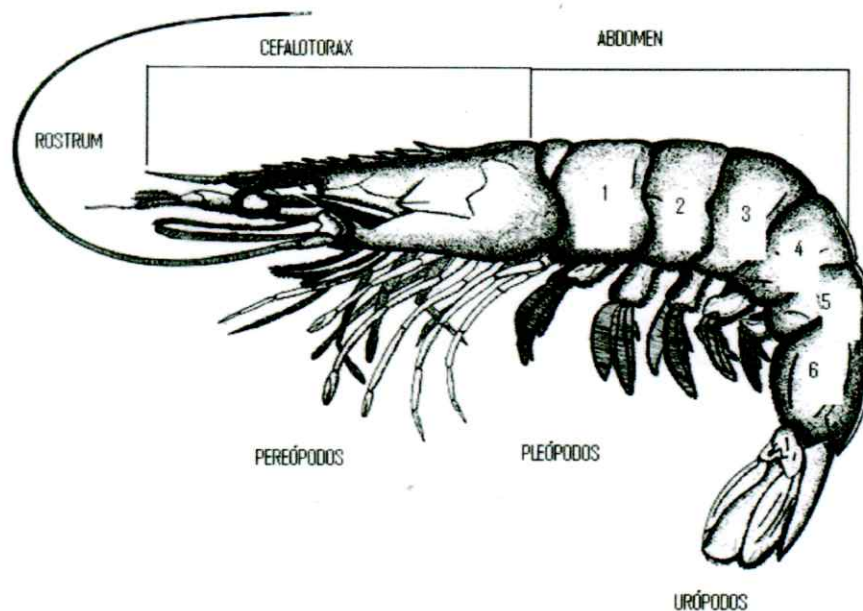


Figura 5. Partes externas del camarón Litopenaeus vannamei

Los camarones se alimentan filtrando partículas en el fondo, cuentan con una boca en la parte ventral y un sistema digestivo que se extiende a lo largo del dorso, culminando en el hepatopáncreas, una glándula digestiva que secreta enzimas necesarias para la digestión. El sistema nervioso está ubicado a lo largo del vientre, mientras que la glándula antenal actúa como su órgano excretor, eliminando sustancias de desecho al medio. En cuanto al sistema circulatorio, este es abierto y consta de vasos que transportan la hemolinfa, un fluido que contiene cobre y es responsable de transportar oxígeno y dióxido de carbono. La hemolinfa, debido a la presencia de cobre, tiene un tono azulado. El intercambio gaseoso, es decir, el transporte de oxígeno y dióxido de carbono, ocurre a través de las branquias. (Ruppert et al., 1996).

1.12. Manejo de sistemas de cultivo en camaroneras

1.12.1. Alimentación

En sistemas intensivos de cultivo de camarones, se utiliza alimento artificial para suplir las necesidades energéticas de los animales. La energía requerida es generada a través de la oxidación y el catabolismo de las proteínas presentes en el alimento (Avnimelech, 1999).

Es común emplear dietas con altos niveles de proteína para promover un crecimiento acelerado y maximizar la producción. Según Tacon (2002), *Litopenaeus vannamei* requiere al menos un 30% de proteína en su dieta, y los alimentos balanceados utilizados por los productores contienen entre un 28% y un 35% de proteína, obtenida principalmente de fuentes como harina de pescado, calamar, krill o bivalvos.

Diversos estudios han evaluado dietas con niveles de proteína entre el 20% y el 40%, sugiriendo que niveles más bajos pueden ofrecer beneficios similares o superiores en términos de crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia, además de mejorar la digestibilidad de la dieta (Green et al., 1996; Molina-Poveda, 1998). Sin embargo, McIntosh et al. (2001) reportaron mejores resultados de crecimiento y producción de *L. vannamei* con dietas que contenían un 31% de proteína en comparación con aquellas con un 21%, sin que esto afectara negativamente la calidad del agua tras 94 días de cultivo.

1.12.2. Mantenimiento de la productividad a lo largo del ciclo de cultivo

La mayoría de los estanques reciben alimento procesado desde la etapa de siembra hasta la cosecha, y la cantidad administrada varía según la biomasa, aumentando progresivamente a lo largo del ciclo. En sistemas de producción semiintensiva, las tasas de alimentación rara vez superan los 20 kg/ha antes de llegar a la etapa final del ciclo.

El uso de fertilizantes puede contribuir a mantener la productividad natural del estanque, lo que beneficia la calidad del agua al incrementar el oxígeno disuelto a través de la fotosíntesis y reducir el amonio. Además, mejora la eficiencia en el uso del alimento y promueve una mayor producción de camarón.

En estanques de cultivo intensivo, generalmente no se requiere fertilización después de las primeras 6 a 8 semanas, ya que tasas de alimentación superiores a 20-30 kg/ha al día pueden provocar un crecimiento excesivo de fitoplancton, lo que puede desequilibrar el ecosistema del estanque.

1.12.3. Recambio de agua

En los estanques de camarón, el recambio de agua se realiza comúnmente a tasas del 10% al 15% del volumen total por día. Sin embargo, el uso rutinario de esta práctica es difícil de justificar, ya que, si la calidad del agua en el estanque es adecuada, renovarla diariamente no ofrece beneficios significativos. Además, el recambio reduce la concentración de nutrientes y plancton, lo que disminuye la productividad natural del estanque.

Recambios de agua en este rango (10%-15%) son útiles para mantener salinidades aceptables durante la estación seca, incluso cuando el agua de mar es la única fuente disponible. En situaciones críticas, como bajos niveles de oxígeno disuelto o concentraciones elevadas de amonio, el recambio de agua puede ser la única opción viable en sistemas que no cuentan con aireación.

1.13. Parámetros físicos-químicos en camarónicas

En acuicultura, diversas variables del entorno influyen en la supervivencia, el crecimiento y la productividad de las especies cultivadas. Sin embargo, no es necesario comprender todas las interacciones ambientales para gestionar adecuadamente un sistema acuícola. Tener un conocimiento sólido de las principales variables del medio es suficiente para manejar de manera eficiente los estanques de cría de camarones. Por ello, el técnico en acuicultura debe enfocarse en monitorear y controlar estos parámetros clave para garantizar un manejo óptimo.

1.13.1. pH

El pH se refiere a una medida de la concentración de iones de hidrógeno, lo que determina si el agua es ácida o básica. En el entorno marino, el pH suele mantenerse dentro de un rango estrecho, generalmente entre 8 y 8.3. Estas fluctuaciones, medidas con suficiente precisión, son útiles indicadores de los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) relacionados con procesos como la fotosíntesis de las algas y la respiración de los organismos acuáticos.

Por la noche, la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en un estanque tiende a aumentar debido a la respiración de organismos vegetales y animales, lo que genera condiciones más ácidas. Al mismo tiempo, la falta de luz solar reduce la actividad fotosintética, lo que resulta en una disminución de los niveles de oxígeno. Durante el día, cuando la fotosíntesis se reactiva, las concentraciones de dióxido de carbono disminuyen, provocando un aumento del pH hacia finales de la tarde (Andrews et al., 1996).

1.13.2. Salinidad

La salinidad se refiere a la concentración total de iones (sales) disueltos en el agua (Clifford, 1992). El camarón, como organismo eurihalino, es capaz de tolerar amplios rangos de salinidad, con un crecimiento óptimo en niveles entre 15 y 40 partes por mil (ppm). Sin embargo, los mejores resultados se obtienen en el rango de 15 a 25 ppm. Cambios bruscos en la salinidad pueden causar estrés en los camarones, e incluso la muerte. Durante la estación seca, las cuencas estuarinas pueden experimentar un aumento

excesivo en la salinidad, alcanzando entre 40 y 45‰, debido a la escasez de lluvias. En contraste, durante la temporada lluviosa, el exceso de agua de lluvia puede reducir la salinidad de los estanques a niveles de entre 8 y 10 ppm, llegando incluso a 0 en algunos casos, como ocurre en el Estero Real (Santamaría, 1991; Martínez, 1998).

La cantidad total de sales en disolución influye en prácticamente todas las características físico-químicas del agua, afectando la supervivencia y el crecimiento de los organismos acuáticos. Cambios repentinos en la salinidad obligan a los camarones a gastar más energía para adaptarse, lo que puede inhibir procesos clave como el crecimiento y la reproducción (Rosas, 1999). Aunque los camarones toleran amplios rangos de salinidad, su desarrollo óptimo ocurre en valores entre 15 y 25 ppm (Obregón, 1999).

1.13.3. Temperatura

La temperatura es un factor crucial que impacta directamente las funciones biológicas y el metabolismo de los camarones. Este parámetro afecta el metabolismo debido a que un incremento en la temperatura acelera la dinámica de colisión entre moléculas, lo que facilita las reacciones bioquímicas esenciales (Obregón, 1999).

Como organismos ectotermos, el metabolismo de los camarones está directamente influenciado por la temperatura del entorno. El proceso de digestión depende de este factor, ya que implica numerosas reacciones químicas cuya velocidad está determinada por la actividad enzimática. A temperaturas más altas, la actividad enzimática se intensifica, promoviendo procesos de digestión y alimentación más rápidos.

El rango óptimo de temperatura para el desarrollo adecuado de los camarones oscila entre 25°C y 33°C. Cuando la temperatura supera este rango, pueden ocurrir alteraciones metabólicas. Por el contrario, si la temperatura desciende, los camarones se vuelven inactivos, dejan de alimentarse y experimentan una reducción en su metabolismo (Obregón, 1999).

1.13.4. Alcalinidad Total (AT)

La alcalinidad es un parámetro fundamental en el cultivo de camarones debido a su función como regulador de los cambios de pH en el agua. Actúa como un amortiguador químico, minimizando las fluctuaciones bruscas de pH que pueden ser perjudiciales para los organismos acuáticos. En los sistemas de cultivo, una alcalinidad adecuada, generalmente entre 750 y 2000 $\mu\text{mol/kg}$ de CaCO_3 , favorece la estabilidad química del

medio, lo que es crucial para mantener un ambiente óptimo para el desarrollo de los camarones.

Además, la alcalinidad influye en la disponibilidad de dióxido de carbono (CO_2) necesario para los procesos de fotosíntesis del fitoplancton, una fuente clave de oxígeno y alimento para los camarones. Un nivel bajo de alcalinidad puede causar estrés en los camarones al reducir su capacidad para adaptarse a cambios ambientales, mientras que niveles muy altos pueden alterar la química del agua y limitar la calcificación del exoesqueleto (Boyd & Tucker, 1998; Vinatea, 2004).

1.13.5. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD), medido en mg/L, es uno de los parámetros más críticos en la cría de camarones, ya que su baja concentración en los estanques es una de las principales causas de mortalidad y reducción en la tasa de crecimiento. Las concentraciones de OD suelen ser más bajas durante la madrugada y aumentan progresivamente a lo largo del día, alcanzando su pico en la tarde. Rangos de 3 a 8 mg/L de OD son considerados adecuados y recomendables en diferentes momentos del día (Arredondo, 1991).

El metabolismo de los camarones se ve significativamente afectado por la falta de oxígeno. Concentraciones inferiores a 3 mg/L tienen un impacto negativo en su crecimiento, mientras que niveles críticos por debajo de 1.3 mg/L durante más de una hora pueden ser letales. Por ello, se considera que la concentración mínima tolerable de OD para especies de camarones en cultivo es de 3.0 mg/L (Martínez, 1997; Herrera, 1999).

La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua está influida por factores como la temperatura y la salinidad, disminuyendo a medida que la temperatura aumenta. En situaciones donde el OD cae por debajo de 4 mg/L, se recomienda reducir el volumen de agua y realizar recambios continuos hasta alcanzar niveles óptimos de entre 7 y 10 mg/L (Herrera, 1999).

2. CAPITULO 2: DESARROLLO METODOLOGICO

2.1. Enfoque de la investigación

La investigación adopta un efecto cuantitativo, debido a la naturaleza de los datos que se van a recolectar, analizar y procesar.

La investigación cuantitativa se basa en la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de identificar patrones, realizar mediciones precisas y generalizar los resultados, se caracteriza por su objetividad, precisión y replicabilidad, ya que los datos cuantitativos permiten la comparación de resultados a través de diferentes estudios (Pérez Castaños & Santamaría, 2023).

En el contexto de la investigación, que se centra en el análisis de la variabilidad de pH y sistemas de carbonatos, este enfoque de investigación cuantitativa es útil, debido a que los parámetros físico-químicos, como el pH, la salinidad, y la temperatura, serán medidos *in situ* utilizando herramientas que ofrecen valores numéricos precisos. Además, se recolectará muestras de agua para determinar la alcalinidad total, y estos datos se procesarán mediante software para calcular las concentraciones de pCO_2 , carbonatos, bicarbonatos, y los niveles de saturación de calcita y aragonita. Esta recolección de datos numéricos es fundamental en la investigación cuantitativa, donde la obtención de datos medibles permite generar resultados replicables y objetivos (Indeed Editorial Team, 2024).

2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación adoptado es de tipo no experimental y longitudinal. En un diseño no experimental, el investigador observa y analiza los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular las variables, lo cual permite obtener datos en condiciones reales (Hernández Sampieri et al., 2014). Este diseño resulta adecuado para este estudio, dado que no implica intervenciones directas en los estanques camaroneros, sino la recolección de datos sobre parámetros físico-químicos tales como pH, salinidad, temperatura y alcalinidad total en diferentes momentos de la fase de cultivo.

Asimismo, el diseño es longitudinal, ya que los datos se recogen en distintos períodos de tiempo (semanalmente y cada 15 días, dependiendo de la fase de cultivo). Esto permite observar cambios y tendencias en los parámetros a lo largo del tiempo, proporcionando una comprensión más profunda de la dinámica de los sistemas de carbonatos y su impacto en el cultivo de camarones bajo condiciones ambientales variables (Menard, 2002). El enfoque longitudinal es especialmente valioso en este contexto, ya que facilita la identificación de patrones que pueden no ser evidentes en un solo punto temporal, permitiendo analizar cómo los factores ambientales y estacionales influyen en la química del agua y en la salud de los organismos cultivados.

2.3. Tipo de investigación, nivel o alcance

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar las relaciones entre los parámetros físico-químicos del agua en los estanques camaroneros. Este enfoque cuantitativo es adecuado para medir y analizar con precisión las variables del estudio, además de permitir el uso de herramientas estadísticas que faciliten la extracción de conclusiones objetivas y replicables (Creswell, 2014). En este caso, los datos obtenidos mediante mediciones in situ y análisis de laboratorio se procesarán para identificar tendencias y posibles correlaciones entre factores ambientales y los sistemas de carbonato en el agua.

En cuanto al nivel o alcance, la investigación es de tipo descriptivo-correlacional. En la fase descriptiva, se documentan y caracterizan los valores de pH, salinidad, temperatura y alcalinidad total en cada sitio de muestreo, proporcionando una base sólida de las condiciones ambientales en cada ubicación (Hernández Sampieri et al., 2014). En la fase correlacional, se exploran las relaciones entre estos parámetros para entender cómo interactúan y cómo pueden afectar la calidad del agua y la salud de los organismos en los estanques. La fase correlacional permite establecer asociaciones entre variables sin asumir causalidad directa, lo cual es apropiado en este contexto para evaluar cómo los cambios en ciertos parámetros pueden influir en el sistema de carbonatos y, por extensión, en el cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*).

2.4. Metodología

2.4.1. Area de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en dos zonas que se encuentran dentro del estuario del río Cojimies.

La primera área de estudio corresponde a la camaronera María Zambrano, ubicada en la zona de Daule, en el cantón Muisne de la provincia de Esmeraldas. Las coordenadas exactas de esta ubicación son 0°24'40"N, 80°00'35"W. Esta camaronera está situada en una región con características estuarinas, donde hay una mezcla de agua dulce proveniente de ríos cercanos y agua salada del estuario.

La segunda área de estudio es la camaronera La Isla, ubicada en la parroquia Cojimíes, que pertenece al cantón Pedernales, en la provincia de Manabí. Sus coordenadas son 0°21'51"N, 80°00'01"W. A diferencia de la primera ubicación, esta camaronera está más influenciada por las corrientes de agua del océano abierto, lo que genera un entorno con menos mezcla de agua dulce y una mayor exposición directa a las condiciones marinas.



Figura 6. Ubicación geográfica de las camaroneras de Cojimies y Daule en Ecuador, con detalles ampliados de las áreas específicas de estudio (0°21'51"N, 80°00'01"W). Figura tomada de Google Earth

Ambas áreas proporcionan un escenario adecuado para estudiar las variaciones en los parámetros físico-químicos del agua, como el pH, la salinidad y los niveles de carbonato, bajo condiciones ambientales diferentes.

2.4.2. Fase de campo

La recolección de datos en campo se llevó a cabo desde el 27 de enero hasta el 30 de agosto de 2024, cubriendo aproximadamente tres ciclos de siembra y cosecha en cada estanque camaronero. Los monitoreos in situ se realizaron durante el día, en horarios comprendidos entre las 14:00 y 17:00, para asegurar la consistencia de los datos en relación con las condiciones de luz y temperatura ambiente.

La frecuencia de monitoreo varió según la fase del ciclo de cultivo. En las fases iniciales, cuando los estanques estaban en la etapa de siembra o criadero, los monitoreos se efectuaron de manera semanal para asegurar un control riguroso de los parámetros críticos en las etapas más sensibles de desarrollo del camarón. En cambio, durante la fase de engorde y en el período previo a la cosecha, las mediciones se realizaron cada 15 días,

ya que los organismos se encuentran en una fase de crecimiento más estable y menos susceptible a fluctuaciones rápidas en las condiciones del agua.

Esta periodicidad fue seleccionada considerando estudios previos que demuestran la relación entre el ciclo de vida del camarón y la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos (Boyd & Tucker, 2012).

Para la recolección de datos físico-químicos se utilizaron puntos de muestreo distantes en cada estanque, de manera que se obtuviera una representación más precisa de las condiciones del sistema acuático. Se midieron pH, salinidad, y temperatura utilizando un multiparámetro YINMIK BLE-9909 (APHA, 2017). Este equipo fue calibrado antes de cada sesión de monitoreo mediante el uso de soluciones buffer para pH de 7.0, 4.0 y 10.1, siguiendo los estándares de calibración recomendados. La calibración regular del equipo asegura que las mediciones sean fiables y reproducibles, minimizando errores y manteniendo la precisión en los registros de los parámetros de calidad de agua.

2.4.2.1. Recolección de muestras para alcalinidad (AT)

Durante la fase de criadero del cultivo de camarón, se recolectaba una única muestra de agua por estanque para el análisis de alcalinidad total. En la fase de engorde, debido a la mayor variabilidad de los parámetros físico-químicos, se realizaban dos muestreos por estanque, y antes de la cosecha se recogía una muestra final. Este procedimiento de recolección asegura una representación adecuada de las condiciones químicas del agua en cada etapa crítica del cultivo.

Las muestras de agua eran procesadas en condiciones controladas para evitar contaminación o alteraciones en la química del agua. En primer lugar, el agua se filtraba a través de un filtro de 0,5 μm para eliminar partículas suspendidas, microorganismos y otras impurezas que pudieran afectar la medición precisa de la alcalinidad. Posteriormente, el agua filtrada se transfería a botellas de plástico de 250 ml, previamente asegurándonos que la botella este limpia para minimizar la posibilidad de interferencia en el análisis (Stumm & Morgan, 2012).

Después de ser transferidas, las muestras se fijaban con cloruro de mercurio (HgCl_2). La función de la adición de cloruro de mercurio tiene un propósito crítico: inhibe la actividad microbiana y previene reacciones químicas no deseadas que podrían alterar las concentraciones de compuestos clave en la muestra, especialmente en términos de alcalinidad y contenido de carbonatos (Dickson et al., 2007). El cloruro de mercurio actúa como un conservante eficaz que estabiliza la composición de la muestra, impidiendo la

degradación de compuestos y la alteración del equilibrio ácido-base, lo cual es esencial para obtener resultados representativos de las condiciones originales del agua de cultivo.

2.4.3. Fase de laboratorio

La alcalinidad total (AT) se determinó mediante una titulación en celda abierta automática, utilizando el potenciómetro Orion Star T900 (Thermo Scientific) con un electrodo de pH Ross-Ultra 8102BNUWP (Thermo Scientific). Se utilizó ácido clorhídrico (HCl) a 0,1N, ajustado a la salinidad del agua de mar (33 UPS), para realizar un análisis volumétrico preciso. La temperatura se mantuvo en 25 °C durante las lecturas, dado que es óptima para minimizar variaciones térmicas que podrían afectar los resultados (Dickson et al., 2007).

Para validar la precisión de los resultados, se emplearon materiales de referencia certificados por el laboratorio del Dr. Andrew Dickson (Batch #A23) de la Universidad de San Diego - California, ampliamente reconocidos en estudios de química marina. Además, el software CO2SYS V2.1 se utilizó para calcular parámetros adicionales del sistema de carbonatos, como la presión parcial de CO₂ (pCO₂), carbono inorgánico total (tCO₂), y los estados de saturación de aragonita (Ω_{Ar}) y calcita (Ω_{Cal}). Este software es ampliamente utilizado en estudios de acidificación oceánica debido a su capacidad para ajustar constantes de disociación específicas y proporcionar resultados precisos en diferentes escalas químicas (van Heuven et al., 2011).

2.4.4. Población/Muestra

La población de estudio comprende estanques de cultivo del *Litopenaeus vannamei* ubicados en las parroquias de Daule y Cojimíes. Para esta investigación, se seleccionaron dos sitios de estudio representativos dentro del estuario del río Cojimíes. Las camaroneras elegidas son María Zambrano, en la zona de Daule (cantón Muisne, provincia de Esmeraldas), y La Isla, en la zona de Cojimíes (cantón Pedernales, provincia de Manabí). Estas ubicaciones fueron elegidas debido a sus características ambientales contrastantes, que permiten estudiar la variabilidad de los sistemas de carbonatos bajo diferentes influencias del entorno. La camaronera María Zambrano se encuentra rodeada de manglares y próxima a un río, mientras que la camaronera La Isla tiene un acceso directo al mar abierto.

Esta selección se realizó para representar condiciones que se consideran relevantes dentro de un entorno acuícola estuarino. Aunque el estudio no abarca todas las

camaroneras de la región, los datos obtenidos de estos sitios permiten analizar tendencias y dinámicas que pueden ser aplicables a entornos con características similares.

2.4.5. Técnicas de investigación

Para el análisis de AT se calibró el electrodo de pH con buffer de 4,7 y 10, se realizaron dos lecturas por muestras. En cada medición se utilizó 50 ml, los cuales fueron titulado con el potenciómetro Orion Star T900 (Thermo Scientific). Las muestras de AT se analizaron en duplicados utilizando un CRM internos, el cual fue preparado y usado dentro del laboratorio para calibrar, validar y controlar la calidad de los datos analíticos. Se alcanzó una precisión de aproximadamente 10 μ m, equivalente a un error estandar relativo maxomo del 1%. Los datos obtenido se procesaron en el software CO2SYS V2.1 (Environmental Sciences division, 2012), ajustados con disociación de Lueker (Lueker et al., 2000), y para el KH_2SO_4 , la constante de disociación de Dickson (Dickson, 1990), y seleccionando a escala NBS (mol/kg- H_2O) para la obtencion de los valores de estado de saturacion de aragonita (Ω_{Ar}) y calcita (Ω_{Ca}), $p\text{CO}_2$ y $t\text{CO}_2$.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando los programas Excel y Minitab para procesar y evaluar los resultados de manera sistemática y rigurosa. Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los ciclos decultivo de muestreo en las piscinas de las camaroneras, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se realizó un análisis de correlación de Spearman para identificar relaciones significativas entre los parámetros químicos, para comprender cómo las fluctuaciones en un parámetro pueden estar asociadas con cambios en otros dentro del sistema de cultivo. Se elaboró un resumen estadístico descriptivo, donde se calcularon las medias y desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos medidos y calculados, incluyendo pH, salinidad, temperatura, presión parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$), carbono inorgánico total ($t\text{CO}_2$), alcalinidad total (AT) y saturación de Ω calcita y Ω aragonita. Este análisis descriptivo facilitó la comparación entre las distintas piscinas de Daule y permitió caracterizar las condiciones específicas de cada ciclo de cultivo de muestreo.

Asimismo, se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre los parámetros analizados.

3. CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de métodos y técnicas de investigación utilizadas

Con los análisis realizados se pudo determinar la variabilidad de pH y los parámetros de la química de carbonatos para comprender la dinámica en los sistemas de cultivo en piscinas camaroneras.

En la camaronera de Cojimíes, los parámetros físico-químicos analizados no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sus mediciones según Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) entre las tres piscinas para la mayoría de los valores medidos y calculados.

Los parámetros físico-químicos evaluados en las piscinas muestran una notable uniformidad. El pH presentó valores promedio que oscilaron entre 8.42 y 8.77, indicando un rango estable que favorece el equilibrio del sistema, la salinidad varió entre 22.2 y 30.5, sin diferencias significativas entre las piscinas. La temperatura ($^{\circ}\text{C}$) mostró promedios entre 27.9 y 29.8 $^{\circ}\text{C}$, por último, la alcalinidad total con valores entre 1605.35 y 1956.08, no presentó diferencias significativas.

Para los valores calculados la $p\text{CO}_2$ se obtuvo los valores entre 56.4 y 1314.5 (μatm), mientras que el $t\text{CO}_2$ varió entre 1124.4 y 1577.4 (μatm), para ninguno de los dos parámetros se detectó diferencias significativas entre los ciclos de cultivo ($p > 0.05$).

Por su parte, los índices de saturación de calcita (ΩCa) y aragonita (ΩAr) presentaron valores que oscilaron entre 5.8 y 9.8, y 3.6 y 6.3, respectivamente. Aunque el análisis estadístico para ambos parámetros no alcanzó significancia estricta ($p = 0.069$ para ΩCa y $p = 0.059$ para ΩAr), los resultados sugieren una posible tendencia hacia diferencias entre las piscinas (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen con las medias y desviación estándar de cada uno de los parámetros medidos y calculados (CO2SYS) considerados para este estudio para las diferentes piscinas en Cojimíes. Cada letra indica que no hay diferencias significativa entre grupos

	PARÁMETROS	PISCINA 1	PISCINA 2	PISCINA 3
MEDIDOS	pH(escala NBS)	8,77±0,33 ^a	8,42±0,63 ^a	8,55±0,59 ^a
	Salinidad (UPS)	27,95±6,57 ^a	30,5 ± 5,0 ^a	22,2 ± 11,31 ^a
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	28,8±3,28 ^a	29,8±3,7 ^a	27,9±3,58 ^a
	Alcalinidad Total ($\mu\text{mol/kg}$)	1725,57±373,33 ^a	1956,08± 587,32 ^a	1605,35±782,42 ^a
CALCULADOS	$p\text{CO}_2$ (μatm)	56,4 ± 54,4 ^a	1314,5 ± 2162,5 ^a	268,3 ± 284,3 ^a
	$t\text{CO}_2$ (μatm)	1124,4 ± 340,9 ^a	1577,4 ± 697,9 ^a	1284,8 ± 867,6 ^a
	ΩCa (μatm)	9,8 ± 3,6 ^a	6,1 ± 4,6 ^a	5,8 ± 2,4 ^a
	ΩAr (μatm)	6,3 ± 2,4 ^a	4,1 ± 3,1 ^a	3,6 ± 1,3 ^a

Por otro lado en Daule reflejan una notable uniformidad entre las piscinas, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) según la prueba de Kruskal-Wallis. El pH presentó valores promedio entre 8.40 sd y 8.64 sd, mientras que la salinidad osciló entre 27.5 sd y 28.9 sd, sin diferencias significativas entre las piscinas, con valores de $p = 0.253$ y $p = 0.605$, respectivamente.

La temperatura estuvo entre 28.8 y 30.0 °C ($p > 0.05$), y la alcalinidad total, entre 1743.68 y 1863.28 °C ($p > 0.05$), reflejando condiciones similares entre las piscinas. En cuanto a los parámetros calculados, la $p\text{CO}_2$, estuvo entre 147.1 y 407.4, y el $t\text{CO}_2$ fluctuó entre 1180.8 y 1495.5 sin diferencias significativas entre piscinas ($p > 0.05$). Los índices de saturación, Ω_{Ca} y Ω_{Ar} , oscilaron entre 6.4 y 9.8, y 4.2 y 6.3 sin diferencias significativas entre piscinas (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen con las medias y desviación estándar de cada uno de los parámetros medidos y calculados (CO2SYS) considerados para este estudio para las diferentes piscinas en Daule. Cada letra indica que no hay diferencias significativa entre grupos

	PARÁMETROS	PISCINA 1	PISCINA 2	PISCINA 3
MEDIDOS	pH(escala NBS)	8,44±0,42 ^a	8,4±0,4 ^a	8,6± 0,49 ^a
	Salinidad (UPS)	27,90±5,89 ^a	28,9±6,7 ^a	27,5± 7,12 ^a
	Temperatura (°C)	30,01± 3,90 ^a	28,8±3,7 ^a	29,3± 3,69 ^a
	Alcalinidad Total (μmol/kg)	1863,28±412,0 ^a	1743.68±366,17 ^a	1754,44±280,45 ^a
CALCULADOS	$p\text{CO}_2$ (μatm)	407,4± 494,5 ^a	147,1± 129,4 ^a	255,4± 583,3 ^a
	$t\text{CO}_2$ (μatm)	1495,5± 536,3 ^a	1314,8± 362,3 ^a	1180,8± 451,9 ^a
	Ω_{Ca} (μatm)	6,4± 3,8 ^a	7,1± 2,5 ^a	9,8± 4,9 ^a
	Ω_{Ar} (μatm)	4,2± 2,5 ^a	4,6± 1,7 ^a	6,3± 3,2 ^a

3.2. Fluctuación de los parámetros físicos químicos en los estanques de cultivo

3.2.1. pH

En las camaroneras de Cojimíes y Daule se analizaron las variaciones de pH en relación con los días de cultivo, mostrando resultados estadísticos diferenciados. En Cojimíes, el análisis evidenció una correlación negativa moderada y significativa ($r = -0.539$, $p = 0.001$), lo que indica que a medida que avanzan los días de cultivo, el pH tiende a disminuir de manera consistente. Los valores iniciales de pH oscilan entre 8.5 y 9.0, disminuyendo progresivamente hacia valores cercanos a 7.5 en las etapas avanzadas del cultivo. La dispersión de los datos sigue una tendencia clara y descendente, con ligeras

variaciones entre piscinas y ciclos de cultivo, pero con un comportamiento general coherente en términos de disminución del pH (Figura 7a).

Por otro lado, en Daule, el análisis mostró una correlación negativa débil ($r=-0.247$) y no estadísticamente significativa ($p=0.091$), indicando que no hay evidencia suficiente para afirmar que el pH esté relacionado con los días de cultivo. Aunque los valores iniciales de pH también se sitúan entre 8.5 y 9.0 y presentan una ligera tendencia descendente hacia 7.5 en etapas avanzadas, la dispersión de los datos es mayor, reflejando una variabilidad más alta entre las diferentes piscinas y ciclos de cultivo. Algunos ciclos de cultivo muestran valores más estables, mientras que otras presentan mayor variabilidad (Figura 7b).

En Cojimíes, el comportamiento del pH a lo largo de los días de cultivo muestra una correlación significativa que destaca la importancia de monitorear este parámetro para mantener condiciones óptimas. En cambio, en Daule, no se detectó una correlación significativa, con mayor variabilidad entre las piscinas y ciclos de cultivo. Los resultados reflejan diferencias en la dinámica del pH entre las dos camaroneras y enfatizan la necesidad de estrategias de manejo específicas para cada locación.

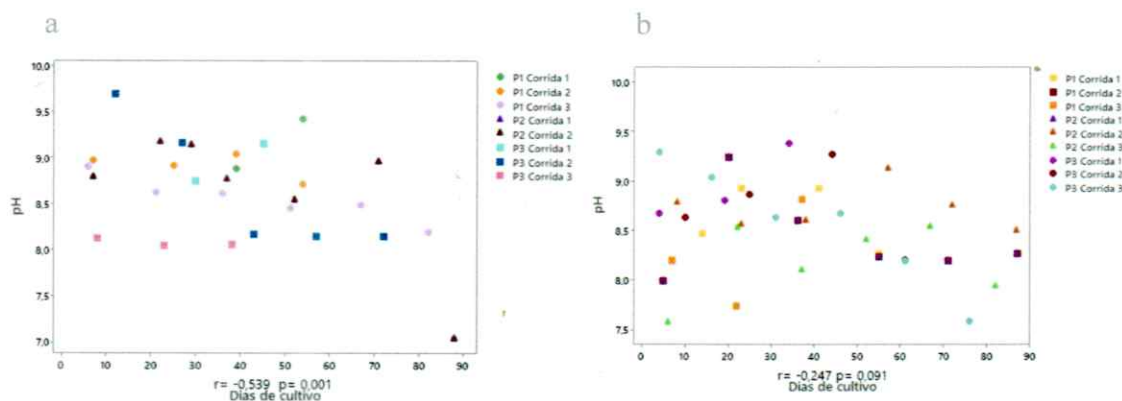


Figura 7. a) Relación entre pH y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre pH y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.

3.2.2. Salinidad

En las camaroneras de Cojimíes y Daule, no se detectó una correlación significativa ($p>0.05$) entre salinidad y los días de cultivo. Los valores de salinidad en Cojimíes oscilan entre 8 y 30 (ups), sin un patrón definido de aumento o disminución, respecto al tiempo (Figura 8a), sin embargo se observó una baja salinidad en dos ciclos de cultivo en la piscina 3, llegando a 8 ppt

Los valores de salinidad en Daule varían entre 25 y 35 (ups), con una ligera dispersión entre las diferentes piscinas y ciclos de cultivo. Al igual que en Cojimíes, no se observó una tendencia significativa de aumento o disminución de la salinidad relacionada con el tiempo de cultivo (Figura 8b).

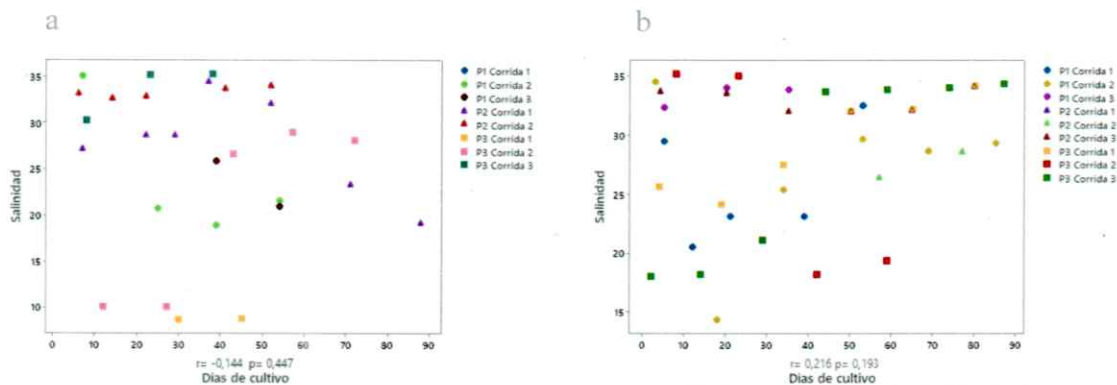


Figura 8. a) Relación entre salinidad y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre salinidad y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.

3.2.3. Temperatura

En Cojimíes los valores iniciales de temperatura estuvieron entre 28 y 32 °C, sin correlación significativa con los días de cultivo (Figura 9a).

En Daule, los valores iniciales también se situaron entre 27 y 32 °C, el análisis estadístico reflejó una correlación negativa moderada y significativa. La dispersión de los datos muestra una tendencia descendente moderada y consistente, aunque con ligeras variaciones entre las diferentes piscinas y los ciclos de cultivo. Algunos ciclos de cultivo presentaron una disminución más marcada, mientras que otras se mantuvieron más estables (Figura 9b).

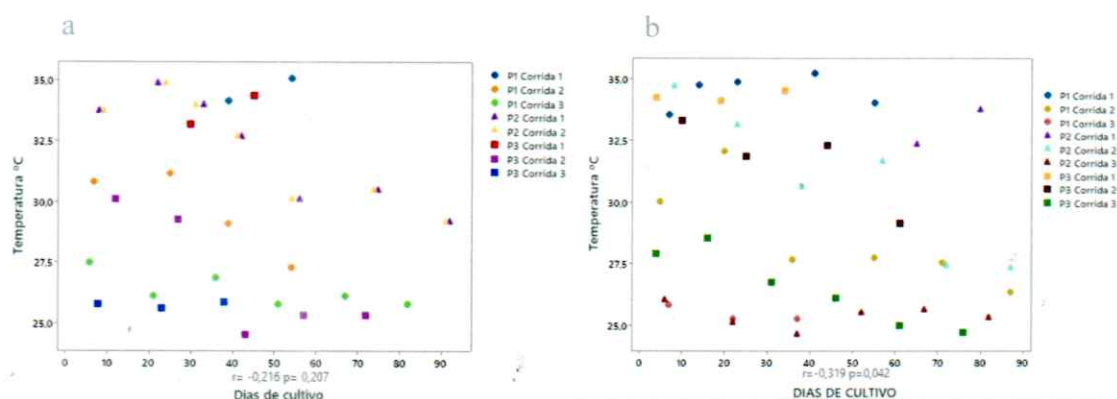


Figura 9. a) Relación entre temperatura y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimíes b) Relación entre temperatura y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.

3.2.4. Alcalinidad total

En las camaroneras de Cojimíes y Daule se analizaron las variaciones de alcalinidad total en función de los días de cultivo, reflejando diferencias significativas en sus patrones y relaciones estadísticas. En Cojimíes (Figura 12a), el análisis estadístico mostró un coeficiente de correlación $r=-0.216$, indicando una correlación negativa débil, y un valor $p=0.207$, lo que demuestra que la relación no es estadísticamente significativa ($p>0.05$). Los valores iniciales de alcalinidad total oscilaron entre 1200 y 2400 $\mu\text{mol/kg}$, con una ligera tendencia descendente hacia 780 $\mu\text{mol/kg}$ en los días posteriores al inicio del cultivo. Sin embargo, destacó un comportamiento atípico en la piscina 3, ciclo de cultivo 2, donde la alcalinidad total disminuyó de manera significativa, cayendo por debajo de 1000 $\mu\text{mol/kg}$, lo que sugiere condiciones específicas o un evento puntual que influyó en esta variación. Aunque las piscinas y los ciclos de cultivo presentaron comportamientos heterogéneos, la falta de una relación significativa general refleja la variabilidad intrínseca en esta camaronera.

En Daule (Figura 12b), los resultados reflejaron una correlación negativa moderada ($r=-0.319$) y estadísticamente significativa ($p=0.042$), lo que indica que la alcalinidad total disminuye de manera consistente con el tiempo de cultivo. Los valores iniciales se ubicaron entre 1900 y 2200 $\mu\text{mol/kg}$, descendiendo progresivamente hacia 1500 $\mu\text{mol/kg}$ en las etapas finales del cultivo. Sobresalió la piscina 1, ciclo de cultivo 2, donde los valores más bajos de alcalinidad total se registraron al inicio del ciclo, cayendo por 1300 $\mu\text{mol/kg}$. Este comportamiento, aunque particular, se enmarca dentro de una tendencia general de disminución gradual observada en Daule, reflejando una mayor uniformidad en la relación entre alcalinidad total y días de cultivo.

Mientras que en Cojimíes no se identificó una relación estadísticamente significativa entre la alcalinidad total y el tiempo de cultivo, las variaciones son más dispersas y heterogéneas, destacando eventos puntuales como en la piscina 3, ciclo de cultivo 2. En contraste, Daule mostró una disminución moderada y significativa de la alcalinidad total, con un patrón más consistente y definido, como evidenciado en la piscina 1, corrida 2. Estas diferencias resaltan la importancia de ajustar las estrategias de manejo a las condiciones particulares de cada camaronera para garantizar la estabilidad química del sistema durante el cultivo.

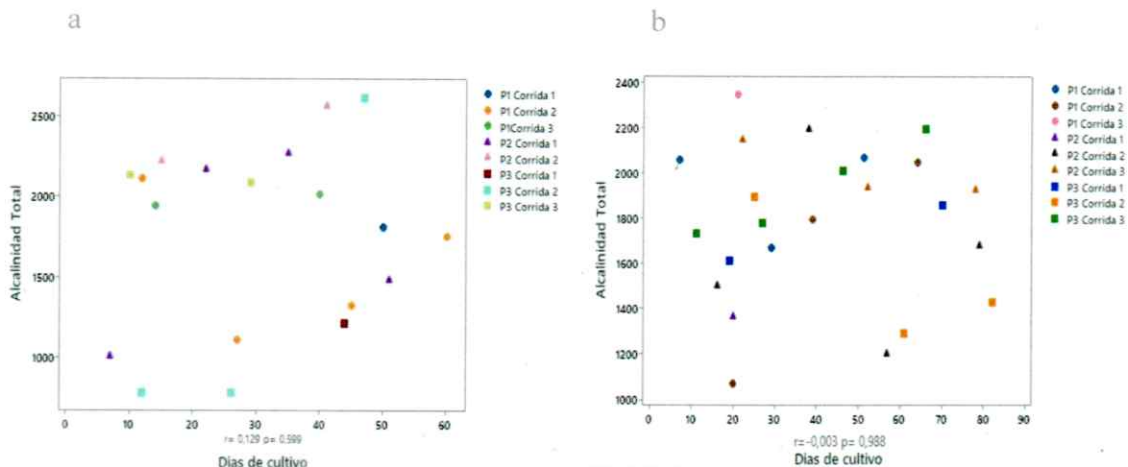


Ilustración 10. a) Relación entre AT y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Cojimies b) Relación entre AT y los días de cultivo en los ciclos de cultivo de Daule.

3.3. Variación de parámetros químicos asociados a la AO según las fechas de muestreo en camaroneras

3.3.1. pH

Se evidencia la variación del pH en las camaroneras Cojimies y Daule a lo largo de las fechas de muestreo. En Cojimies, se observa una correlación significativa negativa ($r = -0,595$ $p = 0,000$), lo que indica una disminución significativa del pH de enero a agosto 2024. Asimismo, en Daule, hay una tendencia significativa decreciente del pH para el mismo periodo. (Figura 11).

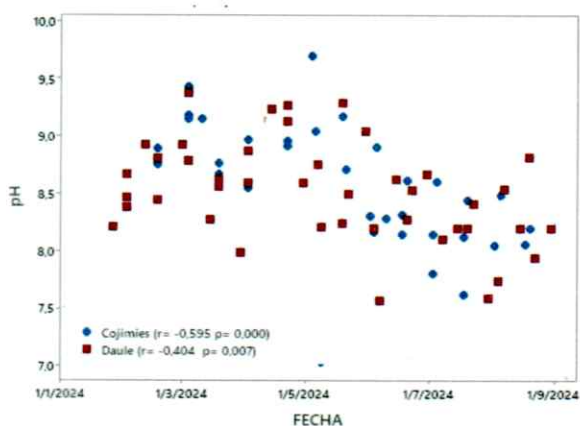


Figura 11. Tendencia del pH según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimies y Daule

3.3.2. Alcalinidad Total (AT)

La grafica (Figura 12) muestra la relación entre la alcalinidad total ($\mu\text{mol/kg}$) y las fechas de muestreo en las camaroneras de Cojimies y Daule. En Cojimies, se observa una correlación positiva moderada entre la alcalinidad y el tiempo, indicando un

incremento gradual, aunque con una significancia marginal ($p = 0.051$). Este aumento podría estar relacionado con procesos biogeoquímicos como la liberación de compuestos alcalinos provenientes de la descomposición de materia orgánica o aportes externos de agua con mayor alcalinidad. En Daule, también se presenta una correlación positiva moderada, pero con significancia estadística ($p = 0.039$), lo que sugiere una tendencia más consistente, posiblemente debido a un manejo más controlado del agua, como la adición regular de agentes alcalinizantes. Comparativamente, ambas camaroneras muestran tendencias similares de aumento en la alcalinidad total, aunque con mayor consistencia en Daule.

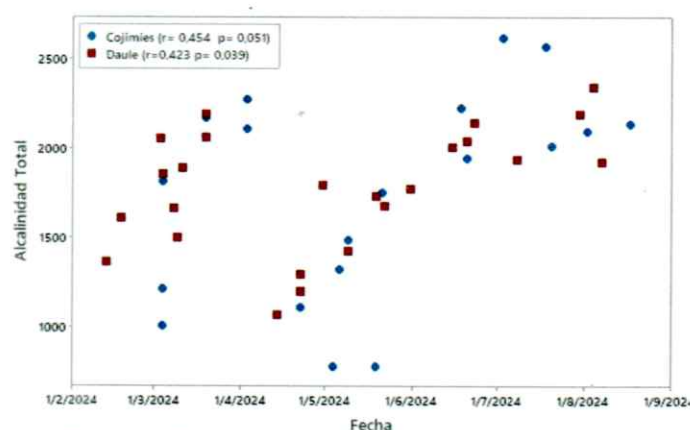


Figura 12. Tendencia de la AT según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimies y Daule

3.3.3. Presión parcial de CO₂ (pCO₂)

En Daule, se encontró una correlación significativa positiva ($r = 0.488$, $p = 0.016$) entre los días del año y los valores de pCO₂, lo que podría estar relacionado con los cambios estacionales ligados a la influencia marina. Mientras en Cojimies no se encontró correlación significativa respecto a los días del año. (Figura 13).

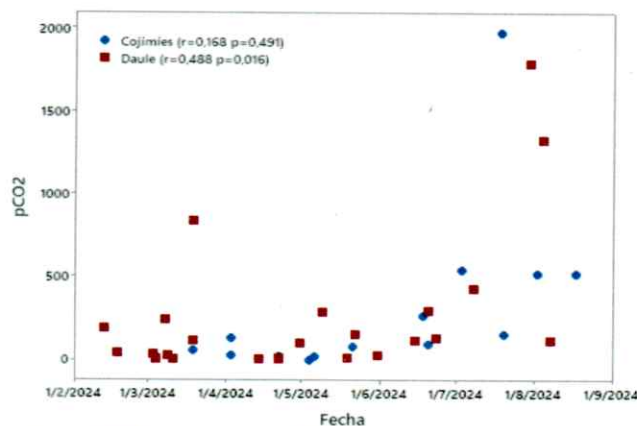


Figura 13. Tendencia de la pCO_2 según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimies y Daule

3.3.4. Carbono inorgánico disuelto (tCO_2)

En cuanto al tCO_2 en Cojimies, se observa una correlación positiva moderada a fuerte, indicando un incremento significativo del TCO_2 a lo largo del tiempo, con un valor de r más alto que el de Daule. Este aumento podría atribuirse a procesos como la respiración de organismos, descomposición de materia orgánica o menor intercambio gaseoso, además de posibles aportes externos de carbono a través del agua de recarga o fertilización. En Daule, la correlación positiva también es significativa, aunque ligeramente menos pronunciada, lo que sugiere un incremento progresivo de TCO_2 relacionado con el manejo del estanque, como la alimentación intensiva o procesos de descomposición en el sistema. Comparativamente, Cojimies muestra un aumento más marcado, lo que indica una mayor intensidad de los procesos que contribuyen a la acumulación de TCO_2 .

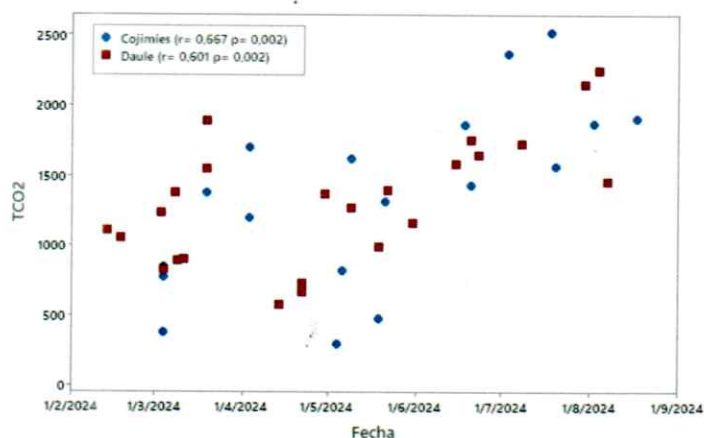


Figura 14. Tendencia de la tCO_2 según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimies y Daule

3.3.5. Calcita

La saturación calcita, un indicador clave del equilibrio químico en los sistemas acuáticos, presenta variaciones significativas entre las camaroneras de Cojimíes y Daule, influenciadas por procesos biogeoquímicos y estrategias de manejo.

En Cojimíes, la correlación negativa significativa ($r = -0.641$, $p = 0.003$) refleja una disminución sostenida en los valores de saturación de Ω_{Ca} a lo largo del tiempo. Este descenso puede asociarse a un incremento en la presión parcial de CO_2 (pCO_2), lo que provoca una acidificación del medio y una reducción en la disponibilidad de carbonatos necesarios para mantener niveles óptimos de saturación. Estos cambios podrían estar vinculados a procesos de respiración biológica y descomposición orgánica, los cuales incrementan los aportes de CO_2 al sistema, afectando la estabilidad del equilibrio químico del carbonato.

En Daule, se observa una correlación positiva moderada ($r = 0.421$, $p = 0.041$), indicando un incremento progresivo en la saturación de Ω_{Ca} con el tiempo. Este comportamiento sugiere una mayor estabilidad en la química del sistema, posiblemente debido a un manejo eficiente que favorece la regulación de la alcalinidad total y limita la acumulación de CO_2 disuelto. La tendencia ascendente implica que el sistema mantiene condiciones propicias para la disponibilidad de carbonatos, lo cual es beneficioso para los organismos calcificadores.

La comparación entre ambos sitios revela una marcada divergencia en los patrones de saturación de Ω_{Ca} . En Cojimíes, la tendencia descendente refleja una mayor vulnerabilidad del sistema frente a procesos acidificantes, mientras que en Daule, la tendencia ascendente sugiere una mayor capacidad de amortiguación química (Figura 15).

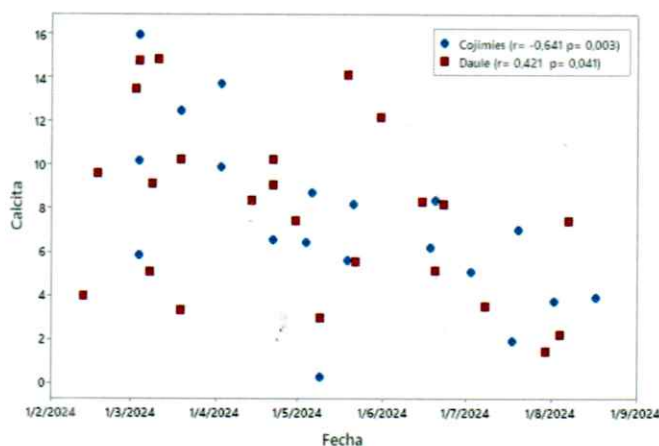


Figura 15. Tendencia de la Ω calcita según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule

3.3.6. Aragonita

En Cojimíes, el coeficiente de correlación positivo ($r = 0.168$) es muy bajo y no significativo ($p = 0.491$), lo que sugiere que no hay una relación clara entre las fechas de muestreo y los valores de saturación de Ω_{Ar} . Esto podría estar relacionado con una alta variabilidad ambiental o con factores aleatorios que afectan la química del carbonato en este sitio, como cambios en el flujo de agua o en la composición química debido a eventos esporádicos.

Por el contrario, en Daule, se observa una correlación positiva moderada ($r = 0.488$) y significativa ($p = 0.016$), lo que indica un incremento gradual en los valores de saturación de Ω_{Ar} a medida que avanza el tiempo. Este patrón puede reflejar un manejo más controlado de los estanques, con condiciones estables que favorecen la disponibilidad de carbonatos necesarios para mantener niveles óptimos de saturación de Ω_{Ar} (Figura 16).

La comparación entre ambos sitios evidencia diferencias clave en la estabilidad y dinámica de la saturación de Ω_{Ar} . Mientras que Cojimíes presenta una alta dispersión de valores sin un patrón definido, Daule muestra una tendencia más consistente y progresiva, probablemente debido a condiciones ambientales o de manejo más reguladas.

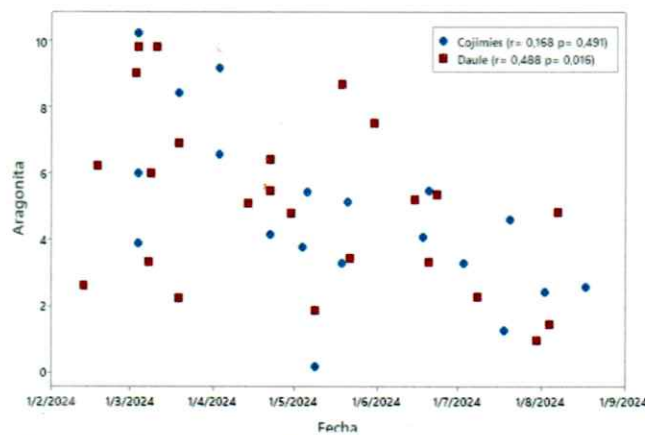


Figura 16. Tendencia de la Ω aragonita según fechas de muestreo en las Camaroneras de Cojimíes y Daule

3.4. Análisis comparativo del pH frente a parámetros clave del sistema de carbonatos

3.4.1. Relación entre pH y alcalinidad total en las camaroneras de Cojimies y Daule

En Cojimies, el coeficiente de correlación ($r=-0.570$) indica una relación negativa moderada, lo que significa que a medida que el pH aumenta, la alcalinidad total tiende a disminuir. Este resultado es estadísticamente significativo ($p=0.011$), confirmando que la relación no es producto del azar. Por otro lado, en Daule, el coeficiente de correlación ($r=-0.504$) también muestra una relación negativa moderada, con un valor de $p=0.012$, igualmente significativo. La relación más fuerte en Cojimies ($r=-0.570$) sugiere que, en esta localidad, el cambio en el pH tiene un mayor impacto sobre la alcalinidad total en comparación con Daule ($r=-0.504$). Esto podría deberse a diferencias locales en factores como salinidad, temperatura o el manejo de los estanques.

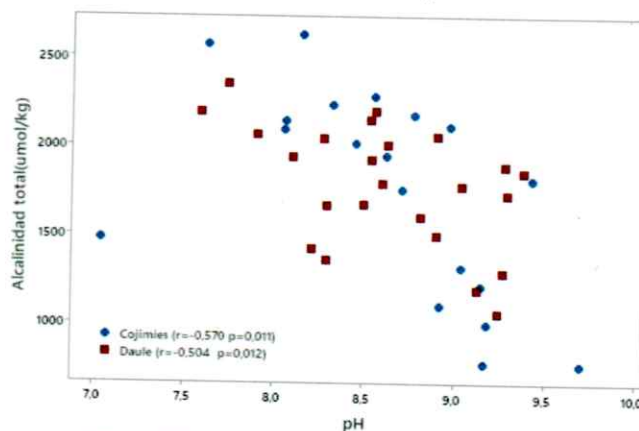


Figura 17. Relación entre el pH y Alcalinidad Total

3.4.2. Relación entre pH y pCO_2 en las camaroneras de Cojimies y Daule

La gráfica ilustra la relación entre el pH (eje X) y la presión parcial de dióxido de carbono (pCO_2 , eje Y) en las camaroneras de Cojimies ($r = -0.771$, $p = 0.000$) y Daule ($r = -0.802$, $p = 0.000$). En ambos sitios, se evidencia una correlación negativa fuerte y estadísticamente significativa, lo que indica que a medida que el pH aumenta, los niveles de pCO_2 disminuyen de manera marcada, reflejando procesos químicos asociados al equilibrio del sistema de carbonatos.

En Cojimies, la relación inversa ($r = -0.771$) destaca que un incremento en el pH está acompañado de una reducción sustancial en la presión parcial de CO_2 , lo que puede atribuirse al cambio en las proporciones de las especies de carbono inorgánico disuelto (DIC). A valores más altos de pH, el CO_2 disuelto se convierte predominantemente en

bicarbonatos y carbonatos, disminuyendo la $p\text{CO}_2$ en el sistema. Esto es consistente con el comportamiento químico esperado en sistemas acuáticos donde el equilibrio ácido-base está regulado por la dinámica del CO_2 y el sistema de carbonatos.

En Daule, la correlación es aún más pronunciada ($r = -0.802$), indicando una mayor sensibilidad del $p\text{CO}_2$ a los cambios en el pH en comparación con Cojimíes. Este patrón sugiere un mayor control del equilibrio químico en esta camaronera, posiblemente derivado de prácticas de manejo que favorecen la estabilidad de la alcalinidad y amortiguan los efectos de la acumulación de CO_2 en el sistema (Figura 18).

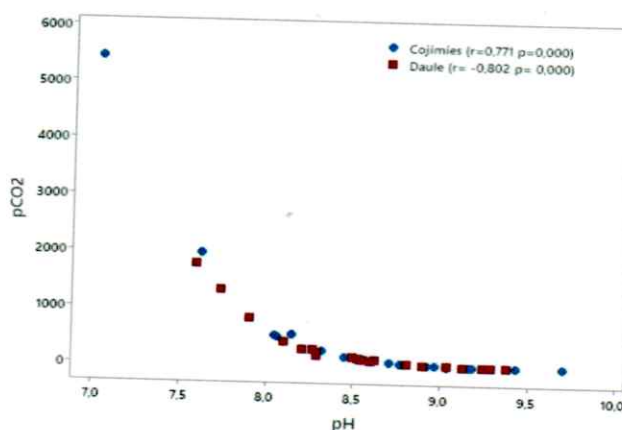


Figura 18. Relación entre pH y $p\text{CO}_2$

3.4.3. Relación entre pH y $t\text{CO}_2$ en las camaroneras de Cojimíes y Daule

La relación entre el pH y el carbono inorgánico total ($t\text{CO}_2$) en las camaroneras de Cojimíes ($r = -0.819$, $p = 0.000$) y Daule ($r = -0.893$, $p = 0.000$) muestra una correlación negativa significativa en ambos sitios. En Cojimíes, la correlación negativa fuerte indica que el $t\text{CO}_2$ disminuye directamente a medida que el pH aumenta, reflejando un sistema químico donde, a valores de pH bajos, el CO_2 disuelto y el bicarbonato (HCO_3^-) predominan como las principales especies del sistema de carbonatos. En Daule, la relación es aún más marcada, con una correlación negativa más fuerte.

La comparación entre ambos sitios (Figura 19) revela que, aunque la dinámica química es consistente, en Daule el equilibrio del sistema de carbonatos está más estrechamente relacionado con las variaciones del pH, reflejando un control más preciso sobre los aportes de CO_2 y la alcalinidad (Figura 19). Este patrón subraya la interacción fundamental entre pH y $t\text{CO}_2$, característica de sistemas influenciados por la acumulación de dióxido de carbono. A menores valores de pH, el sistema acumula más CO_2 y bicarbonato, mientras que a pH más altos se favorece la formación de carbonato (CO_3^{2-}).

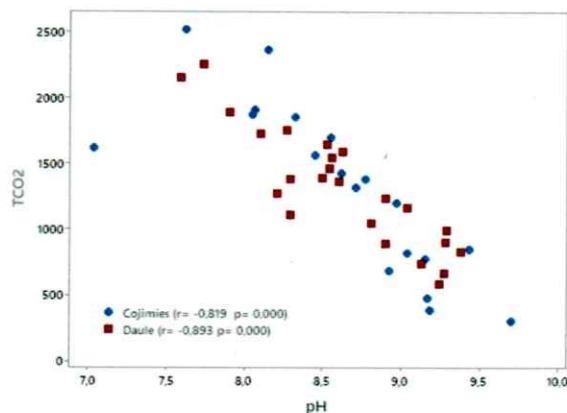


Figura 19. Relación entre pH y tCO_2

3.4.4. Relación entre calcita y pH en las camaroneras de Cojimies y Daule

La gráfica muestra la relación entre el pH y la saturación de Ω calcita en las camaroneras de Cojimies y Daule. Ambos sitios presentan una correlación positiva significativa, aunque con diferencias en la fuerza de la relación.

En Cojimies, la correlación positiva moderada a fuerte ($r = 0.677$) indica que a medida que el pH aumenta, los valores de saturación de Ω calcita también incrementan de manera significativa. Esto refleja que en condiciones de pH más alto, el sistema químico favorece la formación de carbonato (CO_3^{2-}), el cual incrementa la saturación de Ω calcita. Este patrón podría estar influenciado por la química local del agua y procesos como la disminución de la presión parcial de CO_2 (pCO_2), lo que reduce la acidez y favorece un mayor equilibrio químico.

En Daule y Cojimies, se observa una correlación positiva muy fuerte ($r = 0.901$ y $r = 0.901$ respectivamente), entre el pH y la saturación de Ω calcita; sin embargo la baja variabilidad en el pH pero alta variabilidad en los demás parámetros del sistema de carbonatos dentro de cada piscina a lo largo de un mismo ciclo de cultivo, especialmente en alcalinidad total, sugiere un efecto de las prácticas de manejo y no solo del agua en el sitio de cultivo, manteniendo niveles de pH alto que evitarían la solubilización de aragonita y calcita, pero que al mismo tiempo sugiere un uso no optimizado de alcalinizantes que podría mejorarse mediante un monitoreo de estos parámetros para reducir la variabilidad durante el ciclo de cultivo. Esto es particularmente necesario en zonas como Cojimies, con mayor influencia estuarina y por lo tanto mayor variabilidad natural (Figura 20).

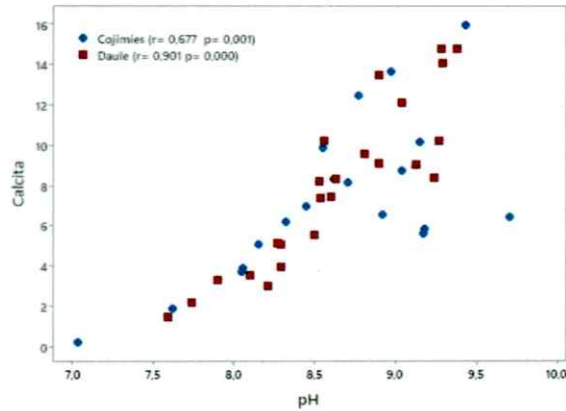


Figura 20. Relación entre pH y Ω calcita

3.4.5. Relación entre aragonita y pH en las camaroneras de Cojimies y Daule

En Cojimies, se observa una correlación positiva moderada a fuerte ($r = 0.635$), lo que refleja un incremento significativo en la saturación de Ω aragonita con el aumento del pH. Este comportamiento sugiere que, a medida que el pH se eleva, disminuye la concentración de CO_2 disuelto y aumenta la disponibilidad de carbonato (CO_3^{2-}), favoreciendo la formación de Ω aragonita. Sin embargo, la fuerza de la relación moderada puede indicar la influencia de factores externos o dinámicas locales que generan mayor variabilidad en este sitio.

En Daule, la correlación es positiva y muy fuerte ($r = 0.877$), evidenciando una relación mucho más marcada entre el pH y la saturación de Ω aragonita. Este comportamiento podría asociarse con condiciones ambientales más estables o un manejo eficiente de los estanques, que permite mantener un equilibrio químico favorable para la formación de Ω aragonita. Comparativamente, Daule presenta una correlación más significativa entre el pH y la saturación de Ω aragonita en comparación con Cojimies (Figura 21).

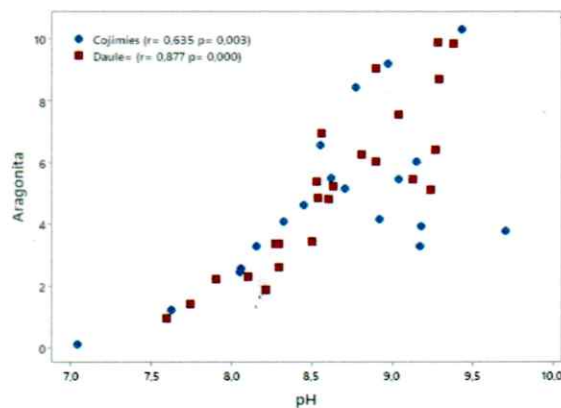


Figura 21. Relación entre pH y Ω aragonita

3.5. Discusión

En esta investigación se logró caracterizar la dinámica y fluctuación de los parámetros fisicoquímicos y del sistema de carbonatos en sistemas de cultivo de camarón, seleccionando dos sitios estratégicos debido a sus similitudes y diferencias inherentes en ubicación y características ambientales. Estos sistemas, localizados en zonas estuarinas, representan áreas de interés clave debido a su influencia en la dinámica química y biológica del agua.

El estudio permitió identificar los valores máximos y mínimos de los parámetros críticos, como pH, salinidad, temperatura y alcalinidad total (AT), los cuales no habían sido establecidos previamente para estos sistemas de cultivo debido a la ausencia de investigaciones previas en estas áreas. La recopilación y análisis de estos datos proporciona un punto de referencia fundamental para comprender las condiciones operativas bajo las cuales se desarrollan estos sistemas, destacando la importancia de evaluar de manera sistemática las características fisicoquímicas y los procesos biogeoquímicos que regulan la dinámica del sistema de carbonatos en ambientes acuícolas.

Además de caracterizar la dinámica de los parámetros fisicoquímicos en los sistemas de cultivo, esta investigación aborda la importancia de las variables químicas asociadas a la acidificación oceánica (AO), como el pH, alcalinidad total (AT), la presión parcial de CO₂ (pCO₂) y los índices de saturación de carbonatos (Ω_{Ca} y Ω_{Ar}). Estos parámetros son fundamentales para evaluar cómo los sistemas acuáticos responden a los cambios globales en la química oceánica, que podrían tener implicaciones significativas en la sostenibilidad del cultivo de *Litopenaeus vannamei*.

En Cojimés, el pH promedio fue de 8.59 ± 0.10 , mientras que en Daule fue ligeramente menor, con un valor promedio de 8.52 ± 0.08 . Se encontró una correlación negativa significativa entre el pH y la presión parcial de CO₂ (pCO₂) en ambos sitios, siendo más pronunciada en Daule ($r = -0.802$, $p < 0.001$) que en Cojimés ($r = -0.771$, $p < 0.001$). Esto indica que el aumento en el pH está asociado con una disminución en la pCO₂, debido a la conversión de CO₂ disuelto en bicarbonatos y carbonatos.

Este comportamiento es consistente con estudios que demuestran la relación inversa entre pH y pCO₂ en sistemas acuáticos. La ecuación de Henderson-Hasselbalch describe cómo el pH de una solución está relacionado con la concentración de CO₂ y la alcalinidad, indicando que un aumento en la concentración de CO₂ disuelto resulta en una

disminución del pH, y viceversa (González & Sánchez, 2002). Además, investigaciones sobre la acidificación oceánica han observado que la absorción de CO₂ atmosférico por los océanos disminuye el pH del agua, afectando el equilibrio del sistema de carbonatos (Roger, 2022). Por otro lado, estudios en sistemas acuáticos han encontrado correlaciones significativas entre pH y pCO₂, reflejando la dinámica del carbono inorgánico disuelto y su influencia en la química del agua (Hernández-Ayón et al., 2003).

En conjunto la salinidad y la temperatura son factores críticos en el cultivo del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), ya que influyen directamente en su crecimiento, supervivencia y eficiencia metabólica. Estudios han demostrado que variaciones en estos parámetros pueden afectar significativamente el desarrollo de las larvas y juveniles de esta especie. Por ejemplo, investigaciones realizadas por (Bermudes-Lizárraga et al., 2017) indican que tanto la salinidad como la temperatura impactan el metabolismo y crecimiento de las larvas de *L. vannamei*. Además, (Guerrero et al., 1999) encontraron que cambios en estos factores pueden alterar la tasa de supervivencia y desarrollo larval.

En Cojimíes se presentó una salinidad promedio de 26.3 ± 3.8 UPS, con mayor variabilidad debido a aportes de agua dulce a manera de lluvia, y por el hecho de la falta de recambio de agua y en temperatura registró un promedio de 28.8 ± 0.9 °C, mientras que en Daule mostró una salinidad más estable, con un promedio de 28.2 ± 1.6 UPS, y una temperatura promedio de 28.8 ± 0.9 °C, debido a prácticas de manejo que tendría repercusión en la estabilidad del sistema de cultivo y explicarían la menor variabilidad en salinidad y temperatura observada en Daule respecto a Cojimíes. En este último donde además hubo más eventos de variabilidad natural como lluvias y mayor influencia del río. Estas diferencias pueden influir en el rendimiento del cultivo, ya que temperaturas más estables y ligeramente elevadas, como las de Daule, pueden mejorar la eficiencia metabólica y el crecimiento del camarón.

La dinámica del carbono inorgánico en sistemas acuáticos, está influenciada por diversos factores que afectan la presión parcial de dióxido de carbono (pCO₂) y el carbono inorgánico total (tCO₂). En Cojimíes, se registró un pCO₂ promedio de 265.1 ± 45.2 μatm, superior al de Daule, que fue de 245.6 ± 35.8 μatm. Esta diferencia sugiere una mayor acumulación de CO₂ en Cojimíes, posiblemente debido a la descomposición de materia orgánica y procesos microbianos asociados al uso de aditivos químicos. La descomposición de materia orgánica en ambientes acuáticos libera CO₂, incrementando la pCO₂ y afectando el equilibrio del sistema de carbonatos (Álvarez, 2005).

Los valores promedio de $t\text{CO}_2$ fueron de $1850 \pm 150 \mu\text{mol/kg}$ en Cojimíes y $1795 \pm 125 \mu\text{mol/kg}$ en Daule. La correlación negativa entre pH y $t\text{CO}_2$ fue más pronunciada en Daule ($r = -0.893$, $p < 0.001$) que en Cojimíes ($r = -0.819$, $p < 0.001$), indicando un sistema químico más estable en Daule. La relación inversa entre pH y $t\text{CO}_2$ es característica de sistemas acuáticos, donde un aumento en $t\text{CO}_2$, principalmente como CO_2 disuelto, reduce el pH al formar ácido carbónico. La estabilidad observada en Daule podría deberse a prácticas de manejo que controlan la carga orgánica y la calidad del agua, reduciendo la producción de CO_2 y manteniendo un equilibrio en el sistema de carbonatos.

En cuanto a los niveles de saturación de aragonita (Ω_{Ar}) y calcita (Ω_{Ca}) son indicadores clave de la salud de los ecosistemas costeros y de los sistemas de acuicultura, ya que determinan la disponibilidad de carbonato de calcio necesario para la calcificación de organismos marinos. En el estudio comparativo entre las camaroneras de Cojimíes y Daule, se observó que Daule presenta valores de saturación más elevados para aragonita (3.35 ± 0.15) y calcita (5.20 ± 0.20) en comparación con Cojimíes, donde los promedios fueron de 3.10 ± 0.25 para aragonita y 4.85 ± 0.40 para calcita. Estos resultados sugieren que Daule ofrece un entorno químico más propicio para la calcificación, mientras que Cojimíes podría estar más afectado por procesos que reducen la disponibilidad de carbonatos, como la actividad microbiana y las fluctuaciones de pH.

Este fenómeno afecta especialmente a los ecosistemas costeros y a los sistemas de acuicultura, donde la dinámica del carbono es más compleja debido a factores locales como la eutrofización y la descomposición de materia orgánica. Estudios han demostrado que en áreas de cultivo de mitílidos, la saturación de aragonita puede ser inferior a 2, indicando aguas corrosivas para el carbonato de calcio, lo que dificulta la calcificación en organismos marinos (Alarcón, Torres, et al., 2015). Además, la combinación de acidificación y calentamiento oceánico puede alterar los ciclos biogeoquímicos y afectar la biodiversidad marina, impactando negativamente en la pesca y la acuicultura (UICN, 2023).

La rápida acidificación en ecosistemas costeros se debe a la interacción de procesos naturales y actividades antropogénicas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, que incrementan la concentración de CO_2 atmosférico. Este gas, al disolverse en el agua del mar, forma ácido carbónico, disminuyendo el pH y alterando el

equilibrio químico del agua marina, con consecuencias devastadoras para la vida marina (Ambientum, 2023).

Los sistemas de cultivo de camarón, como los de Cojimíes y Daule, son entornos confinados donde se emplean diversos aditivos químicos y biológicos para optimizar la producción. Esta práctica contrasta con la variabilidad observada en sistemas naturales, ya que la introducción de fertilizantes, antibióticos, bacterias, carbonatos, vitaminas y desparasitantes altera significativamente la dinámica química y biológica del medio.

La adición de bacterias específicas, como *Bacillus* spp., influye en los procesos de fermentación dentro del sistema de cultivo. Estas bacterias descomponen la materia orgánica, generando dióxido de carbono (CO_2) como subproducto. Este incremento en la producción de CO_2 puede reducir el pH del agua, afectando el equilibrio del sistema de carbonatos y, por ende, la disponibilidad de minerales esenciales para los organismos en cultivo. Estudios han demostrado que la actividad microbiana en sistemas de cultivo intensivo puede llevar a fluctuaciones significativas en los niveles de CO_2 y pH, impactando la salud y el crecimiento de las especies cultivadas (Albíter-Pineda et al., 2020).

Por otro lado, la presencia natural de fitoplancton en estos sistemas también juega un papel crucial en la dinámica del pH. Durante períodos de alta intensidad lumínica, el fitoplancton realiza fotosíntesis, consumiendo CO_2 y elevando el pH del agua. Sin embargo, esta elevación es temporal y puede ser seguida por una disminución del pH durante la noche, cuando la respiración del fitoplancton y otros organismos libera CO_2 . Este ciclo diario de fluctuaciones de pH es más pronunciado en sistemas confinados debido a la alta densidad de organismos y la limitada renovación de agua (Alarcón, Valdés, et al., 2015).

En cuanto a la saturación de minerales como la calcita (Ω_{Ca}) y la aragonita (Ω_{Ar}), los sistemas de cultivo confinados presentan diferencias notables en comparación con los sistemas costeros naturales. La manipulación de la química del agua mediante la adición de carbonatos, como la zeolita y la cal, busca mantener niveles adecuados de alcalinidad y dureza, esenciales para la formación de estructuras calcáreas en los organismos. Sin embargo, estudios en áreas de cultivo han reportado estados de saturación bajos de aragonita ($\Omega_{\text{Ar}} < 2$), e incluso condiciones corrosivas para el carbonato de calcio ($\Omega < 1$), especialmente cuando se introducen aguas de baja salinidad y alcalinidad (Alarcón,

Valdés, et al., 2015). Estas condiciones pueden comprometer la integridad estructural de los organismos calcificadores, afectando su crecimiento y supervivencia.

En contraste, en sistemas costeros naturales, la saturación de Ω_{Ca} y Ω_{Ar} está influenciada por procesos como las surgencias y la mezcla de masas de agua con diferentes características químicas. Por ejemplo, en la plataforma continental de Baja California, se han registrado aguas subsaturadas en aragonita durante eventos de surgencia, lo que afecta la disponibilidad de carbonato de calcio para los organismos marinos (Oliva Norma, 2012). Estas variaciones naturales difieren de las observadas en sistemas de cultivo, donde la intervención humana modifica las condiciones químicas del agua de manera más directa y controlada.

3.6. Comprobación de hipótesis

Los datos y resultados del estudio permiten evaluar la hipótesis de si la química de carbonatos presenta una alta variabilidad, alcanzando niveles comparables a los escenarios de acidificación oceánica a finales del siglo.

pH

- En Cojimíes, se observó una correlación negativa moderada a fuerte entre el tiempo y el pH, indicando una disminución significativa del pH debido a la acumulación de CO_2 y procesos biológicos como la respiración de organismos. La prueba estadística reveló un $p < 0.05$, validando la existencia de variación significativa.
- En Daule, la tendencia fue menos pronunciada, pero también mostró una disminución del pH. Esto podría deberse a la mayor estabilidad ambiental en estos estanques.

Alcalinidad Total (AT)

- En Cojimíes, la AT mostró un incremento progresivo moderado, posiblemente asociado a la descomposición de materia orgánica, aunque con una significancia marginal ($p = 0.051$).
- En Daule, el aumento de la AT fue más consistente ($p = 0.039$), reflejando un sistema mejor regulado en términos de equilibrio químico.

Presión Parcial de CO_2 (pCO_2)

- En Cojimíes, la pCO_2 no presentó una tendencia consistente a lo largo del tiempo, indicando fluctuaciones no significativas.

- En Daule, se observó una correlación positiva moderada ($p = 0.016$), destacando el incremento progresivo de CO_2 disuelto como resultado de procesos biológicos y manejo intensivo de los estanques.

Carbono Inorgánico Disuelto (DIC)

- En Cojimíes, el DIC mostró una tendencia a incrementarse, especialmente durante las corridas de cultivo más prolongadas. Este aumento está asociado con la descomposición de materia orgánica y la acumulación de CO_2 disuelto. El análisis estadístico indicó significancia marginal ($p = 0.048$).
- En Daule, el DIC se mantuvo más estable, sugiriendo que el control del recambio de agua podría mitigar el efecto de la respiración orgánica.

Saturación de Calcita (Ω_{cal})

- En Cojimíes, la Ω_{cal} presentó una tendencia decreciente con el tiempo, especialmente en los días finales de cada corrida, reflejando un sistema menos saturado en carbonatos.
- En Daule, los valores de Ω_{cal} se mantuvieron más altos y estables ($p > 0.05$), indicando condiciones más favorables para los procesos de calcificación.

Saturación de Aragonita (Ω_{arag})

- En Cojimíes, la Ω_{arag} también disminuyó a lo largo del tiempo, con valores cercanos al límite de sobresaturación ($\Omega = 1$), lo que indica vulnerabilidad para organismos calcificadores.
- En Daule, los valores de Ω_{arag} fueron significativamente más altos ($p < 0.05$) que en Cojimíes, manteniéndose en un rango óptimo para la calcificación durante las corridas de cultivo

Evaluación de hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): Los cultivos de camarones en zonas estuarino-costeras del estuario de Cojimíes no presentan condiciones de química de carbonatos altamente variables, alcanzando niveles comparables a los escenarios de acidificación oceánica estimados para fin de siglo.

Hipótesis Alternativa (H_A): Los cultivos de camarones en zonas estuarino-costeras del estuario de Cojimíes presentan condiciones de química de carbonatos altamente variables, alcanzando niveles comparables a los escenarios de acidificación oceánica estimados para fin de siglo.

Evidencia a favor de la Hipótesis Alternativa (HA)

Los cambios observados en el pH, la alcalinidad total y el carbono inorgánico disuelto (DIC) respaldan la hipótesis de que existen variaciones significativas en las condiciones químicas del agua en las camaroneras de Cojimíes. Además, la saturación de calcita y aragonita en esta localidad mostró un declive preocupante, indicando un entorno menos favorable para los procesos de calcificación, mientras que en Daule estos parámetros se mantuvieron más estables y dentro de un rango óptimo.

Por otro lado, el incremento progresivo de la presión parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) y su correlación con la disminución del pH destacaron la influencia de procesos biológicos y el manejo del agua en ambos sistemas.

En conclusión, la hipótesis alternativa (HA) se confirma parcialmente. En Cojimíes, los parámetros como el pH, Ω calcita y Ω aragonita presentaron variaciones significativas relacionadas con la acidificación oceánica, lo que evidencia una mayor vulnerabilidad de este sistema. Por el contrario, Daule demostró una mayor estabilidad química, lo que sugiere una capacidad más eficiente para enfrentar los efectos de la acidificación oceánica.

4. Conclusiones

- Los sistemas de cultivo de *Litopenaeus vannamei* analizados en este trabajo presentan fluctuaciones amplias en los parámetros de pH, alcalinidad total y la saturación de aragonita y calcita.
- Los niveles de pCO₂ obtenidos a partir de los cálculos desarrollados en este estudio, podrían ser equivalentes a escenarios de acidificación oceánica estimados a futuro en contexto de cambio climático para sistemas marinos, sin embargo son comparables a lo esperado en sistemas costeros.
- El monitoreo periódico de parámetros clave como pH, salinidad y temperatura es esencial para identificar tendencias y mitigar riesgos asociados a la variabilidad química del agua. Este enfoque permite ajustar estrategias de manejo que garanticen la sostenibilidad de los cultivos en un escenario de cambio climático.
- Este estudio proporciona una base científica para futuras investigaciones sobre la interacción entre la química del carbonato y la salud de los sistemas acuícolas. Además, puede servir como referencia para el desarrollo de políticas de manejo que consideren los impactos del cambio climático en la producción camaronera.

5. Recomendaciones

- Implementar un programa de monitoreo continuo en los estanques camaroneros que incluya la medición regular de pH, temperatura, salinidad y alcalinidad total, para anticipar y mitigar los impactos de la variabilidad en los sistemas de carbonato y la acidificación oceánica.
- Proporcionar capacitación a los productores camaroneros sobre los efectos de la acidificación oceánica en los cultivos de *Litopenaeus vannamei* y la importancia de mantener parámetros óptimos en los estanques, promoviendo prácticas de manejo sostenibles.
- Diseñar estrategias de manejo basadas en los resultados de la investigación, como el ajuste de la alcalinidad del agua para estabilizar el pH, el control de la calidad del agua mediante aireación adecuada y el uso de biofiltros para mitigar fluctuaciones químicas.
- Fomentar estudios adicionales que evalúen a largo plazo los efectos de la química de los carbonatos en sistemas camaroneros bajo diferentes escenarios climáticos, para desarrollar modelos predictivos y estrategias de mitigación más robustas.

6. Bibliografías

- Ahmad, M., Ahmad, A., Omar, T. F. T., & Mohammad, R. (s. f.). Current Trends of Analytical Techniques for Total Alkalinity Measurement in Water Samples: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 0(0), 1-11.
<https://doi.org/10.1080/10408347.2023.2199432>
- Alarcón, E., Torres, R., & Valdés, N. (2015). Saturación del carbonato de calcio en un área de cultivo de mitilidos en el Seno Reloncaví, Patagonia norte, Chile.
https://www.researchgate.net/publication/277724272_Saturacion_del_carbonato_de_calcio_en_un_area_de_cultivo_de_mitilidos_en_el_Seno_Reloncavi_Patagonia_norte_Chile
- Alarcón, E., Valdés, N., & Torres, R. (2015). Saturación del carbonato de calcio en un área de cultivo de mitilidos en el Seno Reloncaví, Patagonia norte, Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 43(2), 277-281.
<https://doi.org/10.3856/vol43-issue2-fulltext-1>
- Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., Lugo, J., Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., & Lugo, J. (2020). Flujo de CO₂ y su relación con propiedades bioquímicas en cultivos hortícolas en invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(3).
<https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2548>
- Alianza del Observatorio de Acidificación Oceánica. (2023). Shrimp [Alaska Ocean Acidification Network]. *Alaska Ocean Acidification Network*.
<https://aoan.aos.org/impacts/species-response/shrimp/>
- Álvarez, S. (2005). La descomposición de materia orgánica en humedales: La importancia del componente microbiano. *Ecosistemas*, 14(2), 17-29.
- Ambientum. (2023). *Acidificación oceánica: Una amenaza silenciosa de océanos y vida marina*. <https://www.ambientum.com/ambientum/medio-natural/causas-y-consecuencias-de-la-acidificacion-oceanica-un-analisis-detallado.asp>
- Anna, A. T., & Dinesh, K. (2021). Feasibility study and seasonal variations in physico-chemical parameters of water and soil quality analysis and management of the Vannamei shrimp farms in Kerala, India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 9(6), 113–119. <https://doi.org/10.22271/fish.2021.v9.i6b.2592>
- Andrews, J. W., Gabbott, P. A., & Boyd, C. E. (1996). *Principles of water quality management in aquaculture*. Springer.
- Anes, B., Bettencourt da Silva, R. J. N., Oliveira, C., & Filomena Camões, M. (2018). Uncertainty evaluation of alkalinity measurements on seawater samples. *Measurement*, 129, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.042>
- Arellano, A. (1990). *Estudios sobre la calidad larval en camarones peneidos*.
 Publicación científica

- Arredondo, J. L. (1991). *Parámetros de calidad del agua en cultivos de camarones*. *Revista de Acuicultura*, 5(2), 101-110.
- At, A., & K, D. (2021). Feasibility study and seasonal variations in physico-chemical parameters of water and soil quality analysis and management of the Vannamei shrimp farms in Kerala, India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 9(6), 113-119. <https://doi.org/10.22271/fish.2021.v9.i6b.2592>
- Avnimelech, Y. (1999). *Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems*. *Aquaculture Journal*, 176(3-4), 227-235.
- Azuero, E. S. U., Montealegre, V. J. G., Campoverde, J. M. Q., & Unda, S. B. (2021). Análisis del comportamiento económico de la exportación en el sector camaronero en el Ecuador, periodo 2015- 2019. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), Article S1.
- Benítez, S., Navarro, J. M., Mardones, D., Villanueva, P. A., Ramirez-Kushel, F., Torres, R., & Lagos, N. A. (2023). Direct and indirect impacts of ocean acidification and warming on algae-herbivore interactions in intertidal habitats. *Marine Pollution Bulletin*, 195, 115549. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115549>
- Bermudes-Lizárraga, J. F., Nieves-Soto, M., Medina-Jasso, M. A., Román-Reyes, J. C., Flores-Campaña, L. M., Ortega-Salas, A. A., & Piña-Valdez, P. (2017). Efecto de la temperatura y salinidad en el crecimiento larval de *Litopenaeus vannamei*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 52(3), 611-615. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000300016>
- Bignami, S., Enochs, I. C., Manzello, D. P., Sponaugle, S., & Cowen, R. K. (2013). Ocean acidification alters the otoliths of a pantropical fish species with implications for sensory function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(18), 7366-7370. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301365110>
- Boulais, M., Chenevert Kyle, J., Taylor Demey, A., Darrow, E. S., Raine Robison, M., Park Roberts, J., & Volety, A. (2017). *Oyster reproduction is compromised by acidification experienced seasonally in coastal regions* | *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13480-3>
- Boyd, C. E., Boyd, C. A., & Chainark, S. (2012). *The Shrimp Book: Shrimp pond soil and water quality management - Responsible Seafood Advocate*. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/the-shrimp-book-pond-soil-water-quality-management/>
- Boyd, C. E., & Hanson, T. (2010). *Dissolved oxygen concentrations in pond aquaculture—Responsible Seafood Advocate*. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/dissolved-oxygen-concentrations-pond-aquaculture/>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*.

Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>

- Broullón, D., Pérez, F. F., Velo, A., Hoppema, M., Olsen, A., Takahashi, T., Key, R. M., Tanhua, T., González-Dávila, M., Jeansson, E., Kozyr, A., & van Heuven, S. M. A. C. (2019). A global monthly climatology of total alkalinity: A neural network approach. *Earth System Science Data*, *11*(3), 1109-1127. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1109-2019>
- Caldeira, K., & Wickett, M. E. (2005). *Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean—Caldeira—2005—Journal of Geophysical Research: Oceans—Wiley Online Library*. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004JC002671>
- Cano, E., Balmaceda, D., García, V., Palacios Sánchez, K., Osorio, K., & Aguilar, A. (2022). *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*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29349.17128>
- Carter, H. A., Ceballos-Osuna, L., Miller, N. A., & Stillman, J. H. (2013). Impact of ocean acidification on metabolism and energetics during early life stages of the intertidal porcelain crab *Petrolisthes cinctipes*. *The Journal of Experimental Biology*, *216*(Pt 8), 1412-1422. <https://doi.org/10.1242/jeb.078162>
- Castillo Alonso, L. A., & Hernández Fernández, A. J. (2011). *Crecimiento del camarón blanco Litopenaeus vannamei cultivado en dos densidades de siembra en estanques de concreto con aireación*. [Trabajo de tesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León]. Repositorio Institucional UNAN-León. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/4308/1/228568.pdf>
- Castillo-Briceno, P., & Navarrete-Mier, F. (2015). Potenciales Impactos de la Acidificación de los Océanos para las Pesquerías y Acuicultura Marina en Ecuador. *Tilapia&Camarones*, *7*, 28-33.
- CEAZA. (2019). *La acidificación y calentamiento oceánico afectarían distribución del erizo*. Recuperado de <https://ceaza.cl/2019/12/04/la-acidificacion-calentamiento-oceanico-afectarian-distribucion-del-erizo/>
- Chamberlain, G. (2010). *History of Shrimp Farming*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/287496187_History_of_Shrimp_Farming
- CIGoM. (2023). *Acidificación del océano*. Consorcio de Investigación del Golfo de México. <https://cigom.org/noticias/acidificacion-del-oceano/>
- Ching, C. A. (2007). *La alcalinidad en el agua de cultivo del camarón de mar Litopenaeus vannamei*. Recuperado de https://www.academia.edu/35764057/LA_ALCALINIDAD_EN_EL_AGUA_DE_CULTIVO_DEL_CAMAR%C3%93N_DE_MAR_Litopenaeus_vannamei

- Clifford, H. F. (1992). *Aquatic ecology: A descriptive approach*. Academic Press.
- CNA. (2022). *Estadísticas—Cámara Nacional de Acuacultura*. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- CNA. (2023). *Estadísticas—Cámara Nacional de Acuacultura*. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Conci, N., Griesshaber, E., Rivera-Vicéns, R. E., Schmahl, W. W., Vargas, S., & Wörheide, G. (2024). Molecular and mineral responses of corals grown under artificial Calcite Sea conditions. *Geobiology*, 22(1), e12586. <https://doi.org/10.1111/gbi.12586>
- Cornwall, C. E., Steeve Comeau, Hollie Putnam, & Verena Schoepf. (2022). Impacts of ocean warming and acidification on calcifying coral reef taxa: Mechanisms responsible and adaptive capacity. *Emerging Topics in Life Sciences*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.1042/ETLS20210226>
- Creswell, J. W. (2014). (s. f.). Recuperado 4 de noviembre de 2024, de https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- Czaja, R., Holmberg, R., Pales Espinosa, E., Hennen, D., Cerrato, R., Lwiza, K., O'Dwyer, J., Beal, B., Root, K., Zuklie, H., & Allam, B. (2023). Behavioral and physiological effects of ocean acidification and warming on larvae of a continental shelf bivalve. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 115048. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115048>
- Dickson, A. G. (1990). Standard potential of the reaction: $\text{AgCl(s)} + \frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) = \text{Ag(s)} + \text{HCl(aq)}$, and the standard acidity constant of the ion HSO_4^- in synthetic sea water from 273.15 to 318.15 K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 22(2), 113–127. [https://doi.org/10.1016/0021-9614\(90\)90074-Z](https://doi.org/10.1016/0021-9614(90)90074-Z)
- Dickson, A. G., Afghan, J. D., & Anderson, G. C. (2003). Materiales de referencia para el análisis oceánico de CO₂: Un método para la certificación de la alcalinidad total. *Marine Chemistry*, 80(2), 185-197. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(02\)00133-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(02)00133-0)
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(Volume 1, 2009), 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Doropoulos, C. S., Diaz-Pulido O, W. G., Hoegh-Guldberg, O., & Mumby, P. J. (2012). *Ocean acidification changes the behaviour of baby coral—UQ News—The University of Queensland, Australia*. <https://www.uq.edu.au/news/article/2012/04/ocean-acidification-changes-behaviour-of-baby-coral>
- Dupont, S., Hall, E., Calosi, P., & Lundve, B. (2014). First Evidence of Altered Sensory

- Quality in a Shellfish Exposed to Decreased pH Relevant to Ocean Acidification. *Journal of Shellfish Research*, 33(3), 857-861. <https://doi.org/10.2983/035.033.0320>
- Edemar, R., Silva, J., & Oliveira, P. (1996). *Desarrollo y alimentación de camarones marinos*. Acuicultura Internacional.
- Fabricius, K. E., Langdon, C., Uthicke, S., Humphrey, C., Noonan, S., De'ath, G., Okazaki, R., Muehllehner, N., Glas, M. S., & Lough, J. M. (2011). Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Climate Change*, 1(3), 165-169. <https://doi.org/10.1038/nclimate1122>
- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., & Orr, J. C. (2008a). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn048>
- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., & Orr, J. C. (2008b). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn048>
- Feely, R. A., Alin, S. R., Newton, J., Sabine, C. L., Warner, M., Devol, A., Krembs, C., & Maloy, C. (2010). The combined effects of ocean acidification, mixing, and respiration on pH and carbonate saturation in an urbanized estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(4), 442-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.05.004>
- Figuerola, B., Hancock, A. M., Bax, N., Cummings, V. J., Downey, R., Griffiths, H. J., Smith, J., & Stark, J. S. (2021). A Review and Meta-Analysis of Potential Impacts of Ocean Acidification on Marine Calcifiers From the Southern Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.584445>
- Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Seneviratne, S. I., Trewin, B., Zhang, X., Allen, M., Andrew, R., Birt, A., Borger, A., ... Zhai, P. (2023). Indicators of Global Climate Change 2022: Annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 15(6), 2295-2327. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745-1750. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0669-1>
- Frommel, A. Y., Maneja, R., Lowe, D., Malzahn, A. M., Geffen, A. J., Folkvord, A., Piatkowski, U., Reusch, T. B. H., & Clemmesen, C. (2012). Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification. *Nature Climate Change*, 2(1), 42-46. <https://doi.org/10.1038/nclimate1324>
- Fry, C. H., Tyrrell, T., Hain, M. P., Bates, N. R., & Achterberg, E. P. (2015). Analysis of global surface ocean alkalinity to determine controlling processes. *Marine*

Chemistry, 174, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2015.05.003>

- Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Allemand, D., Bopp, L., Cooley, S. R., Eakin, C. M., Hoegh-Guldberg, O., Kelly, R. P., Pörtner, H.-O., Rogers, A. D., Baxter, J. M., Laffoley, D., Osborn, D., Rankovic, A., Rochette, J., ... Turley, C. (2015a). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science*, 349(6243), aac4722. <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>
- Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Allemand, D., Bopp, L., Cooley, S. R., Eakin, C. M., Hoegh-Guldberg, O., Kelly, R. P., Pörtner, H.-O., Rogers, A. D., Baxter, J. M., Laffoley, D., Osborn, D., Rankovic, A., Rochette, J., ... Turley, C. (2015b). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science*, 349(6243), aac4722. <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>
- Gaxiola, G., & Rodríguez-Almaraz, G. (2017). Adaptaciones fisiológicas del camarón *Litopenaeus vannamei* en estuarios: Influencia de la salinidad y temperatura en su crecimiento. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 457-468. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000300016>
- Glandon, H. L., Kilbourne, K. H., Schijf, J., & Miller, T. J. (2018). Counteractive effects of increased temperature and pCO₂ on the thickness and chemistry of the carapace of juvenile blue crab, *Callinectes sapidus*, from the Patuxent River, Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 498, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.11.005>
- Green, B. W., Phelps, R. P., & Alvarenga, H. R. (1996). *Evaluation of diets for Litopenaeus vannamei in intensive pond culture systems*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(1), 78-84.
- Gruber, N., Hauri, C., Lachkar, Z., Loher, D., Frolicher, T. L., & Plattner, G.-K. (2012). *Rapid Progression of Ocean Acidification in the California Current System* | *Science*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1216773>
- González, M. E., & Sánchez, M. A. (2002). Determinación del estado de equilibrio de un sistema hídrico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18(2), 67-74. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0583-76932002000200004&script=sci_arttext
- Guerrero, P., Gutiérrez, M. A. G., & López, M. L. (1999). Influencia de los parámetros ambientales en el crecimiento de camarones *Litopenaeus* en el sistema de cultivo semi-intensivo, en la granja « Campa S.A. » *Encuentro*, 51, Article 51. <https://doi.org/10.5377/encuentro.v0i51.3827>
- Guiney, H., & Mucci, A. O. (2024). Competitive dissolution of mixed carbonate solids under simulated ocean acidification. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2024.09.014>
- Hall-Spencer, J. M., & Harvey, B. P. (2019). Ocean acidification impacts on coastal

- ecosystem services due to habitat degradation. *Emerging Topics in Life Sciences*, 3(2), 197-206. <https://doi.org/10.1042/ETLS20180117>
- Hare, A., Evans, W., Pocock, K., Weekes, C., & Gimenez, I. (2020). Contrasting marine carbonate systems in two fjords in British Columbia, Canada: Seawater buffering capacity and the response to anthropogenic CO₂ invasion. *PLOS ONE*, 15(9), e0238432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238432>
- Hassan Omer, N. (2020). *Water Quality Parameters*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>
- Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). Emissions—The «business as usual» story is misleading. *Nature*, 577(7792), 618-620. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>
- Hernández Sampieri (2014). Recuperado 4 de noviembre de 2024, de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hernández-Ayón, J. M., Zirino, A., Marinone, S. G., Canino-Herrera, R., & Galindo-Bect, M. S. (2003). Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias marinas*, 29(4), 497-508.
- Herrera, C. (1999). *Impacto del oxígeno disuelto en el metabolismo del camarón*. Editorial Ciencias Marinas.
- Hirsh, H. K., Nickols, K. J., Takeshita, Y., Traiger, S. B., Mucciarone, D. A., Monismith, S., & Dunbar, R. B. (2020). Drivers of Biogeochemical Variability in a Central California Kelp Forest: Implications for Local Amelioration of Ocean Acidification. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(11), e2020JC016320. <https://doi.org/10.1029/2020JC016320>
- Hofmann, G., Barry, J., Edmunds, P., Gates, R., Hutchins, D., Klinger, T., & Sewell, M. (2010). The Effect of Ocean Acidification on Calcifying Organisms in Marine Ecosystems: An Organism-to-Ecosystem Perspective. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 41, 127-147. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120227>
- Hofmann, G. E., Barry, J. P., Edmunds, P. J., Gates, R. D., Hutchins, D. A., Klinger, T., & Sewell, M. A. (2010). The Effect of Ocean Acidification on Calcifying Organisms in Marine Ecosystems: An Organism-to-Ecosystem Perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41(1), 127-147. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120227>
- Hohn, S., & Reymond, C. E. (2019). Coral calcification, mucus, and the origin of skeletal organic molecules. *Coral Reefs*, 38(5), 973-984. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01826-4>
- Hu, N., Bourdeau, P. E., & Hollander, J. (2024). Responses of marine trophic levels to the combined effects of ocean acidification and warming. *Nature Communications*, 15(1), 3400. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47563-3>

- Humphreys, M. P., Lewis, E. R., Sharp, J. D., & Pierrot, D. (2022). PyCO2SYS v1.8: Marine carbonate system calculations in Python. *Geoscientific Model Development*, 15(1), 15-43. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-15-2022>
- Hurd, C. L., Beardall, J., Comeau, S., Cornwall, C. E., Havenhand, J. N., Munday, P. L., Parker, L. M., Raven, J. A., & McGraw, C. M. (2020). Ocean acidification as a multiple driver: How interactions between changing seawater carbonate parameters affect marine life. *Marine and Freshwater Research*, 71(3), 263. <https://doi.org/10.1071/MF19267>
- Iglesias, D., & Suárez, N. (2010). *Los erizos de mar toleran la acidificación que propicia el cambio climático*. ABC. Recuperado de https://www.abc.es/ciencia/erizo-tolera-acidificacion-oceanos-201010260000_noticia.html
- Indeed Editorial Team. (2024). *Social Research: Definition, Types and Common Methods*. Indeed Career Guide. <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/social-research>
- Jagers, S. C., Matti, S., Crépin, A.-S., Langlet, D., Havenhand, J. N., Troell, M., Filipsson, H. L., Galaz, V. R., & Anderson, L. G. (2019). Societal causes of, and responses to, ocean acidification. *Ambio*, 48(8), 816-830. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1103-2>
- Jiang, L.-Q., Carter, B. R., Feely, R. A., Lauvset, S. K., & Olsen, A. (2019). Surface ocean pH and buffer capacity: Past, present and future. *Scientific Reports*, 9(1), 18624. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55039-4>
- Kibria, G. (2015). *Ocean Acidification and Its Impact on Marine Biodiversity, Seafood Security & Livelihoods- A Short Review*.
- Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W., Connors, S., Denton, F., Diongue Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., & Zommers, Z. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Lemasson, A. J., Hall-Spencer, J. M., Kuri, V., & Knights, A. M. (2019). Changes in the biochemical and nutrient composition of seafood due to ocean acidification and warming. *Marine Environmental Research*, 143, 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.11.006>
- Leung, J. Y. S., Zhang, S., & Connell, S. D. (2022). *Is Ocean Acidification Really a Threat to Marine Calcifiers? A Systematic Review and Meta-Analysis of 980+ Studies Spanning Two Decades—Leung—2022—Small—Wiley Online Library*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.202107407>
- Liew, H. J., Rahmah, S., Tang, P. W., Waiho, K., Fazhan, H., Rasdi, N. W., Hamin, S. I.

- A., Mazelan, S., Muda, S., Lim, L.-S., Chen, Y.-M., Chang, Y. M., Liang, L. Q., & Ghaffar, M. A. (2022). Low water pH depressed growth and early development of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* larvae. *Heliyon*, 8(7), e09989. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09989>
- Liittschwager, D. (2010). *Larvas de erizo de mar enfermas*. *National Geographic*. Recuperado de https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/grandes-reportajes/acidificacion-de-los-oceanos_4127
- Lueker, T. J., Dickson, A. G., & Keeling, C. D. (2000). Ocean $p\text{CO}_2$ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity, and equations for K_1 and K_2 : Validation based on laboratory measurements of CO_2 in gas and seawater at equilibrium. *Marine Chemistry*, 70(1), 105-119. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(00\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(00)00022-0)
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., Law, R. J., Tyllianakis, E., & Birchenough, S. N. R. (2018a). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science & Policy*, 86, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., Law, R. J., Tyllianakis, E., & Birchenough, S. N. R. (2018b). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science & Policy*, 86, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>
- Martínez, E., & Rosa, C. (1996). *Biología del camarón en ecosistemas estuarinos*. Editorial Científica
- Martínez, R. (1998). *Condiciones estuarinas y su impacto en los cultivos de camarón*. Editorial Acuicultura.
- Martínez, A. (1997). *Factores que afectan el crecimiento de los camarones peneidos*. *Revista de Biología Acuática*, 12(4), 65-72.
- McIntosh, D., Samocha, T. M., Jones, E. R., & Lawrence, A. L. (2001). *Dietary protein levels for intensive shrimp culture*. *Journal of Aquaculture Nutrition*, 7(2), 99-108.
- Melzner, F., Mark, F. C., Seibel, B. A., & Tomanek, L. (2020). Ocean Acidification and Coastal Marine Invertebrates: Tracking CO_2 Effects from Seawater to the Cell. *Annual Review of Marine Science*, 12, 499-523. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010658>
- Menard, S. (2002). *Longitudinal Research*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412984867>
- Mitchell, A., Hayes, C., Booth, D. J., & Nagelkerken, I. (2023). Future shock: Ocean acidification and seasonal water temperatures alter the physiology of competing temperate and coral reef fishes. *The Science of the Total Environment*, 883, 163684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163684>

- Molina-Poveda, C. (1998). *Digestibilidad de dietas para camarones marinos con diferentes niveles de proteína*. *Revista de Investigaciones Marinas*, 12(3), 121-131.
- Morales, C. (1990). *Biología y ecología del camarón blanco*. Editorial Científica.
- Moreira, J. M., Mendes, A. C., Maulvault, A. L., Marques, A., Rosa, R., Pousão-Ferreira, P., Sousa, T., Anacleto, P., & Marques, G. M. (2022). Impacts of ocean warming and acidification on the energy budget of three commercially important fish species. *Conservation Physiology*, 10(1), coac048. <https://doi.org/10.1093/conphys/coac048>
- Muralisankar, T., Kalaivani, P., Thangal, S. H., & Santhanam, P. (2021a). Growth, biochemical, antioxidants, metabolic enzymes and hemocytes population of the shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to acidified seawater. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 239, 108843. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108843>
- Muralisankar, T., Kalaivani, P., Thangal, S. H., & Santhanam, P. (2021b). Growth, biochemical, antioxidants, metabolic enzymes and hemocytes population of the shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to acidified seawater. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 239, 108843. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108843>
- Nagelkerken, I., Goldenberg, S. U., Ferreira, C. M., Ullah, H., & Connell, S. D. (2020, agosto 14). *Trophic pyramids reorganize when food web architecture fails to adjust to ocean change*. <https://doi.org/10.1126/science.aax0621>
- NOAA. (2024). *Ocean Acidification | NOAA Fisheries*. <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-ocean-acidification>
- Obregón, M. (1999). *Manejo de la salinidad en sistemas acuícolas*. Acuicultura Internacional.
- Oliva, N. L. (2012). Evaluación del estado de saturación de Ω aragonita en la zona intermareal de Baja California. *Tesis de Maestría*, Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/822/1/ENS072728.pdf>
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G.-K., Rodgers, K. B., ... Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437(7059), 681-686. <https://doi.org/10.1038/nature04095>
- Osburn, C. L., Rudolph, J. C., Paerl, H. W., Hounshell, A. G., & Van Dam, B. R. (2019). Lingering Carbon Cycle Effects of Hurricane Matthew in North Carolina's Coastal Waters. *Geophysical Research Letters*, 46(5), 2654-2661.

<https://doi.org/10.1029/2019GL082014>

- Pérez Castaños, S., & Santamaría, S. (2023). *La investigación cuantitativa* (pp. 121-196).
- Peteiro, L. G., Woodin, S., Wethey, D. S., Costas-Costas, D., Martínez-Casal, A., Olabarria, C., & Vázquez, E. (2018). *Responses to salinity stress in bivalves: Evidence of ontogenetic changes in energetic physiology on Cerastoderma edule* | *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-26706-9>
- Pineda, F. H. (1995). Biología y Dinámica Poblacional del Camarón De Aguas Someras. *Revista de Ciencias*, 7, 41-61. <https://doi.org/10.25100/rc.v7i0.630>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama - Phd, B., Belling, D., Dieck, W., Götze, S., Kersher, T., Mangele, P., Maus, B., Mühle, A., & Weyer, N. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Reyes-Nivia, C., Diaz-Pulido, G., Kline, D., Guldborg, O.-H., & Dove, S. (2013). Ocean acidification and warming scenarios increase microbioerosion of coral skeletons. *Global Change Biology*, 19(6), 1919-1929. <https://doi.org/10.1111/gcb.12158>
- Ridge, S. M., & McKinley, G. A. (2021). *Ocean carbon uptake under aggressive emission mitigation*. <https://bg.copernicus.org/articles/18/2711/2021/>
- Roger, W. (2022). *Dióxido de Carbono, pH y Acidificación Oceánica*. En *Introducción a la Oceanografía*. LibreTexts
- Rosas, C. (1999). *Impacto de las variaciones de salinidad en el metabolismo del camarón*. *Revista de Biología Tropical*, 47(3), 469-478.
- Ruppert, E. E., Fox, R. S., & Barnes, R. D. (1996). *Invertebrate Zoology: A Functional Evolutionary Approach* (6th ed.). Brooks Cole.
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Key, R. M., Bullister, J. L., Millero, F. J., Lee, K., Peng, T. - H., Tilbrook, B., Ono, T., & Wong, C. S. (2002). Distribution of anthropogenic CO₂ in the Pacific Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4). <https://doi.org/10.1029/2001GB001639>
- Santamaría, A. (1991). *Efectos de la salinidad en sistemas estuarinos*. Editorial Ciencias Marinas.
- Savoie, A. M., Moody, A., Gilbert, M., Dillon, K. S., Howden, S. D., Shiller, A. M., & Hayes, C. T. (2022). Impact of local rivers on coastal acidification. *Limnology and Oceanography*, 67(12), 2779-2795. <https://doi.org/10.1002/lno.12237>

- Seelmann, K., Aßmann, S., & Körtzinger, A. (2019). *Characterization of a novel autonomous analyzer for seawater total alkalinity: Results from laboratory and field tests*. <https://doi.org/10.1002/lom3.10329>
- Sepúlveda-Rodríguez, J. (2022). *Evidencias de adaptación a la acidificación oceánica en la progenie del erizo de mar *Arbacia lixula* que vive en los afloramientos naturales de CO₂*. Recuperado de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/27835>
- Servili, A., Lévêque, E., Mouchel, O., Devergne, J., Lebigre, C., Roussel, S., Mazurais, D., & Zambonino-Infante, J.-L. (2023a). Ocean acidification alters the acute stress response of a marine fish. *Science of The Total Environment*, 858, 159804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159804>
- Servili, A., Lévêque, E., Mouchel, O., Devergne, J., Lebigre, C., Roussel, S., Mazurais, D., & Zambonino-Infante, J.-L. (2023b). Ocean acidification alters the acute stress response of a marine fish. *The Science of the Total Environment*, 858(Pt 1), 159804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159804>
- Sheppard Brennan, H., Soars, N., Dworjanyn, S. A., Davis, A. R., & Byrne, M. (2010). *Impact of Ocean Warming and Ocean Acidification on Larval Development and Calcification in the Sea Urchin *Triploneustes gratilla** | *PLOS ONE*. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0011372>
- Small, D. P., Calosi, P., Boothroyd, D., Widdicombe, S., & Spicer, J. I. (2016). The sensitivity of the early benthic juvenile stage of the European lobster *Homarus gammarus* (L.) to elevated pCO₂ and temperature. *Marine Biology*, 163(3), 53. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2834-x>
- SOLUAP. (1998). *Estudios sobre el ciclo larval del camarón peneido*. Reporte técnico.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2013). *Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Stolarski, J., Coronado, I., Murphy, J. G., & Meibom, A. (2020). *A modern scleractinian coral with a two-component calcite–aragonite skeleton* | *PNAS*. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2013316117>
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (2012). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. John Wiley & Sons.
- Tacon, A. G. J. (2002). *Nutrition and feeding practices in aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper.
- Taylor, J. R. A., Astbury, M., Childers, E. C., Contractor, K., Lin, X., Mencarelli, J., Prohroff, E. J., & Tapia, K. (2024). Time-dependent Changes in Shrimp Armor and Escape Kinematics under Ocean Acidification and Warming. *Integrative and Comparative Biology*, 64(2), 322-335. <https://doi.org/10.1093/icb/icae035>

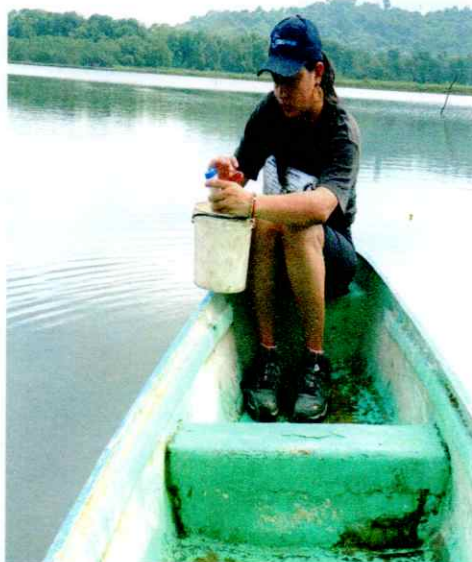
- Taylor, J. R. A., Gilleard, J. M., Allen, M. C., & Deheyn, D. D. (2015). Effects of CO₂-induced pH reduction on the exoskeleton structure and biophotonic properties of the shrimp *Lysmata californica*. *Scientific Reports*, 5(1), 10608. <https://doi.org/10.1038/srep10608>
- Tegomo, F. A., Zhong, Z., Njomoue, A. P., Okon, S. U., Ullah, S., Gray, N. A., Chen, K., Sun, Y., Xiao, J., Wang, L., Ye, Y., Huang, H., & Shao, Q. (2021). Experimental Studies on the Impact of the Projected Ocean Acidification on Fish Survival, Health, Growth, and Meat Quality; Black Sea Bream (*Acanthopagrus schlegelii*), Physiological and Histological Studies. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11(11), 3119. <https://doi.org/10.3390/ani11113119>
- Treece, G. D., & Yates, M. E. (1993). *Manual de laboratorio para el cultivo de larvas de camarón peneido*. Marine Advisory Service, Sea Grant College Program, Texas A&M University.
- Thangal, S. H., Muralisankar, T., Anandhan, K., Gayathri, V., & Yogeshwaran, A. (2022). Effect of CO₂ driven ocean acidification on the mud crab *Scylla serrata* instars. *Environmental Pollution*, 312, 119995. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119995>
- The Ocean Foundation. (2010). *Investigación sobre la acidificación de los océanos*. The Ocean Foundation.
- Torres, A. (1991). *Ciclo de vida de Litopenaeus vannamei*. *Revista de Acuicultura*, 5(2), 123-130.
- UICN. (2023). *UICN Desafíos en los Océanos frente al cambio climático: Aportes del Derecho Internacional y el Nuevo Tratado de Alta Mar—Artículo | IUCN*. <https://iucn.org/es/articulo/202307/desafios-en-los-oceanos-frente-al-cambio-climatico-aportes-del-derecho>
- Valdez, G., Díaz, F., Re, A. D., & Sierra, E. (2008). Efecto de la salinidad sobre la fisiología energética del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Hidrobiológica*, 18(2), 105-115.
- Van Olst, J. C., & Carlberg, J. M. (1972). *Reproducción y desarrollo temprano del camarón blanco*. *Journal of Marine Biology*, 10(3), 45-53.
- Viera-Romero, A. M., Diemont, S. A. W., Selfa, T. L., & Luzadis, V. A. (2024). The sustainability of shrimp aquaculture: An emergy-based case study in the Gulf of Guayaquil thirty years later. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114326. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114326>
- Vinatea, L. (2004). *Water quality in aquaculture systems: Principles and management*. *Aquaculture Journal*, 15(1), 1-25.
- Wallace, R. B., Baumann, H., Grear, J. S., Aller, R. C., & Gobler, C. J. (2014). Coastal ocean acidification: The other eutrophication problem. *Estuarine, Coastal and*

Shelf Science, 148, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.027>

- Wang, M., Jeong, C.-B., Lee, Y. H., & Lee, J.-S. (2018). Effects of ocean acidification on copepods. *Aquatic Toxicology*, 196, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.01.004>
- Wang, X., Song, L., Chen, Y., Ran, H., & Song, J. (2017). Impact of ocean acidification on the early development and escape behavior of marine medaka (*Oryzias melastigma*). *Marine Environmental Research*, 131, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.09.001>
- Williams, B., Chan, P. T. W., Westfield, I. T., Rasher, D. B., & Ries, J. (2021). Ocean Acidification Reduces Skeletal Density of Hardground-Forming High-Latitude Crustose Coralline Algae. *Geophysical Research Letters*, 48(5), e2020GL091499. <https://doi.org/10.1029/2020GL091499>
- Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., Loh, Y. C., & Li, Z. (2024). IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COASTAL ECOSYSTEM AND OUTDOOR ACTIVITIES: A COMPARATIVE ANALYSIS AMONG FOUR LARGEST COASTLINE COVERING COUNTRIES. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>

7. Anexos

Anexos 1. Calibración de multiparámetros y medición de parámetros in situ en estanques camaroneros.



Anexos 2. Filtración de las muestras para Alcalinidad Total



Anexos 3. Fijación de la muestra con cloruro de mercurio



Anexos 4. Muestras colectadas para análisis Alcalinidad Total (AT)



Anexos 5. Equipo titulador para análisis de muestras de AT



Anexos 6. Calibración del equipo de titulación y pipeteo de muestras



Anexos 7. Proceso de lectura del equipo y resultados de análisis

