



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ABLACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO

REPRODUCTIVO EN *Penaeus vannamei*.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

Kenneth Alexander Birkett Tamariz

DOCENTE TUTOR:

Blgo. William Santos Sánchez M.Sc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA

ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ABLACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO

REPRODUCTIVO EN *Penaeus vannamei*.”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

KENNETH ALEXANDER BIRKETT TAMARIZ

LA LIBERTAD – ECUADOR

DEDICATORIA

A mi padre que es mi guía en el mundo de la ciencia y lógica.

A mi madre que siempre está cuando la necesito.

A mi hermano, quien siempre me ha compartido sabiduría y perspectiva.

A mi pareja, quien me ha apoyado con su apoyo y paciencia.

A todos quienes quiero, aprecio y valoro cada día de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A las autoridades y personal académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de formación profesional.

En particular, al Blgo. William Santos, Msc., quien fue mi tutor de tesis y con su experiencia científica profesional orientó nuestro trabajo.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Birkett Tamariz Kenneth Alexander** como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

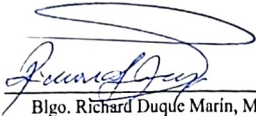
Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 20 de agosto de 2026.



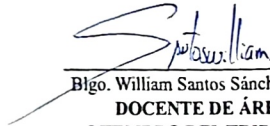
Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
DIRECTOR DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



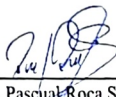
Blga. Isabel Coello Peralta, M.Sc.
DOCENTE DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Richard Duque Marín, M.Sc.
DOCENTE GUÍA DE UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. William Santos Sánchez, M.Sc.
DOCENTE DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

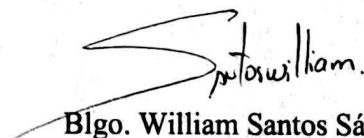


Lcdo. Pascual Roca Silvestre, Mgtr.
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ABLACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO REPRODUCTIVO EN *Penaeus vannamei*” elaborado por Birkett Tamariz Kenneth Alexander, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Santos', is written over the printed name.

Blgo. William Santos Sánchez M.Sc

DOCENTE TUTOR

C.I. 2400216459

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista del Trabajo de Integración Curricular, "ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ABLACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO REPRODUCTIVO EN *Penaeus vannamei*", elaborado por **Birkett Tamariz Kenneth Alexander**, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación .

Atentamente



Blga. Isabel Coello Peralta, M.Sc.
DOCENTE DE ÁREA

C.I. 0301902664

DECLARACION EXPRESA

Yo, Kenneth Alexander Birkett Tamariz, declaro bajo mi palabra de honor en el presente trabajo de Integración Curricular es una obra original de mi autoría. Afirmo que el contenido desarrollado, así como los análisis, conclusiones y resultados expuestos, han sido elaborados exclusivamente por mí, sin haber incurrido en plagio ni haber utilizado información sin la debida citación y referencia correspondiente y el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, reading "Kenneth Birkett". The script is cursive and fluid.

Birkett Tamariz Kenneth Alexander

C.I. 0926365362

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3	JUSTIFICACIÓN	8
4	OBJETIVOS	11
4.1	Objetivo general:.....	11
4.2	Objetivos específicos:	11
5	HIPÓTESIS.....	12
6	MARCO TEÓRICO.....	13
6.1	Historia y origen del camarón blanco <i>Penaeus vannamei</i>	13
6.2	Cultivo de camarón a nivel mundial	15
6.3	Cultivo de <i>Penaeus vannamei</i> en Ecuador.....	17
6.4	Generalidades del camarón blanco <i>Penaeus vannamei</i>	19
6.4.1	Biología de la especie	19
6.4.2	Morfología externa.....	21
6.4.3	Morfología interna	24
6.4.4	Hábitat y distribución.....	28
6.4.5	Ciclo de vida	29
6.5	Anatomía y fisiología reproductiva de <i>Penaeus vannamei</i>	32
6.5.1	Sistema reproductor de hembras	32
6.5.2	Sistema reproductor de machos	34

6.5.3	Proceso reproductivo y cópula.....	36
6.5.4	Maduración gonadal.....	37
6.5.5	Control hormonal de la maduración	39
6.5.6	Ablación del pedúnculo ocular	41
6.5.7	Implicaciones bioéticas y bienestar animal.....	44
6.5.7.1	Beneficios del bienestar animal.....	45
6.6	Efectos fisiológicos de la ablación del pedúnculo ocular	46
6.7	Fertilidad y producción de nauplios viables	47
6.8	Mortalidad y deformidades larvales.....	49
6.9	Uniformidad del periodo de muda	51
6.10	Parámetros fisicoquímicos del agua en el cultivo de <i>Penaeus vannamei</i>	52
6.10.1	Temperatura	52
6.10.2	Salinidad.....	53
6.10.3	Oxígeno disuelto	54
6.10.4	pH.....	54
6.10.5	Alcalinidad	55
6.11	Regulaciones internacionales sobre la ablación.....	55
7	METODOLOGÍA.....	57
7.1	Tipo de estudio.....	57
7.2	Área de estudio.	57
7.3	Ubicación geográfica.	58

7.4	Diseño experimental.	59
7.5	Monitoreo y mantenimiento.....	63
7.6	Biometría en organismos de producción (maduración).....	66
7.7	Métodos.....	67
7.7.1	Registro y evaluación.....	67
7.7.1.1	Parámetros físicos, químicos y biológicos secundarios específicos. 67	
7.7.1.2	Dieta y biomasa.....	68
7.7.1.3	Mortalidad general de hembras y específica.	69
7.7.1.4	Porcentaje de cópulas diarias.	70
7.7.1.5	Fertilidad productiva.	71
7.7.2	Número de nauplios viables.....	71
7.7.2.1	Número de desoves válidos.....	72
7.7.2.2	Porcentaje de desoves válidos.	73
7.7.2.3	Náuplios despachables por día.....	73
7.7.2.4	Náuplios despachables por mes.....	74
7.7.2.5	Porcentaje de huevos sobrantes.....	74
7.7.2.6	Náuplio por hembra.....	75
7.7.2.7	Deformidades larvarias y uniformidad de muda.	75
7.7.2.8	Supervivencia larvaria.....	76
7.7.3	Análisis estadístico.....	77
8	RESULTADOS.....	80

8.1	Evaluación del efecto de la ablación sobre el rendimiento productivo	80
8.1.1	Categorización de los datos de maduración.....	80
8.1.2	Rendimiento reproductivo en maduración.....	81
8.1.3	Fertilidad, viabilidad y desempeño reproductivo complementario.....	87
8.1.4	Análisis estadístico y contraste de hipótesis en maduración	93
8.2	Rendimiento productivo en larvicultura	95
8.2.1	Categorización de los datos de larvicultura	95
8.2.2	Comparación general de los indicadores larvales	96
8.2.3	Uniformidad del periodo de muda	97
8.2.4	Deformidad larval	99
8.2.5	Supervivencia hasta Zoea III	100
8.2.6	Mortalidad hasta Zoea III.....	102
8.2.7	Análisis estadístico y contraste de hipótesis en larvicultura	104
9	DISCUSIÓN	108
9.1	Interpretación general del efecto de la ablación	108
9.2	Rendimiento reproductivo en maduración.....	108
9.3	Fertilidad, viabilidad y huevos sobrantes.....	109
9.4	Mortalidad de hembras y condición reproductiva	110
9.5	Desempeño larval hasta Zoea III	111
9.6	Relación entre maduración y larvicultura	112
9.7	Implicaciones productivas y sostenibilidad del sistema	113

9.8	Limitaciones y proyecciones de la investigación.....	114
9.9	Síntesis de la discusión	115
10	CONCLUSIONES	117
11	RECOMENDACIONES.....	119
12	BIBLIOGRAFÍA	121
13	ANEXOS	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Morfología externa de <i>Penaeus vannamei</i>	21
Figura 2	Morfología interna de <i>P. vannamei</i>	24
Figura 3	Ciclo de vida.....	31
Figura 4	Ubicación geográfica de Egidiosa, laboratorio camaronero donde se realizó la investigación.....	58
Figura 5	Diagrama de flujo del sector de maduración.	59
Figura 6	Diagrama de flujo del sector a monitorear en larvicultura.	60
Figura 7	Esquema del diseño experimental usado en cada tratamiento en el sector de maduración en los meses de abril y mayo.	61
Figura 8	Esquemas del diseño experimental usado en cada tratamiento en el sector de maduración en el mes de junio.	62
Figura 9	Esquema del diseño experimental usado en el sector de larvicultura.	63
Figura 10	Producción mensual de náuplios despachables en los sistemas con ablación y sin ablación.	82
Figura 11	Comparación de cópulas registradas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.	83

Figura 12 Comparación de desoves válidos entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.	84
Figura 13 Comparación de náuplios despachables entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.....	85
Figura 14 Comparación del porcentaje de cópulas ponderado entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.	86
Figura 15 Comparación de fertilidad/eclosión entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.	88
Figura 16 Comparación del porcentaje de náuplios viables entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.....	89
Figura 17 Comparación de náuplio por hembra entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.	90
Figura 18 Comparación del porcentaje de huevos sobrantes entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.....	91
Figura 19 Comparación de la mortalidad de hembras entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.....	92
Figura 20 Comparación global de los indicadores larvales entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.....	97
Figura 21 Uniformidad del periodo de muda durante el desarrollo larval temprano en los sistemas con ablación y sin ablación.	98
Figura 22 Deformidad larval durante el desarrollo temprano en los sistemas con ablación y sin ablación.....	100
Figura 23 Supervivencia hasta Zoea III por réplica en los sistemas con ablación y sin ablación.	101

Figura 24 Mortalidad hasta Zoea III por réplica en los sistemas con ablación y sin ablación.	
.....	103
Figura 25 Valores p del análisis estadístico de las variables larvales evaluadas.	105

ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS

Anexo 1. Diccionario de variables de maduración.....	148
Anexo 2. Diccionario de variables de larvicultura.....	150
Anexo 3. Tabla de análisis estadísticos.....	151
Anexo 4. Registro de calidad del agua y equipos utilizados.....	153
Anexo 5. Cronograma de actividades.....	154
Anexo 6. Resumen metodológico del flujo experimental.....	155
Anexo 7. Datos de producción de maduración correspondientes a abril.....	156
Anexo 8. Datos de producción de maduración correspondientes a mayo.....	157
Anexo 9. Datos de producción de maduración correspondientes a junio.....	160
Anexo 10. Datos de larvicultura.....	163
Anexo 11. Tanques y reproductores utilizados durante la investigación.....	167
Anexo 12. Proceso de ablación y manejo de los reproductores.....	168
Anexo 13. Larvas observadas mediante microscopía.....	169
Anexo 14. Colección de huevos.....	170
Anexo 15. Hembras en tanques de desove.....	171
Anexo 16. Toma de parámetros con YSI Pro 2030.....	172

RESUMEN

El procedimiento de ablación del pedúnculo ocular, implementado en laboratorios de maduración de *Penaeus vannamei* para incrementar desoves, ha generado interrogantes sobre su efecto real en la eficiencia reproductiva y en la calidad de la progenie, agravando la necesidad de contrastar sistemas con y sin esta práctica. La comparación del rendimiento productivo entre organismos ablacionados y no ablacionados fue el objetivo que orientó el estudio, propósito que buscó determinar si la ventaja en volumen absoluto de náuplios compensaba déficits relativos. Un diseño experimental pareado fue el que estructuró la metodología, en la cual registros diarios de maduración y seguimientos larvales hasta Zoea III fueron procesados mediante pruebas de Wilcoxon y t de Student según normalidad, y esto agravó la rigurosidad del contraste. Variables como cópulas, desoves válidos, náuplios despachables, fertilidad, mortalidad, uniformidad de muda, deformidad y supervivencia larval integraron el análisis, abarcando la fase reproductiva y el desarrollo temprano. Bajo condiciones operativas comparables, el sistema con ablación presentó una producción neta de náuplios despachables 19,81 % superior al sistema sin ablación, acompañada de un mayor número de cópulas registradas y desoves válidos. Sin embargo, valores superiores en fertilidad, porcentaje de nauplios viables y náuplio por hembra fueron alcanzados por el sistema sin ablación, mientras que en larvicultura no se detectaron diferencias. La producción absoluta no constituye por sí sola criterio suficiente para decisiones en manejo reproductivo, por lo que indicadores relativos de eficiencia deben incorporarse junto con evaluaciones de bienestar animal y sostenibilidad del sistema acuícola.

Palabras claves: Ablación del pedúnculo ocular, *Penaeus vannamei*, Rendimiento reproductivo, Bienestar animal, Larvicultura

ABSTRACT

The eyestalk ablation procedure, implemented in hatcheries of *Penaeus vannamei* to increase spawning, has raised questions about its real effect on reproductive efficiency and on offspring quality, thus aggravating the need to contrast systems with and without this practice. The comparison of productive performance between ablated and non-ablated organisms was the objective that guided the study, a purpose that sought to determine whether the advantage in absolute volume of nauplii compensated for relative deficits. A paired experimental design was what structured the methodology, in which daily maturation records and larval follow-ups to Zoea III were processed using Wilcoxon and Student's t tests according to normality, and this aggravated the rigor of the contrast. Variables such as matings, valid spawnings, dispatchable nauplii, fertility, mortality, molting uniformity, deformity and larval survival integrated the analysis, covering the reproductive phase and early development. Under comparable operating conditions, the ablation system showed a 19.81% higher net production of dispatchable nauplii than the non-ablation system, accompanied by a greater number of recorded matings and valid spawnings. However, higher values for fertility, percentage of viable nauplii, and nauplii per female were achieved by the non-ablation system, while no statistically significant differences were detected in larviculture. Absolute production does not by itself constitute sufficient criteria for decisions in reproductive management, therefore relative efficiency indicators must be incorporated together with animal welfare evaluations and sustainability of the aquaculture system.

Keywords: Eyestalk ablation, *Penaeus vannamei*, Reproductive performance, Animal welfare, Larviculture.

1. INTRODUCCIÓN

La reducción progresiva de la dependencia de organismos silvestres y la consolidación de líneas cultivadas bajo condiciones controladas constituyen el resultado tangible de décadas de intervención humana sobre una especie que, si bien habría permanecido ligada a sus poblaciones naturales, fue paulatinamente resignificada por la lógica productiva de una industria en expansión, pues la domesticación de reproductores y los programas de mejoramiento genético que seleccionaron características como crecimiento, supervivencia, resistencia a enfermedades y desempeño reproductivo no surgieron de manera aislada, sino que respondieron a la necesidad de sustentar una actividad.

Barrera et al. (2024) identifican como estratégica para la economía ecuatoriana debido a la elevada participación que la acuicultura del camarón blanco del Pacífico, *Penaeus vannamei*, ostenta tanto en la producción acuícola como en las exportaciones nacionales, proceso que Castillo-Juárez et al. (2015) documentan como parte de una transición mayor en la que el crecimiento industrial y la biotecnología reproductiva se reforzaron mutuamente, de modo que lo que hoy se presenta como avance técnico no puede desvincularse de su condición de respuesta a presiones económicas que, aunque habrían podido canalizarse por vías alternativas, encontraron en la domesticación una solución que el futuro próximo probablemente intensificará ante la creciente demanda global de proteína acuícola.

La consolidación de una producción más constante de huevos y nauplios en los laboratorios de maduración de camarones peneidos desde la década de 1970 constituye el resultado de una técnica cuyo fundamento fisiológico reside en la manipulación del complejo órgano X, glándula del seno, estructura ubicada en el pedúnculo ocular que habría de producir hormonas vinculadas no solo con la reproducción, sino también con procesos tan diversos como la muda y el metabolismo, de modo que la ablación unilateral de dicho pedúnculo en hembras adultas, al reducir la señal hormonal inhibitoria que emana de este órgano, favorecería

la vitelogénesis mientras que simultáneamente aceleraría el desarrollo ovárico e incrementaría la frecuencia de los desoves (Albalat et al., 2022), configurándose así como una de las principales estrategias empleadas para estimular la reproducción en cautiverio.

La persistencia de la ablación como herramienta para sostener la productividad de los laboratorios comerciales en Ecuador encuentra sustento en resultados empíricos que, registrados ya desde 2013, evidenciarían los beneficios reproductivos de esta práctica, pues las hembras sometidas a ablación unilateral en el laboratorio Texcumar, ubicado en la comuna San Pablo de la provincia de Santa Elena, habrían exhibido no solo un tiempo de maduración ovárica reducido, sino también una frecuencia de desoves notablemente superior y una producción incrementada tanto de ovocitos como de nauplios cuando se les comparaba con aquellas hembras que no habían sido ablacionadas (Seminario & Saldarriaga, 2013), hallazgos que, al acumularse con otros antecedentes similares, terminarían por consolidar el uso de esta técnica a pesar de las controversias éticas que posteriormente surgirían en torno a su aplicación.

La ablación del pedúnculo ocular constituye actualmente un tema de interés dentro de la discusión científica sobre el bienestar de los crustáceos cultivados, en tanto que sus efectos trascienden ampliamente la mera estimulación reproductiva que históricamente justificó su aplicación, pues la intervención sobre dicho órgano sensorial alteraría, además de hormonas directamente implicadas en la muda, aquellas otras que regulan el metabolismo energético, la respuesta al estrés y el funcionamiento inmunológico, de modo que el trauma físico inherente al procedimiento se habría asociado con cambios fisiológicos, conductuales y reproductivos cuya repercusión sobre la condición corporal y la longevidad de las hembras resulta particularmente preocupante (Sainz-Hernández et al., 2008; Albalat et al., 2022; López-Galindo et al., 2023), aunque esta multiplicidad de efectos secundarios, lejos de haber limitado su uso extendido en la acuicultura, ha generado precisamente el debate contemporáneo acerca de su justificación ética y técnica en sistemas de producción intensiva.

La consolidación de sistemas de maduración sin ablación, que ya habría comenzado a perfilarse como alternativa viable para la producción acuícola contemporánea, se habría sustentado en cuatro pilares interdependientes cuyo desarrollo progresivo remontaría a décadas de investigación previa, a saber, la domesticación de las especies, la selección genética dirigida, la formulación de dietas nutricionales especializadas y el perfeccionamiento de protocolos de acondicionamiento de los reproductores, elementos que, en conjunto, habrían permitido superar las limitaciones que tradicionalmente asociaban la ablación con el éxito reproductivo. Zacarias et al. (2019) observaron que las hembras no ablacionadas podían presentar una mayor fecundidad individual y producir descendencia con un desempeño comparable durante distintas fases de cultivo, hallazgo que, aunque prometedor, no eliminaría la necesidad de condiciones operativas estrictas, puesto que la viabilidad plena de estos sistemas dependerá, en última instancia, de la calidad genética de los reproductores que se incorporen, del rigor del manejo nutricional que se implemente y del control preciso que se ejerza sobre las condiciones ambientales, factores que, en tanto que variables críticas, seguirán determinando los márgenes de éxito de esta transición tecnológica.

La configuración de sistemas productivos más sostenibles y trazables en países exportadores como Ecuador constituye el horizonte hacia el cual convergen las medidas regulatorias que, si bien se materializarán plenamente en años venideros, ya han sido puestas en marcha por los principales organismos certificadores del sector, puesto que el Aquaculture Stewardship Council (ASC) había incorporado previamente criterios de bienestar animal y restricciones vinculadas a la ablación en su estándar para granjas, cuya transición obligatoria se proyectaba para mayo de 2028, mientras que la Global Seafood Alliance anunciaría que las instalaciones camaroneras certificadas bajo Best Aquaculture Practices (BAP) deberán eliminar esta práctica, o dejar de abastecerse de criaderos que la utilicen, antes de finalizar 2030, de modo que esta tendencia hacia la regulación del bienestar animal también se reflejaría

progresivamente en las certificaciones internacionales (Aquaculture Stewardship Council, 2026; Global Seafood Alliance, 2025).

La escasez de información científica aplicable a la toma de decisiones sobre productividad, bienestar animal y sostenibilidad en la industria camaronera ecuatoriana constituye el punto de partida de esta investigación, la cual analizó el rendimiento productivo de *P. vannamei* en sistemas con y sin ablación mediante indicadores de maduración, producción de nauplios y desarrollo larval temprano hasta Zoea III, precisamente porque aún existe evidencia limitada bajo condiciones comerciales ecuatorianas que permita determinar si el incremento productivo asociado con la ablación compensa sus posibles efectos sobre la eficiencia reproductiva y el desarrollo larval, de modo que los resultados obtenidos buscarán llenar este vacío metodológico y ofrecerán, en un futuro próximo, lineamientos técnicos que podrían ser adoptados por productores y reguladores, aunque su implementación dependerá de la validación posterior en escalas mayores de producción, en tanto que la transición hacia estándares que prioricen el bienestar animal, como la extensión de plazos anunciada por ASC (ASC International, 2024), ya ha comenzado a reconfigurar las expectativas del mercado internacional.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La consolidación de Ecuador como líder en la exportación de camarón, constituido ya como el sector de mayor desarrollo en la acuicultura mundial con una demanda que sigue en crecimiento (Barrera et al., 2024), habría sido inconcebible sin la sistematización de prácticas que garantizaran el suministro constante de nauplios, entre las cuales la ablación del pedúnculo ocular en hembras de *Penaeus vannamei* ocupó durante décadas un lugar central en los laboratorios de maduración, puesto que este procedimiento, aunque cuestionado desde perspectivas éticas contemporáneas, lograba acelerar de manera efectiva la maduración gonadal y, por ende, aseguraba la continuidad productiva que la industria requería para satisfacer los mercados internacionales en expansión.

La persistencia de la ablación como técnica considerada indispensable en los sistemas productivos de mayor envergadura, incluso en aquellos que lideran la producción a escala nacional, queda ilustrada por el caso de Texcumar, empresa que, siendo la más productiva de nauplios en el país, continuaría aplicando este procedimiento en sus laboratorios de maduración (Seminario y Saldarriaga, 2013; Asencio, 2025), lo cual revelaría que, aunque hubieran surgido alternativas técnicas en años recientes, la práctica mantendría su vigencia operativa en contextos donde la eficiencia reproductiva constituye una variable crítica para la sostenibilidad del negocio, de modo que su adopción no respondería meramente a la inercia institucional sino a una evaluación continua de costos y beneficios que siguieran siendo favorables.

La eficiencia del ciclo productivo resulta comprometida por un conjunto de alteraciones fisiológicas, metabólicas e inmunológicas que, si bien se desencadenan como efecto colateral de una técnica cuya aplicación habría de incrementar la frecuencia de desoves a corto plazo, terminarían por reducir tanto el tiempo de vida de las hembras como su calidad reproductiva durante las etapas de zoea y mysis, lo cual ha quedado documentado en estudios realizados en México por Sainz-Hernández et al. (2008) y López-Galindo et al. (2023), cuyos hallazgos

alimentan una disyuntiva que, en los últimos años, múltiples investigaciones habían venido gestando entre la sostenibilidad de la ablación y los costos biológicos que esta práctica impone sobre los organismos tratados.

Una reducción significativa en la longevidad y una menor tolerancia a condiciones de estrés térmico y oxidativo constituyen las principales alteraciones que se han evidenciado en hembras ablacionadas, las cuales modifican su capacidad de respuesta frente a cambios en el factor ambiental, de modo que la exposición a estas condiciones adversas, aunque podría haber sido mitigada en individuos no sometidos a dicha intervención, se convierte en un factor determinante para su supervivencia reducida, en tanto que López-Galindo et al. (2023) documentarían que este fenómeno, que afectaría particularmente la homeostasis fisiológica de los organismos, tendría implicaciones que trascienden el ámbito individual para proyectarse sobre la dinámica poblacional, porque la disminución en la expectativa de vida de estas hembras, sumada a su comprometida capacidad de afrontamiento frente al estrés, generaría una vulnerabilidad acentuada que se manifestaría tanto en escenarios de variabilidad térmica como en contextos de presión oxidativa creciente.

El replanteamiento de la ablación como herramienta de manejo reproductivo se ha profundizado notablemente en la última década, en tanto que alternativas prometedoras han comenzado a consolidarse mediante el trabajo con hembras no ablacionadas, cuya viabilidad ya no depende de supuestos teóricos sino de evidencia empírica reciente que habrá de transformar las prácticas acuícolas tradicionales, aunque esta transición metodológica aún enfrenta resistencias en sectores donde la ablación se había naturalizado como estándar indispensable.

Menezes (2019) y Zacarias (2020) habían observado que dichas hembras alcanzaban niveles de madurez gonadal aceptables, manteniendo parámetros reproductivos estables sin que su fisiología resultara afectada negativamente, de modo que la pregunta que ahora condiciona

las decisiones de manejo no es tanto si la ablación puede sustituirse, sino cuándo y bajo qué condiciones operativas esta sustitución se generalizará, porque los beneficios que tales investigaciones sustentan no solo cuestionan el por qué histórico de la práctica ablativa, sino que proyectan un horizonte donde la integridad fisiológica de las reproductoras se conciliará con la productividad del sistema.

La transición hacia métodos más éticos y sostenibles en la producción acuícola global recae con particular intensidad sobre Ecuador, en tanto que país líder en la exportación mundial de camarón, de modo que el dilema que enfrenta no se circunscribiría a la mera decisión de aplicar o no la ablación, sino que se extendería a la determinación de su impacto efectivo sobre la calidad biológica de la progenie, la sostenibilidad del sistema productivo en horizontes temporales prolongados y el beneficio tangible que esta práctica comportaría, aunque la estabilidad y eficiencia del ciclo productivo dependerían sustancialmente de la calidad alcanzada en los laboratorios de maduración y larvicultura.

La búsqueda de un modelo de producción cuya eficiencia no resulte comprometida ni por el bienestar animal ni por la calidad del producto final, y que permita sostener una capacidad productiva en crecimiento dentro del país (Albalat et al., 2022; Shrimp Welfare Project, 2024), exige necesariamente que la investigación se oriente hacia el desarrollo de estudios comparativos objetivos y controlados entre hembras ablacionadas y no ablacionadas, pues solo mediante la evaluación rigurosa de parámetros que abarquen desde la fertilidad y el porcentaje de nauplios viables hasta el conteo de cópulas, la supervivencia larval y la uniformidad de ecdisis durante el desarrollo larval temprano, todos ellos examinados bajo condiciones reales de laboratorio, será posible generar el conocimiento empírico que fundamentaría dicha elección.

3. JUSTIFICACIÓN

La tensión entre productividad acuícola y estándares éticos de bienestar animal constituye el núcleo problemático que atraviesa la práctica de la ablación en la industria camaronera de *Penaeus vannamei*, pues si bien Chamberlain & Lawrence (1981) y Palacios et al. (1999) documentaron originalmente su utilidad para inducir la maduración ovárica, las investigaciones contemporáneas de Sainz-Hernández et al. (2008) y López-Galindo et al. (2023) han puesto en cuestionamiento, particularmente en sistemas intensivos, si los beneficios reproductivos superan las implicaciones negativas que esta técnica generaría en términos de estrés, comportamiento alterado y deterioro de indicadores sanitarios.

Aspectos que Albalat et al. (2022) y Diggles (2019) han sistematizado con rigor científico en un contexto donde la FAO (2022) registra una transformación paradigmática hacia prácticas más sostenibles. La presión regulatoria ejercida por mercados como el de la Unión Europea, cuyas políticas la European Commission (2021) ha delineado con creciente exigencia, coloca a países exportadores como Ecuador ante la imperiosa necesidad de reconciliar competitividad internacional con certificaciones que premian la reducción del sufrimiento y la mejora de la resiliencia sanitaria, tendencia que la misma FAO (2022) y Albalat et al. (2022) identifican como irreversible en el horizonte normativo global.

Ante este escenario, la presente investigación se propone generar evidencia objetiva mediante la comparación de parámetros reproductivos y larvales entre sistemas con y sin ablación, considerando que Chu & Chow (1992) y Sainz-Hernández et al. (2008) habían detectado alteraciones metabólicas asociadas a la práctica, mientras que Palacios et al. (1999) y Seminario & Saldarriaga (2013) observaron efectos en la supervivencia de la progenie, aunque paralelamente los trabajos de Menezes (2019), Zacarias (2020) y Albalat et al. (2022) sugieren que los cultivos que prescinden de esta intervención lograrían, en el futuro próximo, postlarvas viables con menores costos de bienestar animal, configurando una alternativa que la

industria ecuatoriana no podrá postergar indefinidamente si aspira a mantener su posición en cadenas de valor que ya discriminan por criterios éticos.

La generación de información científica rigurosa que contribuya al desarrollo de prácticas acuícolas más eficientes y basadas en criterios biológicos sólidos constituye el horizonte último de una investigación cuyo escenario operativo fue el laboratorio de maduración y larvicultura EGIDIOSA de la empresa Industrial Pesquera Santa Priscila S.A., espacio donde la coexistencia de cultivos con ablación y sin ablación ofrecería, en tanto que modalidades productivas simultáneas bajo parámetros de control ambiental y productivo que reflejan la realidad de la acuicultura en el país (Barrera et al., 2024), condiciones comparativas de excepcional valor metodológico.

La factibilidad operativa de este trabajo se habría sustentado, no obstante, en una triada de elementos preexistentes que garantizarían, durante el periodo de muestreo previsto, un seguimiento adecuado de los lotes experimentales, a saber: la infraestructura disponible, la experiencia del personal técnico y la estabilidad de dichos lotes, mientras que el alcance analítico se extendería más allá de la fase de maduración para integrar, de modo que se alcanzara una visión comprehensiva del impacto de la ablación a lo largo de las primeras etapas del ciclo de vida, el estudio de larvicultura hasta el estado de Zoea III.

Los resultados obtenidos permitirían establecer, en última instancia, si la ablación genera cambios significativos en la productividad, fertilidad, supervivencia y calidad larval de *P. vannamei* (Magaña-Gallegos et al., 2021; López-Galindo et al., 2023), contribuyendo así al cumplimiento de múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible, pues la investigación se enmarcaría simultáneamente en el ODS 12, que promueve una producción responsable y ética, en el ODS 9, enfocado en el fortalecimiento de la innovación y la infraestructura tecnológica, y en el ODS 14, centrado en la vida acuática, al impulsar la investigación y desarrollo de la acuicultura como principal alternativa a la explotación pesquera de los océanos (IUCN, 2017).

La apertura de nuevas perspectivas para la mejora de los procesos de cultivo de *P. vannamei* en el país, más allá de la mera respuesta a una interrogante científica, constituiría el aporte final de un trabajo que, al brindar datos confiables sobre un tema de alta relevancia en la biología reproductiva de esta especie, buscaría trascender el ámbito estrictamente académico para incidir en la transformación productiva del sector.

4.OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

Analizar el efecto de la ablación sobre el rendimiento productivo de *Penaeus vannamei*, mediante el uso de parámetros reproductivos y larvales en sistemas de cultivo determinando su impacto en la eficiencia del proceso de cría.

4.2 Objetivos específicos:

1. Monitorear el rendimiento reproductivo en laboratorios de maduración, considerando fertilidad, mortalidad y cantidad de nauplios viables.
2. Describir el desarrollo larval temprano hasta Zoea III, registrando mortalidad, uniformidad del periodo de muda y deformidades en larvicultura.
3. Comparar la eficiencia productiva entre sistemas con y sin ablación a partir del análisis estadístico de las variables monitoreadas.

5. HIPÓTESIS

H1: El uso de la ablación incrementa el rendimiento productivo de *Penaeus vannamei* en condiciones de cultivo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Historia y origen del camarón blanco *Penaeus vannamei*

La consolidación de *Penaeus vannamei* como el crustáceo de mayor producción acuícola global, fenómeno que Chien et al. (2023) documentan con precisión, no habría sido concebible sin una conjunción de atributos biológicos que, aunque aparentemente modestos en su especificidad individual, operan sinérgicamente bajo condiciones de cultivo intensivo, de modo que la especie, nativa de la vertiente oriental del Pacífico y cuya distribución natural Librizzi et al. (2023) trazan desde el Golfo de California hasta el norte peruano con inclusión de las Galápagos ecuatorianas, despliega simultáneamente una tasa de crecimiento que acortará drásticamente los ciclos productivos, una plasticidad fisiológica que le permitirá tolerar rangos amplios de salinidad, temperatura y oxígeno que habrían comprometido a otras especies congéneres, y una disposición conductual hacia la domesticación que, si bien no constituye domesticación propiamente dicha en sentido zootécnico, funciona como equivalente operativo en sistemas de alta densidad, convirtiendo así lo que fue recurso pesquero de captura incidental en la década de 1970 en el organismo acuático más transaccionado por biomasa en los mercados internacionales del presente siglo.

La consolidación de infraestructuras de maduración y larvicultura en América Latina y Asia (Naser et al., 2022) constituiría el corolario de un proceso que había tomado impulso dos décadas atrás, cuando Estados Unidos logró durante los años setenta el primer desove inducido de la especie en condiciones controladas, aunque este hito solo fue posible porque diversos países habían iniciado ya desde la segunda mitad del siglo XX el desarrollo sistemático de tecnologías de reproducción y producción larval en cautiverio, de modo que la expansión del cultivo no respondió a un avance aislado sino a una acumulación progresiva de conocimientos que, si bien se aceleraría con el éxito estadounidense, dependía de bases científicas que se habían estado construyendo transcontinentalmente y que permitirían, en las décadas venideras,

que regiones emergentes adaptaran y escalaran estos protocolos según sus propias condiciones ambientales y económicas.

La consolidación de *Penaeus vannamei* como especie dominante en la acuicultura mundial, que en la actualidad alcanza aproximadamente el 51.7 % de la producción global de camarón marino cultivado (Viana et al., 2023), constituyó un proceso de reemplazo progresivo que habría sido impensable décadas atrás, cuando *Penaeus monodon* y otras especies de peneidos ocupaban el lugar preeminente en los sistemas de producción acuícola, aunque estas últimas eventualmente cederían terreno ante una especie cuya superioridad no residía únicamente en parámetros biológicos aislados, sino en una conjunción de atributos que le permitirían prosperar en condiciones que resultaban cada vez más exigentes para sus competidores, de modo que su mayor resistencia al manejo intensivo y su desempeño optimizado en entornos de cultivo controlado (Nkuba et al., 2021) configurarían los factores determinantes de una transición que, si bien se desarrolló de manera gradual, terminaría por redefinir por completo los patrones de producción acuícola a escala planetaria.

El aseguramiento del abastecimiento continuo requerido por los mercados globales, que demanda desoves frecuentes y una oferta estable de postlarvas, constituye el horizonte hacia el cual converge el perfeccionamiento de las estrategias de manejo reproductivo en la industria camaronera, estrategias que han cobrado particular relevancia dada la elevada importancia económica de *Penaeus vannamei* y que encuentran en la ablación del pedúnculo ocular su intervención más difundida en laboratorios de maduración, procedimiento que, al contrarrestar la acción de la hormona inhibidora de la vitelogénesis que bloquea naturalmente la maduración ovárica en cautiverio, aceleraría el desarrollo gonadal de las hembras reproductoras y permitiría, en consecuencia, maximizar la eficiencia de producción larval (Chowdhury et al., 2026), siendo esta manipulación neuroendocrina la que, aunque elemental en su principio operativo, seguirá condicionando la viabilidad productiva del sector en tanto que los sistemas

de cultivo intensivo persistan en depender de la inducción artificial de la reproducción (Chowdhury et al., 2026).

6.2 Cultivo de camarón a nivel mundial

El predominio de *Penaeus vannamei* como especie cultivada por excelencia, sustentado en su productividad excepcional y su posición privilegiada en los mercados internacionales ("The State of World Fisheries and Aquaculture 2022," 2022), no habría alcanzado tal dimensión sin que la acuicultura se hubiera erigido previamente como uno de los sectores alimentarios de expansión más acelerada a escala planetaria (Mair et al., 2023), fenómeno que, a su vez, otorgó al cultivo de camarón marino un estatus de relevancia económica insoslayable dentro del conjunto de la producción acuícola global (Ruiz-Velazco et al., 2022), de modo que la consolidación de esta especie en particular responde tanto a condiciones biológicas favorables como a una dinámica comercial que, aunque se intensificará en las próximas décadas, ya mostraba signos de madurez en el periodo que antecedió a la publicación de las fuentes citadas.

La consolidación de China, India, Vietnam y Tailandia como epicentros de la producción mundial de camarón, junto con la creciente relevancia de Ecuador, México y Brasil como actores latinoamericanos que han sabido posicionarse en los mercados internacionales (Ruiz-Velazco et al., 2022), constituye el resultado de décadas en las que la investigación aplicada transformaría radicalmente los métodos tradicionales de acuicultura, pues el desarrollo de tecnologías de domesticación, que habían comenzado timidamente en la segunda mitad del siglo XX, se vería potenciado por avances posteriores en formulación de alimentos balanceados que garantizarían una nutrición óptima en condiciones controladas, mientras que el perfeccionamiento del control sanitario permitiría reducir drásticamente las pérdidas por enfermedades que antes diezaban los cultivos, y la producción masiva de larvas en laboratorio, que se convertiría en el pilar de la expansión industrial, posibilitaría que países que

carecían de tradición en esta actividad pudieran incorporarse competitivamente a una cadena de valor global que seguiría creciendo en las próximas décadas.

La maximización de la eficiencia reproductiva y la supervivencia larval, que constituiría el horizonte deseado de cualquier instalación acuícola contemporánea, solo podrá alcanzarse cuando la calidad de los reproductores sea reconocida como el pilar fundamental sobre el cual descansa toda la cadena productiva de nauplios y postlarvas (Yu et al., 2026), de modo que los laboratorios especializados en maduración y larvicultura habrán de operar bajo rigurosos protocolos de control ambiental que, aunque abarquen variables como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fotoperiodo, no alcanzarán su plena efectividad mientras no se invierta simultáneamente en la selección y manejo óptimo de los broodstock, pues estos parámetros, por más precisos que sean, funcionarán como mero complemento de una biología reproductiva que, en última instancia, determinará el éxito o fracaso de la producción (Suwoyo et al., 2023).

La consolidación de la ablación del pedúnculo ocular como práctica hegemónica en la industria camaronera intensiva (Chowdhury et al., 2026) constituye una respuesta técnica a una demanda previamente generada por la propia lógica productivista, en tanto que la intensificación de los sistemas de cultivo había incrementado de manera previa la necesidad de optimizar los procesos reproductivos mediante técnicas que permitieran aumentar la frecuencia de desoves y mejorar la disponibilidad de larvas (Hidir et al., 2025), de modo que lo que inicialmente surgiría como una solución a problemas de escala terminó por naturalizarse como estándar operativo, aunque esta trayectoria no hubiera sido inevitable ni la única configuración técnicamente imaginable para enfrentar dichos requerimientos reproductivos.

La creciente atención científica hacia las prácticas de cultivo y los desafíos vinculados con la producción de *Penaeus vannamei* desde una perspectiva integral de bienestar animal y salud, que incluye de manera particular el impacto de la ablación (Albalat et al., 2022),

responde a un conjunto de interrogantes que se han ido consolidando durante los últimos años en torno a los efectos fisiológicos y éticos de esta práctica, especialmente cuando se examina en el contexto más amplio del bienestar animal y la sostenibilidad acuícola (Wahlteine et al., 2022), de modo que lo que inicialmente aparecía como una técnica rutinaria de manejo reproductivo ha terminado por convertirse en un objeto de debate que atraviesa fronteras disciplinarias y que exigirá, probablemente, una reconfiguración de los protocolos establecidos si se pretende alinear la productividad del sector con los estándares éticos que la sociedad contemporánea irá demandando con mayor intensidad en las próximas décadas.

6.3 Cultivo de *Penaeus vannamei* en Ecuador

La consolidación de Ecuador como el segundo exportador mundial de camarón y como un actor relevante en el comercio internacional (Alvarado-Barrera et al., 2024) constituye el resultado acumulado de décadas en las que la producción camaronera, que ya era reconocida como una de las actividades económicas más trascendentales del país y que actualmente lidera las exportaciones no petroleras (Quinto et al., 2026), experimentaría una transformación radical gracias a la conjunción de inversiones sostenidas en técnicas de producción modernas y al desarrollo progresivo del estudio científico del camarón, factores que, aunque emergieron en contextos históricos distintos, terminarían por reconfigurar completamente la inserción del país en los mercados globales.

La tecnificación progresiva de la industria camaronera ecuatoriana, que habría de reducir progresivamente la dependencia de poblaciones naturales mientras incrementaba la capacidad de producción (Maldonado-Hernández et al., 2023), constituyó una transformación cuyos primeros indicios se remontan a los sistemas extensivos de la década de 1960, cuando la actividad se sustentaba en la captura de larvas silvestres en zonas estuarinas (Castillo-Ochoa & Velásquez-López, 2021), aunque sería el posterior desarrollo de laboratorios de producción larval el que permitiría articular una transición hacia modelos de mayor control, en tanto que

la evolución desde aquellos métodos rudimentarios hasta las prácticas tecnificadas revelaría cómo la industria, lejos de mantenerse estática, se reconfiguraría mediante la incorporación de infraestructura científica que, si bien no eliminó por completo los vínculos con el entorno natural, sí modificó sustancialmente la intensidad y la naturaleza de dichos vínculos a lo largo de las décadas siguientes.

La consolidación de Ecuador como actor estratégico en el comercio internacional de productos acuícolas, abasteciendo mercados globales que incluyen a China (Ganchozo, 2023), ha sido posible gracias al crecimiento sostenido de una industria cuya base productiva se asienta, en la actualidad, en una configuración geográfica altamente concentrada, pues las provincias de Guayas, El Oro, Manabí, Esmeraldas y Santa Elena albergarían la mayor parte de las áreas de cultivo de camarón del país (Prado et al., 2021), lo cual revelaría cómo el éxito exportador del sector habría dependido de la expansión de actividades que, si bien generarían posicionamiento en mercados externos como el chino, mantendrían su núcleo operativo en una franja costera determinada que, aunque limitada en extensión, resultaría decisiva para la proyección que el Ecuador acuicultor alcanzaría en el escenario global.

La calidad de las postlarvas, que condiciona de manera directa el desempeño productivo en las piscinas de engorde, ha convertido a las técnicas orientadas a mejorar la productividad reproductiva de los camarones en un elemento de importancia significativa dentro del sector, en tanto que la competitividad internacional de la industria camaronera ecuatoriana descansaría en última instancia sobre la eficiencia de sus laboratorios de maduración y larvicultura, un vínculo que Alfaro-Montoya et al. (2018) habrían subrayado al situar esta problemática en el centro de las prioridades tecnológicas del campo.

La cuestión de la ablación del pedúnculo ocular como práctica habitual en sistemas de producción intensiva ha adquirido una visibilidad creciente que no podría comprenderse sin la convergencia de presiones internacionales vinculadas a la sostenibilidad y al bienestar animal,

tendencias que, aunque emergieron con fuerza en contextos normativos ajenos al ámbito acuícola tradicional, han terminado por erosionar la legitimidad de técnicas antes consideradas ineludibles, entre las cuales esta intervención quirúrgica ocupa un lugar particularmente controvertido, puesto que el estrés fisiológico que acarrea en las hembras reproductoras, junto con las repercusiones que podría tener sobre la calidad de la progenie obtenida (Wahlteiz et al., 2022), ha desplazado el debate desde la mera eficiencia productiva hacia interrogantes éticos y sanitarios que exigirán, con toda probabilidad, una reconfiguración de los protocolos de manejo si se pretende que la industria mantenga su licencia social para operar en mercados cada vez más exigentes.

6.4 Generalidades del camarón blanco *Penaeus vannamei*

6.4.1 Biología de la especie

La consolidación de *Penaeus vannamei* como especie dominante en la acuicultura mundial, cuya expansión se ha visto impulsada por su rápido crecimiento, elevada fecundidad y notoria capacidad de adaptación a distintas condiciones de salinidad (Huang et al., 2024; Ye et al., 2023), reposa sobre una morfología funcionalmente especializada que, aunque compartida con otros miembros de la familia Penaeidae, adquiere en este crustáceo decápodo particular relevancia productiva, de modo que el cuerpo segmentado, el exoesqueleto quitinoso y los apéndices diferenciados para locomoción, alimentación y reproducción (Taha, 2023), rasgos que Chan (2023) identifica como definitorios del grupo, constituyen la base biológica sobre la cual se sustentarían, en tanto que ventajas evolutivas preadaptativas, las cualidades que posteriormente los sistemas de cultivo intensivo habrían de explotar con éxito comercial.

La diferenciación de la estructura poblacional en los sistemas de cultivo constituye un rasgo distintivo que se facilita por el dimorfismo sexual evidente que presentan los adultos de esta especie, los cuales podrán superar los 20 cm de longitud, en tanto que las hembras alcanzarán dimensiones superiores a las de los machos (Anand et al., 2023), aunque la

coloración de *Penaeus vannamei* se caracterizará por ser predominantemente traslúcida, con tonalidades azuladas o blanquecinas que fluctuarán según la dieta, las condiciones del ambiente y el estatus fisiológico del organismo. La regulación negativa de la reproducción, que actúa como función principal del pedúnculo ocular mediante la producción de la hormona inhibidora de la vitelogénesis, representaba uno de los complejos mecanismos neuroendocrinos que controlarían la madurez sexual en las hembras (Wahlteiz et al., 2022), mientras que el sistema reproductor femenino se localizaba ventralmente entre el cuarto y quinto par de pereiópodos, donde se ubicaba el telico, estructura esencial para el almacenamiento de espermátóforos durante el proceso de cópula (Aquino et al., 2021; Mohale et al., 2024).

La capacidad de *Penaeus vannamei* para prosperar tanto en ambientes marinos como en sistemas de baja salinidad, manteniendo un desempeño productivo que no se vería comprometido por las fluctuaciones osmóticas del medio, constituye una de sus características biológicas más relevantes para la acuicultura contemporánea, dado que esta plasticidad eurihalina, que le permitirá colonizar hábitats donde otras especies perecerían, deriva de mecanismos fisiológicos de regulación osmoregulatoria que, aunque habían sido documentados en crustáceos estuarinos de modo ancestral, alcanzan en esta especie una expresión particularmente eficiente que la convertiría en el candidato predilecto para sistemas de cultivo alternativos donde la escasez de agua de mar podría limitar la expansión del sector camaronero, según lo reportado por Ye et al. (2023).

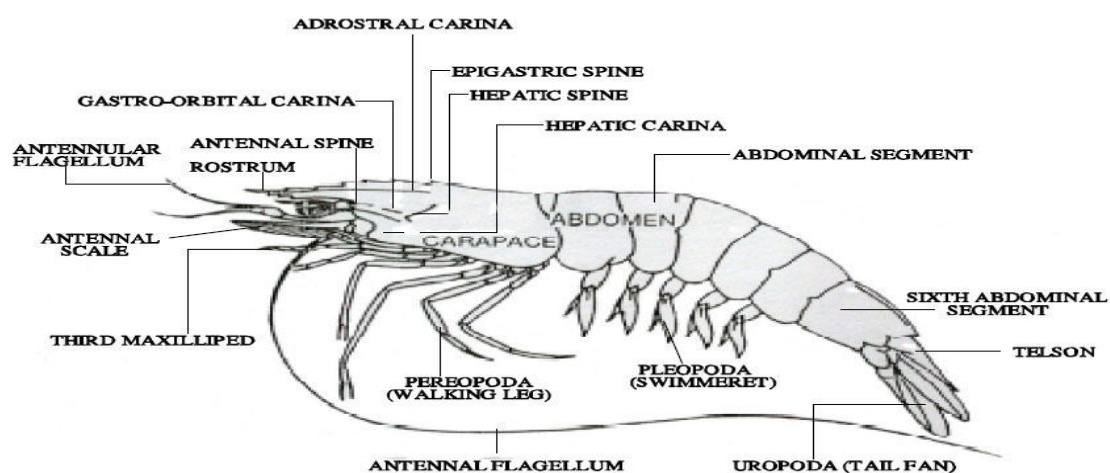
La estrecha vinculación con el fondo de estanques, lagunas costeras y ambientes estuarinos que caracteriza a esta especie durante la mayor parte de su ciclo de vida constituye una manifestación de hábitos predominantemente bentónicos, los cuales resultarían incompatibles con un régimen alimentario especializado dado que su dieta omnívora-detritívora, documentada por Gutiérrez et al. (2016), abarca simultáneamente materia orgánica, pequeños invertebrados, algas y microorganismos sedimentarios, de modo que la diversidad

trófica observada no solo refleja la plasticidad ecológica derivada de su permanencia en el sustrato, sino que además revela una estrategia adaptativa mediante la cual la explotación de múltiples recursos nutricionales habría facilitado su establecimiento en sistemas lénticos de variada condición ambiental, aunque esta misma generalización trófica podría limitar su competitividad en hábitats donde especialistas detritívoros o algívoros alcanzan mayor eficiencia de forrajeo, en tanto que la dependencia del sedimento como fuente primaria de alimento establece un vínculo funcional inseparable entre su morfología, su comportamiento y la estructura del ecosistema que habita.

6.4.2 Morfología externa

Figura 1

Morfología externa de Penaeus vannamei



Morfology of white shrimp

Nota: Vista lateral de un ejemplar en la que se identifican sus principales regiones corporales y estructuras anatómicas.

La segmentación corporal de *Penaeus vannamei*, cuya comprensión resulta fundamental para el análisis morfofuncional de esta especie, se articula en tres regiones diferenciadas que responden a lógicas tanto protectoras como locomotoras, de modo que el cefalotórax, producto de la fusión histórica entre cabeza y tórax y blindado por un caparazón

rígido que cobijaría órganos tan vitales como el corazón, las branquias y porciones del sistema digestivo, constituiría la unidad anterior mientras que el abdomen, conformado por seis segmentos móviles que culminan en el telson, habilitaría los movimientos natatorios y la propulsión gracias a la acción de los pleópodos birrámeos que lo atraviesan.

Esta arquitectura segmentaria, aunque aparentemente estática, se vuelve dinámica cuando se examina el dimorfismo sexual en ejemplares adultos, puesto que la morfología de dichos apéndices diverge radicalmente entre sexos en tanto que los machos presentarían endopóditos del primer par fusionados en estructuras petasmales, mientras que las hembras conservarían en todos sus pleópodos la configuración birrámea original, diferencia que, conjugada con el análisis de los estadios de madurez gonadal que permitirían clasificarlas desde la condición virginal hasta la recuperación post-desove, ofrecería una evaluación precisa de su estado reproductivo (Tito et al., 2024).

La interrupción selectiva de la síntesis de la hormona inhibidora de la vitelogénesis mediante ablación constituye una técnica cuyo éxito reposa en la comprensión previa de una arquitectura cefálica extraordinariamente especializada, pues sobre esta región se asientan estructuras como anténulas, antenas, mandíbulas y maxilas que, si bien cumplen funciones primordiales, comparten espacio con ojos compuestos portados por pedúnculos móviles cuya relevancia trascienderá lo meramente visual.

Dichos pedúnculos oculares albergarían, en efecto, una doble condición funcional que integraría facultades sensoriales con una capacidad endocrina decisiva, toda vez que en su interior se aloja el complejo órgano X, glándula del seno, estructura que Chan et al. (2019) identificaron como responsable de la producción de hormonas moduladoras de procesos tan cruciales como la muda, el metabolismo energético y la reproducción en crustáceos, de modo que cuando Kang et al. (2021) diseñaron su protocolo de ablación para acelerar la maduración gonadal en cautiverio, estaban atacando deliberadamente este núcleo regulador que,

precisamente por su localización en pedúnculos accesibles, se prestaba a una manipulación quirúrgica que alteraría el equilibrio hormonal hacia una inducción artificial del desarrollo reproductivo.

La identificación taxonómica de *Penaeus vannamei* descansa en rasgos estructurales que, aunque aparentemente simples, condensan información evolutiva y funcional de considerable relevancia para la sistemática del grupo, de modo que el rostro, entendido como esa prolongación anterior puntiaguda del caparazón, constituye uno de tales elementos diagnósticos al presentar dientes dorsales y ventrales cuya morfología y número habrían de examinarse con detenimiento, ya que esta especie exhibiría generalmente entre 2 y 4 dientes ventrales (Chan, 2023), configuración que, si bien variará entre individuos, permitiría diferenciarla de taxones próximos con los que podría confundirse en contextos de pesca o acuicultura, en tanto que el exoesqueleto, por su parte, desempeñaría una doble función que trascendería la mera protección mecánica de los tejidos blandos, pues actuaría asimismo como una limitante estructural que regularía el crecimiento corporal a través del proceso de muda (Jensen, 2023), mecanismo que, al renovar periódicamente está cubierta rígida, posibilitaría el incremento de tamaño que de otro modo quedaría restringido por la inflexibilidad del arazón calcificado.

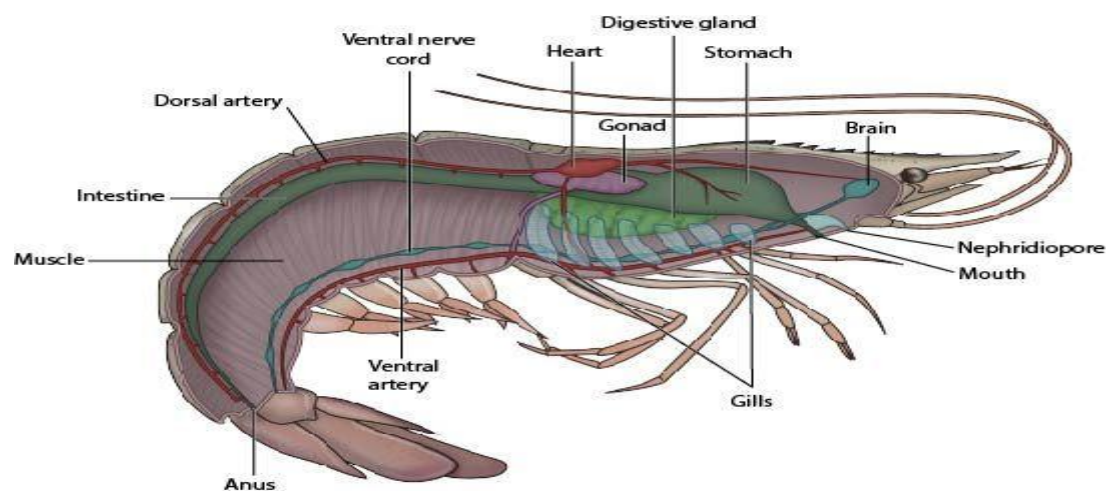
La locomoción de *Penaeus vannamei* y sus movimientos rápidos de escape constituirían un sistema funcionalmente imposible sin la flexibilidad que le confiere una arquitectura corporal segmentada, puesto que los seis segmentos abdominales articulados, descritos por Mazancourt et al. (2022), no solo otorgan la movilidad estructural indispensable para el desplazamiento que Li et al. (2017) documentaron, sino que también establecen la base anatómica sobre la cual operarán los pares de pleópodos presentes en cada segmento, los cuales facilitarían el desplazamiento acuático ordinario, en tanto que el telson y los urópodos, articulados con esta misma estructura segmentaria, se activarían en situaciones de peligro

inminente, generando así una dualidad locomotora que integraría la natación rutinaria con respuestas evasivas de alta velocidad, aunque esta especialización funcional dependería enteramente de la integridad morfológica de aquella cadena articular abdominal que, de modo simultáneo, permite y condiciona toda la gama de movimientos que el crustáceo podrá ejecutar a lo largo de su ciclo vital.

6.4.3 Morfología interna

Figura 2

Morfología interna de P. vannamei



Nota: Representación de la anatomía interna del camarón, destacando la distribución de los sistemas digestivo, circulatorio, reproductor y nervioso.

La integridad estructural y la motilidad del ejemplar dependerán del tejido muscular, al igual que las branquias permitirán el intercambio gaseoso con una configuración que, siendo altamente sensible a las variaciones en la calidad del agua, funcionará como indicador clave de la salud metabólica en condiciones de cultivo (Xu et al., 2017; Li et al., 2024), mientras que el hepatopáncreas, que ocupará la mayor parte del cefalotórax y será fundamental para la secreción de enzimas digestivas, coexistirá con el intestino localizado en el abdomen, cuya estructura desempeñará un papel crítico tanto en la nutrición como en la respuesta inmunitaria del organismo, en tanto que el sistema digestivo de *Penaeus vannamei*, que iniciará en la boca y continuará hacia un estómago dividido en región cardiaca, la cual participará en la trituración

mecánica del alimento, y región pilórica, que actuará como sistema de filtración antes de que el contenido pase al intestino (Ortega et al., 2019), conectará finalmente con dicho hepatopáncreas que, como principal órgano de absorción y almacenamiento de nutrientes (Said et al., 2024), recibirá el alimento previamente procesado por los escleritos gástricos del estómago, estructuras que, al facilitar la trituración antes del paso al hepatopáncreas (Mazancourt et al., 2022), completarán la organización de los órganos internos dentro del cefalotórax.

La explotación de fuentes alimenticias naturales y alternativas como el biofloc, tal como documentaron Krummenauer et al. (2022), encuentra en la especialización morfológica de los maxilípedos un mecanismo que habilitará una captura altamente eficiente de partículas orgánicas y microorganismos, en tanto que esta adaptación anatómica, aunque pudiera parecer una mera modificación estructural, constituye de hecho la premisa funcional sobre la que se sustenta todo el aprovechamiento nutricional de la especie, de modo que lo que en apariencia sería una limitación ecológica se transforma, precisamente por esa configuración morfológica, en una ventaja competitiva que permitirá a estos organismos subsistir y proliferar en ambientes donde otros competidores fracasarían, mientras que la eficiencia de dicho proceso dependerá siempre de la correspondencia entre la oferta de partículas presentes en el medio y la capacidad filtradora que aquella especialización confiere.

La integración de procesos metabólicos e inmunológicos con la secreción enzimática y el almacenamiento energético constituiría la base funcional del hepatopáncreas, órgano cuya relevancia fisiológica trasciende la mera digestión en tanto que, además de absorber nutrientes, articula reservas bioquímicas con respuestas de defensa del organismo, de modo que su asociación al sistema digestivo no agota su significado biológico, sino que lo proyecta hacia una comprensión más amplia de la homeostasis corporal, aunque esta multidimensionalidad

operativa ya había sido señalada en trabajos previos que enfatizaban su papel central en la fisiología de invertebrados acuáticos (Said et al., 2024).

La integración funcional del hepatopáncreas como centro metabólico, inmunitario y reproductivo constituye el eje vertebrador de la fisiología de estos crustáceos, pues de su correcta operación dependen procesos tan disímiles como la detoxificación, la síntesis de hormonas esteroideas y la movilización de reservas energéticas hacia los ovarios para la vitelogénesis (Jiang et al., 2022; Li et al., 2022), lo cual resulta comprensible si se considera que este órgano, al actuar simultáneamente como principal almacén de lípidos y aminoácidos y como regulador de genes clave en la respuesta inmunitaria ante patógenos durante el desarrollo ontogénico (Liu et al., 2022; Sharifinia et al., 2023).

Concentra en sí mismo funciones que en otros grupos taxonómicos estarían distribuidas entre múltiples sistemas, una compartimentación que se extiende al tracto digestivo en su conjunto, donde el estómago opera como filtro selectivo mediante estructuras setosas que impiden la regurgitación, mientras que el hepatopáncreas y el mesenterio asumen la digestión enzimática y la absorción de nutrientes (Guéganton et al., 2022), configurando así un sistema cuya morfología cambiante a lo largo del desarrollo ejerce presión selectiva sobre la microbiota intestinal, diversificando sus funciones según la sección anatómica (Gutiérrez-Pérez et al., 2022).

Circunstancia que adquiere mayor relevancia cuando se examina el metabolismo lipídico, estrechamente vinculado a la concentración de colesterol en la hemolinfa, precursor esencial en la síntesis de hormonas esteroideas y ecdiesteroides que regula el ciclo de muda (Khanjani, 2025), y que en esta especie peneida se transporta desde el epitelio hepatopancreático hacia los tejidos diana mediante lipoproteínas en la hemolinfa, dado que el proceso digestivo carece de una circulación biliar avanzada (Ashour et al., 2024), lo cual no impide que el sistema circulatorio abierto, con su hemolinfa rica en hemocianina como

pigmento respiratorio, mantenga una eficiente distribución de oxígeno y metabolitos gracias al bombeo cardiaco dorsal en el cefalotórax, cuya regulación hormonal determinará finalmente el rendimiento reproductivo y el crecimiento del crustáceo (Goh et al., 2023).

La regulación hormonal de la reproducción y la muda, fenómenos cuyo control central reside en el complejo neuroendocrino de los pedúnculos oculares, constituye una de las funciones más destacadas del sistema nervioso, el cual, compuesto por ganglios y cordones nerviosos asociados a órganos sensoriales especializados, establecería según Knowles & Carlisle (1956) las bases estructurales de esta coordinación neuroendocrina que Chowdhury et al. (2026) y López-Galindo et al. (2023) han seguido documentando en décadas recientes, de modo que la maduración ovárica, lejos de ser un proceso aislado, dependería estrechamente de la interacción dinámica entre estos centros neurosecretores y órganos periféricos como el hepatopáncreas, estructura que modula no solo la síntesis de vitelogenina sino también su posterior transporte hacia los ovocitos, mecanismo que Feng et al. (2022) han caracterizado como esencial para comprender cómo la señalización central se traduce en eventos reproductivos periféricos en organismos con esta organización neuroendocrina.

La regulación neurohormonal ejercida desde el complejo órgano X-glándula del seno, que modulará la síntesis de vitelogenina tanto en el ovario como en el hepatopáncreas (Chen et al., 2026; Rodríguez et al., 2021), constituye el eje central de un proceso de maduración sexual en hembras cuya complejidad anatómica se revela en la presencia de ovarios dorsales alargados conectados a oviductos que desembocarían en el télico, estructura encargada de almacenar el espermatóforo durante la reproducción (Aquino et al., 2021), mientras que en los machos la especialización morfológica alcanzaría su expresión mediante testículos, conductos deferentes y una estructura copulatoria denominada petasma (Aquino et al., 2021; Furukawa et al., 2025), de modo que ambos sistemas, aunque diferenciados en sus respectivas funciones

gaméticas y de transferencia, compartirían esa lógica de sofisticación estructural que caracterizaría la reproducción de estos organismos.

6.4.4 Hábitat y distribución

La distribución latitudinal de *Penaeus vannamei*, que abarca desde México hasta Perú incluyendo las zonas costeras de Ecuador y las Islas Galápagos (Librizzi et al., 2023; Naser et al., 2022), constituye el resultado de una adaptación evolutiva a las aguas tropicales y subtropicales donde la temperatura raramente desciende por debajo de los 20 °C (Librizzi et al., 2023; Naser et al., 2022), aunque esta preferencia térmica habría condicionado también la partición de hábitats que caracteriza su ciclo vital, de modo que los adultos desarrollan sus funciones reproductivas en ambientes marinos abiertos (Balderas-González et al., 2023).

Mientras que las fases juveniles y postlarvales requerirán de los estuarios, lagunas costeras y zonas de manglar como refugios que, en tanto que ofrecen protección contra depredadores y abundante disponibilidad de alimento (Balderas-González et al., 2023; Chong-Robles et al., 2022), permitirán que posteriormente se active el control neuroendocrino del complejo órgano X-glándula del seno para iniciar la vitelogénesis en las hembras que alcanzan madurez sexual en el mar abierto (Kang et al., 2021), completando así las migraciones ontogénicas que vinculan los sistemas estuarinos con el océano (Balderas-González et al., 2023).

La consolidación de esta especie como recurso de relevancia para la acuicultura comercial, tal como lo documentara Jauncey (1993), se habría sustentado en una plasticidad fisiológica que le permitiría colonizar ambientes de marcada heterogeneidad salina, de modo que su cultivo podría extenderse desde sistemas marinos hasta estuarios e incluso condiciones de baja salinidad, aunque esta misma tolerancia, que en apariencia constituiría una ventaja comparativa frente a otras especies de menor adaptabilidad, habría operado como factor determinante en su expansión global, en tanto que los productores habrían podido implementar

la especie en regiones donde la disponibilidad de agua marina resultaba limitada o donde la variabilidad estacional de la salinidad habría excluido alternativas productivas menos versátiles, generando así un escenario en el que la resiliencia osmorreguladora de la especie se traduciría directamente en oportunidades económicas diversificadas para el sector.

6.4.5 Ciclo de vida

La secuencia ontogenética completa que condiciona la viabilidad productiva de la especie acuícola más cultivada a nivel global se articula mediante una progresiva complejificación morfofisiológica que, aunque parte de la simplicidad del estado embrionario, exigirá condiciones ambientales diferenciadas en cada transición si se pretende optimizar la supervivencia hasta la madurez reproductiva, pues el trayecto que va desde el huevo fertilizado hasta el individuo adulto atraviesa fases larvarias críticas (nauplio, zoea y mysis) en las que la organización corporal será reconfigurada radicalmente, de modo que el éxito de la postlarva y las etapas juveniles posteriores dependerá en buena medida de cómo se hayan gestionado dichos estadios iniciales, mientras que la integración de todo este ciclo biológico en sistemas de producción intensiva habrá de considerar que cada fase implica requerimientos nutricionales y de calidad de agua que, si bien pueden parecer estándar en la literatura especializada sobre *Penaeus vannamei*, demandarán ajustes particulares según la escala operativa y las condiciones locales prevalecientes.

La transición hacia los estadios de zoea y mysis constituirá la puerta de entrada hacia una fase de postlarva planctónica plenamente desarrollada, dado que en dichas etapas críticas se activará la alimentación exógena, la cual dependerá fundamentalmente de fitoplancton y zooplancton, aunque esta secuencia no podría comprenderse cabalmente sin reconocer que el estadio nauplio ya habrá transitado por múltiples subestadios previamente definidos mediante sucesivas remodelaciones morfológicas que, en tanto que preparatorias de los mecanismos

digestivos y locomotores posteriores, condicionarán el éxito de la captura y asimilación de recursos tróficos externos que resultarán indispensables para completar el ciclo larval.

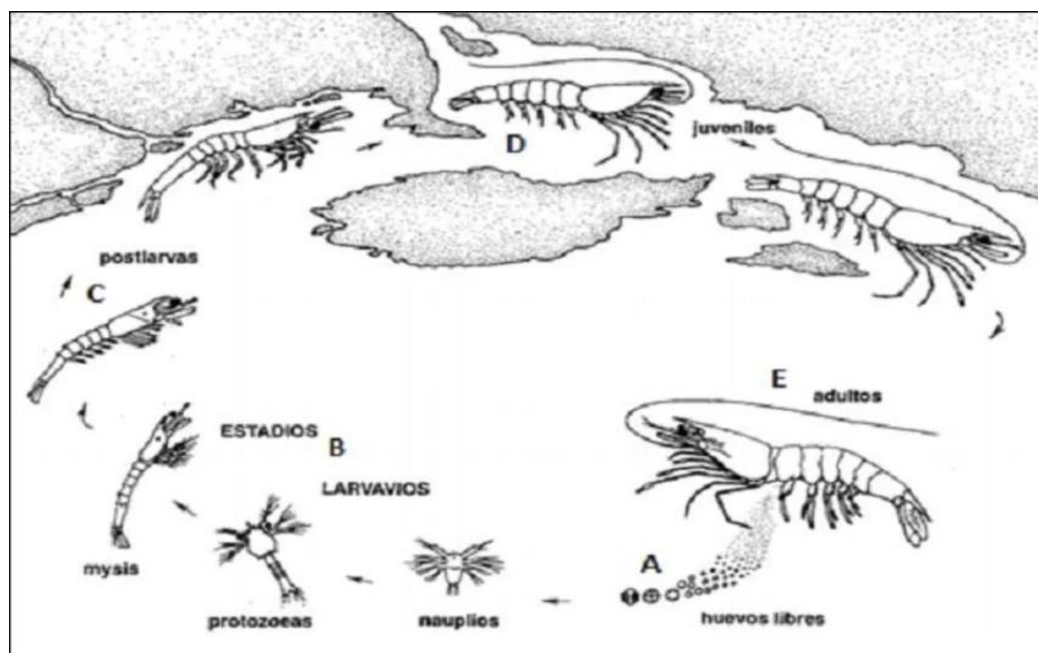
La consolidación de adaptaciones anatómicas orientadas a una mayor eficiencia en la captura de alimento y a una movilidad optimizada en la columna de agua constituye el resultado de un proceso que habrá tenido su origen en la transición hacia el estadio zoea, fase crítica durante la cual se establece una alimentación exógena basada principalmente en microalgas que, en tanto que representa una transformación metabólica fundamental respecto al consumo previo de reservas vitelinas, condicionará el éxito posterior del desarrollo larvario, de modo que la larva, aunque aún dependiente de condiciones ambientales variables, irá configurando progresivamente las estructuras necesarias para su supervivencia en el medio acuático, según lo han documentado Pina et al. (2006), mientras que Velasquez & Solorzano-Reyes (2021) enfatizan que dicha transición metabólica desde el metabolismo vitelínico hacia la nutrición externa marca un punto de inflexión en la ontogenia de estos organismos.

La capacidad osmorregulatoria que exhiben estos organismos a lo largo de su ciclo vital, actuando como hiperosmorreguladores cuando enfrentan ambientes de baja salinidad y como hipoosmorreguladores durante su regreso al océano para el desove (Balderas-González et al., 2023), constituye un rasgo fisiológico que adquiere especial relevancia cuando se considera que dichas transiciones ontogénicas están precedidas por transformaciones morfológicas profundas, entre las cuales destaca el estadio mysis, fase en el cual las larvas desarrollan una configuración corporal progresivamente similar a la del camarón juvenil, para posteriormente experimentar la migración de las postlarvas hacia zonas costeras donde continuarán su crecimiento hasta alcanzar la madurez sexual (Ortega et al., 2019), de modo que la secuencia completa revela cómo los cambios estructurales y las adaptaciones fisiológicas operan de manera concertada, aunque con ritmos diferenciados, a lo largo del desarrollo del organismo.

Una mayor estabilidad fisiológica que se consolida progresivamente hacia el estadio PL15, como documentan Chong-Robles et al. (2022), constituye el resultado de una transición hacia fases de postlarva en la que la tolerancia a variaciones de salinidad se incrementa de manera paulatina, aunque este avance solo será posible si las etapas larvales previas, extremadamente sensibles a factores ambientales, nutricionales y fisiológicos, han logrado desarrollarse con éxito, lo cual dependerá en gran medida de que la calidad de los reproductores y de los nauplios obtenidos haya sido la adecuada, ya que de lo contrario la supervivencia, la uniformidad de muda y la presencia o ausencia de deformidades durante el desarrollo larval temprano se verían comprometidas, afectando así todo el proceso posterior de maduración osmorreguladora que caracterizará a los organismos en sus estadios más avanzados.

Figura 3

Ciclo de vida



Nota. Etapas del desarrollo del camarón y migración periódica entre el océano abierto y los ecosistemas estuarinos, como esteros y manglares (Higuera-Zuñiga, 2020).

6.5 Anatomía y fisiología reproductiva de *Penaeus vannamei*

6.5.1 Sistema reproductor de hembras

La regulación endocrina de la movilización de reservas lipídicas y proteicas desde el hepatopáncreas hacia los ovocitos en crecimiento (Chen et al., 2026; Rodríguez et al., 2021) constituye el mecanismo central que explica por qué los ovarios, órganos pares situados dorsalmente y extendidos longitudinalmente a lo largo del cefalotórax y el abdomen, experimentarán cambios drásticos en tamaño, coloración y composición del vitelo durante su maduración, reflejando así una intensa actividad metabólica que habrá determinado, en última instancia, la calidad nutricional del huevo y el éxito reproductivo y del desarrollo embrionario (Ruan et al., 2020).

En tanto que la vitelogénesis, proceso metabólico crítico donde la acumulación de vitelogenina, precursor del vitelo, opera como eje vertebrador, resulta inseparable de la movilización eficiente de ácidos grasos altamente insaturados que, aunque frecuentemente asociada únicamente con las demandas energéticas del embrión, fortalecerá simultáneamente la competencia inmunológica y garantizará la viabilidad de la futura descendencia frente a agentes patógenos (Visudtiphole et al., 2025), de modo que ambos procesos, interdependientes y coordinados por el mismo eje endocrino, configuran la base fisiológica sobre la cual descansará la reproducción exitosa.

La acumulación de lípidos en el ovario y la secreción estrogénica, procesos que serán favorecidos por la ingesta de fosfolípidos específicos y ácidos grasos de cadena larga según documentara Liang et al. (2022), no podrían comprenderse cabalmente sin remontarse a la vitelogénesis, una de las etapas fisiológicas más importantes de la reproducción en crustáceos peneidos tal como la caracterizaran Montes-Domínguez et al. (2021), fenómeno que, a su vez, se origina cuando los ovarios incrementan progresivamente su volumen a medida que la hembra alcanza la madurez sexual, expansión que Ma et al. (2024) atribuyeron al desarrollo de

los ovocitos y a la acumulación de reservas nutritivas que resultarán indispensables para el desarrollo embrionario.

La especialización reproductiva del télico como receptáculo del espermatóforo masculino condiciona en gran medida la dinámica de la fecundación en hembras de *Penaeus vannamei*, pues esta estructura ventral cefalotorácica, al presentar morfología abierta (Anand et al., 2023), propicia que el espermatóforo permanezca adherido de manera transitoria hasta que los ovocitos liberados a través de los oviductos, que establecen la conexión anatómica entre las gónadas y el medio externo durante el desove, transiten hacia el exterior y se encuentren disponibles para la fecundación (Aquino et al., 2021; VANLI & Harlıoğlu, 2021), configurando así un sistema de almacenamiento que, aunque compartido con otros peneidos, adquiere particular relevancia funcional en esta especie por la sincronización que demanda entre la recepción del espermatóforo durante la cópula y la posterior liberación gamética que permitirá la fecundación efectiva.

La capacidad de adhesión y almacenamiento temporal del espermatóforo hasta la fecundación constituye una función reproductiva clave que, en *Penaeus vannamei*, se sustenta en una morfología télica de tipo abierto, característica que comparten diversas especies del grupo de los peneidos según han documentado Anand et al. (2023), aunque la relevancia funcional de dicha estructura había sido previamente descrita por Aquino et al. (2021) en términos de sus implicaciones para el éxito reproductivo, de modo que la convergencia entre la forma anatómica y su utilidad fisiológica configura un ejemplo de cómo la especialización estructural en crustáceos decápodos responde a presiones selectivas vinculadas con la transferencia y protección del material genético masculino en contextos de reproducción acuática.

6.5.2 Sistema reproductor de machos

La transferencia efectiva del material seminal hacia el télico de la hembra, que se ejecuta mediante la acción de los petasmas como estructuras copulatorias modificadas que aseguran una fijación mecánica precisa del espermatóforo garantizando así su integridad y correcta adhesión durante la cópula (Aquino et al., 2021; Wang et al., 2025), constituye el punto culminante de un proceso reproductivo cuya anatomía subyacente había sido descrita previamente por Martín-Manzo et al. (2023) en términos de testículos, conductos deferentes, ámpulas terminales y estructuras copulatorias especializadas en decápodos como *Penaeus vannamei*, de modo que los espermatozoides producidos en los testículos dorsalmente ubicados dentro del cefalotórax serían transportados hacia los conductos deferentes donde se encapsularían en espermatóforos antes de su almacenamiento en las ámpulas terminales (Martínez et al., 2013).

Proceso que Aquino et al. (2021) habían caracterizado como la formación de estructuras complejas compuestas por tubos llenos de espermatozoides recubiertos por una matriz gelatinosa protectora facilitadora de su integridad durante la transferencia, mientras que la expulsión final hacia el poro genital, regulada por la presión interna necesaria para la eyección efectiva según Laining et al. (2022), completaría este trayecto que inicia en la producción testicular y culmina en la cópula.

La transferencia y fijación del espermatóforo sobre la superficie ventral o télico de la hembra, proceso en el cual intervendrían estructuras especializadas como setas en forma de espiga capaces de controlar la dirección de dicha transferencia hacia las espermatecas (Feng et al., 2018), encuentra su fundamento estructural en el petasma, una modificación de los endopoditos del primer par de pleópodos masculinos que, en tanto que compleja estructura membranosa de pliegues y surcos, había sido ya descrita por King (1948) y Bauer (1986) como elemento indispensable para la reproducción en camarones peneidos, de modo que la

eyaculación en el surco ventromedial del petasma y la posterior dirección del espermatóforo constituyen una secuencia que, aunque parecería mecánicamente determinada, podría implicar un control más fino del que tradicionalmente se ha supuesto, lo cual abriría interrogantes sobre la selectividad de dichas estructuras en contextos evolutivos futuros.

La variabilidad en la calidad del espermatóforo y en la capacidad reproductiva de los machos, fenómeno que responde de manera directa a las condiciones de manejo y nutrición (Barral-Pintos et al., 2023), constituye un factor que modula de forma sustancial el alcance de su madurez sexual, la cual, aunque se manifiesta con mayor celeridad que en las hembras, no garantizaría por sí sola un desempeño reproductivo óptimo en tanto que la interacción entre el entorno y la fisiología masculina seguiría operando como determinante clave de su éxito reproductivo futuro.

La verificación eficaz de la calidad y formación del espermatóforo mediante la inducción de la eyección por estimulación eléctrica en la base de los periópodos se constituye como una técnica fundamental, en tanto que la evaluación del estado reproductivo del macho demanda métodos especializados que superen las limitaciones de los abordajes meramente observacionales, aunque esta intervención solo resultará plenamente interpretable si se comprende que el almacenamiento y la viabilidad de los espermatozoides dentro de las ámpulas terminales dependen de una secreción glandular precisa que sintetiza la matriz necesaria para la integridad estructural del espermatóforo antes de su expulsión por el poro genital, localizado en la base del quinto par de periópodos.

De modo que la relación entre la fisiología glandular subyacente y la respuesta a la estimulación eléctrica constituirá un indicador cuya validez se extenderá tanto a los diagnósticos presentes como a los protocolos de manejo reproductivo que se desarrollarán en los próximos años (Laining et al., 2022; Reyes-Avalos et al., 2022).

6.5.3 Proceso reproductivo y cópula

La sincronización entre el ciclo de muda femenino y el apareamiento constituye el eje reproductivo central de *Penaeus vannamei* en su hábitat natural, de modo que la cópula queda estrictamente ligada a dicho proceso ecdisial (Sultana et al., 2023), una condicionante que habría emergido como estrategia evolutiva para maximizar el éxito fertilización en tanto que la exuviación proporciona al macho acceso óptimo al espermatóforo, aunque esta dependencia fisiológica implica que cualquier alteración en la frecuencia o regularidad de las mudas repercutirá directamente sobre la viabilidad reproductiva del stock, lo cual explica que la maduración gonadal, aunque constituye un proceso paralelo y necesario, quede funcionalmente subordinada a la correcta temporalización del ciclo de muda, de forma que ambos fenómenos, junto con los comportamientos de cortejo que los anteceden, configuran una secuencia integrada cuya perturbación comprometería seriamente la continuidad poblacional de la especie en condiciones naturales.

La adherencia del espermatóforo sobre la superficie del télico por parte del macho, proceso que Aquino et al. (2021) sitúan inmediatamente anterior al desove, constituye el desenlace de una compleja secuencia fisiológica cuya viabilidad reposará, según lo documentado por Sultana et al. (2023), en una sincronización temporal rigurosa entre ambos sexos, de modo que la maduración ovárica y el desove femenino deberán coincidir necesariamente con el periodo de intermuda.

Específicamente con los estadios C0, D1, en tanto que cualquier desfasamiento en esta ventana reproductiva comprometería irremediablemente el éxito de la cópula en *Penaeus vannamei*, puesto que la fisiología del macho habrá quedado igualmente condicionada, aunque de manera diferente, por ese mismo ciclo de muda que regula, de forma simultánea pero asimétrica, la preparación de ambos organismos para el apareamiento.

La determinación del mecanismo de fecundación como condición fundacional para el desarrollo embrionario, que culminaría posteriormente con la eclosión del nauplio, se sustenta en un proceso de liberación y fecundación externa de los ovocitos durante el desove, proceso en el cual estos entrarían en contacto con el espermátforo almacenado en el télico según lo documentado por Aquino et al. (2021) y VANLI & Harlıoğlu (2021), de modo que la formación del cigoto quedaría así establecida como resultado inevitable de esta interacción gamética, aunque la secuencia completa del desarrollo, que incluye tanto la fecundación propiamente dicha como las etapas subsecuentes del embrión, dependería en última instancia de la correcta coordinación de estos eventos reproductivos en el contexto fisiológico del organismo.

La consistencia de la calidad espermática en machos de *P. vannamei*, que según Barral-Pintos et al. (2023) no presentaría diferencias significativas entre sistemas de cultivo o esquemas alimenticios, contrasta marcadamente con la marcada variabilidad que las hembras de esta misma especie exhibirían en sus parámetros reproductivos cuando son sometidas a condiciones de maduración bajo cautiverio.

Esta divergencia entre sexos evidenciaría cómo la fecundidad y la viabilidad larval resultarían particularmente sensibles a una compleja red de factores fisiológicos, nutricionales y hormonales cuya interacción, aunque operaría bajo protocolos de cultivo aparentemente estandarizados, generaría resultados heterogéneos que los sistemas de producción acuícola deberían considerar para optimizar sus rendimientos reproductivos en un futuro próximo.

6.5.4 Maduración gonadal

La estabilidad de la capacidad reproductiva en los machos de *Penaeus vannamei*, que se mantiene incluso cuando varían los sistemas de cultivo o los esquemas alimenticios, constituye un hallazgo central en la investigación de Barral-Pintos et al. (2023) sobre calidad espermática, aunque esta misma estabilidad contrasta con la invisibilidad estructural del estado madurativo testicular, condición que obliga a recurrir a métodos especializados de evaluación

según documentara Laining et al. (2022), dado que, a diferencia de lo que ocurre en las hembras, el exoesqueleto no permite inferir el grado de desarrollo del sistema reproductor, proceso que Martínez et al. (2013) habían caracterizado previamente como la maduración gonadal completa en los machos de esta especie.

La identificación de los estadios de maduración ovárica mediante modificaciones en el tamaño y la coloración, como han documentado Tito et al. (2024) y Wouters et al. (2001), constituye un criterio de diagnóstico que reflejará la progresión fisiológica del proceso reproductivo, en tanto que la apariencia inicial translúcida y poco desarrollada de los ovarios irá transformándose progresivamente en tonalidades amarillas, verdes o verdosas oscuras conforme avance la vitelogénesis, de modo que esta secuencia cromática.

Aunque aparentemente simple, encierra una compleja reorganización bioquímica que habrá de completarse para garantizar la viabilidad del desove futuro, mientras que la translucidez primigenia, que podría interpretarse como un estado de inmadurez funcional, cederá paso a pigmentaciones más intensas que evidenciarán la acumulación de reservas vitelinas, porque la vitelogénesis implica necesariamente alteraciones en la composición tisular que se manifiestan visualmente en dichos cambios de coloración.

La determinación de la frecuencia de desoves y la consecuente disponibilidad de huevos para producción larval, que en sistemas de cultivo intensivo constituiría una etapa cuya criticidad resulta ineludible para la viabilidad del ciclo productivo, encuentra su origen en un proceso de maduración cuya velocidad responderá a una confluencia de variables ambientales y biológicas que, aunque operan con distintos pesos relativos, actúan de modo simultáneo e interdependiente, pues la temperatura del medio, la naturaleza y abundancia de la alimentación, los parámetros de calidad del agua, el régimen de fotoperiodo y el estado fisiológico de los reproductores configurarían, según lo documentado por Anand et al. (2023) y Matmor et al. (2022), un entramado de factores cuya modulación integral permitiría anticipar, si bien nunca

con certeza absoluta, los ritmos reproductivos que Jin et al. (2022) identificaron como determinantes del éxito en la transición hacia las fases larvales.

La persistencia de un "cuello de botella" en la fertilidad de los sistemas sin ablación, donde una proporción notable de hembras no logra alcanzar la madurez sexual o desovar con la frecuencia necesaria (Hoang & Nguyen, 2025), ha impulsado a los laboratorios de maduración a diversificar sus estrategias nutricionales y hormonales destinadas a estimular el desarrollo ovárico (Jin et al., 2022), aunque la ablación del pedúnculo ocular seguiría constituyendo, en tanto que método históricamente consolidado dentro de la industria camaronera (López-Galindo et al., 2023), un referente cuya superación resulta particularmente compleja para quienes buscan implementar protocolos alternativos que, de modo que garanticen la productividad reproductiva sin incurrir en las limitaciones éticas y operativas que dicha técnica conlleva, deberán eventualmente demostrar una eficacia equiparable en condiciones de producción a escala comercial.

6.5.5 Control hormonal de la maduración

La regulación integral de funciones fisiológicas en crustáceos peneidos, que abarca desde el metabolismo y la muda hasta el balance osmótico, la respuesta al estrés y, de manera crucial, la reproducción, encuentra su eje coordinador en el complejo órgano X, glándula del seno alojado en los pedúnculos oculares, estructura cuya producción hormonal ha sido documentada por Farhadi et al. (2021) y cuya amplitud funcional fue posteriormente ampliada por Li et al. (2024), de modo que, cuando se examina específicamente el control del desarrollo reproductivo, emerge con particular relevancia la hormona inhibidora de la gónada (GIH), cuya acción de limitar el desarrollo ovárico y retrasar la vitelogénesis.

Fue precisada por Laphyai et al. (2021), aunque esta misma fuente advierte que la GIH no opera de manera aislada sino que se enmarca dentro de la compleja superfamilia de la hormona hiperglucemiante de los crustáceos, la cual integraría péptidos de funciones

especializadas entre los cuales se contaría la hormona inhibidora de la vitelogénesis, unidad funcional que, a diferencia de la GIH, ejercería un rol más específico sobre la inhibición de la producción de vitelogenina, configurando así un sistema de regulación neuroendocrina cuya comprensión, iniciada con los trabajos pioneros sobre los mecanismos reproductivos que Chowdhury et al. (2026) habrían de sistematizar, revela la intrincada especialización que la evolución ha operado sobre un aparato hormonal originariamente más amplio.

La perturbación de cualquier estructura neuroendocrina, como el complejo X-glándula del seno, generará cambios fisiológicos de considerable magnitud sobre el organismo (Balderas-González et al., 2023), puesto que las hormonas que este sistema produce son liberadas hacia la hemolinfa para actuar sobre diversos órganos blanco (Li et al., 2024), de modo que la integridad funcional de dicha glándula resulta indispensable para el mantenimiento del homeostasis corporal, aunque la magnitud de dichas alteraciones dependerá, en última instancia, de la extensión del daño y de los mecanismos compensatorios que pudieran activarse en respuesta a la disfunción neuroendocrina.

La ablación del pedúnculo ocular como práctica extendida en los laboratorios de reproducción de camarón descansa en un mecanismo endocrino que, al suprimir la señal inhibitoria ejercida por la GIH, desencadena una cascada fisiológica cuyo resultado será tanto la aceleración del proceso de maduración gonadal como el aumento cuantitativo en la frecuencia de desoves.

Efectos que han sido documentados por Vargas-Téllez et al. (2021) y cuya aplicación tecnológica ha sido posteriormente validada en contextos productivos por Chowdhury et al. (2026) y Duangprom et al. (2022), en tanto que esta intervención quirúrgica, aunque representaba originalmente una respuesta empírica a la necesidad de incrementar la disponibilidad de larvas en acuicultura, encontraría más tarde su justificación experimental

precisa en la comprensión de la dinámica hormonal que regula la reproducción en crustáceos decápodos.

6.5.6 Ablación del pedúnculo ocular

La aceleración de la maduración sexual en hembras reproductoras de crustáceos peneidos constituye el efecto buscado cuando se recurre a la ablación del pedúnculo ocular, técnica que opera mediante la remoción parcial o total de uno de estos órganos, lo cual reducirá la síntesis de hormonas inhibitorias del desarrollo gonadal, según lo documentado por López-Galindo et al. (2023), aunque esta disminución hormonal no sería posible sin la intervención quirúrgica que, al eliminar el tejido productor, altera el eje endocrino del animal.

El inhibidor deja de circular en concentraciones que bloquearan la gametogénesis, mientras que la hembra, al quedar liberada de esa represión fisiológica, iniciará o intensificará los procesos reproductivos que de otro modo permanecerían latentes o avanzarían a un ritmo insuficiente para los fines productivos de los cultivos, en tanto que la misma manipulación, aunque efectiva, planteará interrogantes éticos y sanitarios que deberán ponderarse contra los beneficios obtenidos en términos de sincronización del desove y predictibilidad del ciclo reproductivo.

La consolidación de la ablación del pedúnculo ocular como el método de inducción al desove más ampliamente adoptado dentro de la industria camaronera comercial, tal como señalan Chowdhury et al. (2026), reposa en una transformación operativa que habría reconfigurado los parámetros de producción desde que López-Galindo et al. (2023) documentaran sus efectos sobre la maduración ovárica, pues la aceleración significativa de dicho proceso, combinada con la reducción del intervalo entre desoves, generaría una optimización sustancial en la disponibilidad de huevos y nauplios que, aunque inicialmente concebida como una intervención biológica puntual, terminaría por constituirse en un pilar técnico cuya adopción masiva reflejaría tanto la urgencia de los sistemas de producción larval

por garantizar continuidad en el suministro de estadios tempranos como la imposibilidad de que métodos alternativos, desarrollados en años posteriores, logran desplazar una práctica que, por su eficacia comprobada, seguiría predominando en los protocolos industriales del cultivo de camarón.

La estandarización industrial de la ablación unilateral como práctica preferente, aunque limita el potencial inductor del procedimiento, responde a una imperiosa necesidad de preservación de la homeostasis orgánica que la alternativa bilateral resulta incapaz de garantizar, pues esta última, si bien habría podido potenciar los efectos deseados, genera simultáneamente una alteración crítica de los parámetros de estrés metabólico y un incremento sustancial en las tasas de mortalidad que la industria acuícola no ha podido asumir (Le et al., 2025).

Circunstancia que no obviará la diversidad técnica que el procedimiento unilateral mismo mantiene vigente, ya que entre las modalidades de ablación del pedúnculo ocular que continúan en uso, y que Vargas-Téllez et al. (2021) ya documentaron, perviven el corte, la cauterización, la ligadura y la compresión como vías alternativas cuya selección dependerá de variables operativas específicas que cada sistema productivo deberá ponderar.

La aparente paradoja entre la maximización productiva y el deterioro fisiológico de los reproductores emerge como un dilema ineludible en la evaluación integral de la ablación femenina, puesto que, si bien Vargas-Téllez et al. (2021) documentaron incrementos significativos en la producción de huevos y en la frecuencia reproductiva que habrían de consolidar esta práctica como estrategia viable para la acuicultura intensiva, tales beneficios quedarían progresivamente erosionados por los efectos negativos.

López-Galindo et al. (2023) y Nur et al. (2021) identificaron en términos de estrés fisiológico, alteraciones inmunológicas y reducción de la supervivencia, de modo que la

decisión de implementar la ablación no podría sustentarse únicamente en parámetros de rendimiento inmediato, sino que exigiría ponderar, en un horizonte temporal extendido, si las ganancias cuantitativas superarían o no el costo biológico que las hembras ablacionadas eventualmente pagarían con su propia viabilidad.

Una inminente reconfiguración de los protocolos de manejo en acuicultura se vislumbra en tanto que la estabilidad fisiológica y la viabilidad a largo plazo de los reproductores resultan incompatibles con la persistencia de prácticas que generan estrés crónico y vulnerabilidad inmunológica, circunstancia que López-Galindo et al. (2023) y Nur et al. (2021) documentaron al constatar cómo la respuesta frente a agentes patógenos y la supervivencia misma de los ejemplares quedaban comprometidas cuando el estrés derivado de intervenciones invasivas alteraba su homeostasis, de modo que la ablación del pedúnculo ocular, lejos de mantenerse como procedimiento aceptable, deberá ser replanteada en la medida en que el dolor, el estrés fisiológico y las alteraciones inmunológicas que induce (Nur et al., 2021) han erosionado su legitimidad desde perspectivas éticas y de bienestar animal que, aunque relativamente recientes en su articulación científica, condicionarán inevitablemente los estándares regulatorios del sector.

La magnitud de las alteraciones en procesos metabólicos, eficiencia en la conversión alimenticia y comportamiento general del organismo dependerá estrechamente de la especie y del estado fisiológico del ejemplar, como lo documentaron Vargas-Téllez et al. (2021), quienes encontraron que el impacto de esta intervención trasciende la esfera hormonal en otros crustáceos, de modo que aunque los efectos endocrinos constituirían el punto de partida de la perturbación, las ramificaciones fisiológicas y conductuales se extenderían de manera diferencial según el contexto biológico particular, en tanto que la variabilidad interespecífica y las condiciones individuales del ejemplar modulan la expresión final de estos cambios,

configurando un escenario en el que la respuesta al tratamiento no podría predecirse únicamente desde sus efectos sobre el sistema hormonal.

6.5.7 Implicaciones bioéticas y bienestar animal

El cuestionamiento contemporáneo de la ablación del pedúnculo ocular trasciende su carácter invasivo, pues las respuestas conductuales de estrés que esta práctica desencadena, las discusiones en foros científicos recientes, incluyen el nado errático y el frotamiento persistente de la herida, conductas que, según lo documentado por Crump et al. (2022), apuntan hacia una posible percepción de dolor en el organismo. La transformación de dichas observaciones en datos objetivos había exigido, en contextos donde la subjetividad prevalecía, la implementación del Índice de Bienestar Animal, una herramienta que Pedrazzani et al. (2024) describen como capaz de permitir una evaluación sistemática de la calidad de vida del crustáceo.

Una integración de indicadores fisiológicos, entre los cuales se encuentran biomarcadores de estrés metabólico, y estándares de cría que posibilitan la evaluación de la nocicepción y del estado general del animal, fue lo que Valente (2022) propuso como eje central de este enfoque, la necesidad de protocolos más rigurosos en la industria. La revisión crítica de las prácticas de manejo en la camaronicultura industrial, una preocupación que había crecido de manera sostenida en los últimos años, fue motivada, ante la plausibilidad de que los crustáceos decápodos sean sujetos de protección normativa en un futuro cercano, por Albalat et al. (2022).

La base del GWI para *P. vannamei*, según lo establecido por Pedrazzani et al. (2024), reposa en 31 indicadores específicos que se distribuyen en dimensiones de nutrición, salud, ambiente y comportamiento. Una escala de puntuación técnica, la complejidad de su aplicación en campo es utilizada por este protocolo para categorizar la experiencia del animal:

Puntuación 1: La puntuación 1, tal como la interpretan Pedrazzani et al. (2023), indica un estado de bienestar positivo.

Puntuación 2: Un nivel de alerta preventiva es representado por la puntuación 2, la cual, aunque el bienestar no esté severamente comprometido, sugiere que existen deficiencias moderadas que requieren ajustes para evitar que la situación derive en un estado negativo, según Pedrazzani et al. (2023, 2024).

Puntuación 3: El estado "muy negativo" en el continuo del bienestar es representado por la puntuación 3, de acuerdo con Pedrazzani et al. (2023).

La evaluación de la ablación, considerada un "riesgo severo para el bienestar" por Crump et al. (2022), mediante el GWI facilita la identificación de puntos críticos en el ciclo reproductivo, la presión sobre los productores para adoptar estándares más exigentes. El alineamiento de los productores con las crecientes exigencias de las legislaciones internacionales, las cuales están comenzando a reconocer formalmente la senciencia de los decápodos, es permitido por la aplicación de este índice, según Pedrazzani et al. (2024) y Powell et al. (2024).

6.5.7.1 Beneficios del bienestar animal

El respaldo a la transición hacia métodos no invasivos, más allá del componente ético, es proporcionado por el uso de marcos de bienestar como el GWI. Una mayor resistencia al estrés en la descendencia, producida por individuos no ablacionados que no fueron sometidos al trauma del procedimiento, había sido observada, el interés por protocolos alternativos en la industria, lo cual mejora la sostenibilidad y eficiencia del sistema de cultivo, según Crump et al. (2022).

6.6 Efectos fisiológicos de la ablación del pedúnculo ocular

Las múltiples alteraciones fisiológicas que la ablación del pedúnculo ocular produce en los camarones peneidos, las investigaciones en neuroendocrinología aplicada derivan de la interrupción de importantes mecanismos regulados por el complejo órgano X–glándula del seno. Efectos negativos sobre el metabolismo, el sistema inmune, la supervivencia y la condición fisiológica general de los organismos, aunque la técnica incrementa la velocidad de maduración gonadal y la frecuencia de desoves, pueden ser generados también por esta práctica, según López-Galindo et al. (2023).

Los efectos de la ablación unilateral y bilateral en *Penaeus vannamei*, evaluados por diversas investigaciones que documentaron alteraciones significativas en variables metabólicas e inmunológicas, fueron reportados por Sainz-Hernández et al. (2008), las comparaciones entre tipos de ablación en estudios posteriores. Incrementos en la mortalidad y en los niveles de estrés fisiológico en los organismos ablacionados, al compararlos con aquellos no sometidos al procedimiento, son reportados por los estudios, según Nur et al. (2021). Efectos considerablemente más severos sobre la estabilidad fisiológica de los reproductores, en comparación con la ablación unilateral, son inducidos por la ablación bilateral, como lo han señalado Sainz-Hernández et al. (2008).

La regulación de procesos relacionados con el metabolismo energético, el balance osmótico, la muda y la respuesta inmunológica es un proceso en el cual participa el pedúnculo ocular, las consecuencias observadas tras su eliminación. Desequilibrios hormonales que afectan la capacidad del organismo para responder frente a condiciones ambientales adversas o agentes patógenos pueden ser provocados, debido a ello, por la eliminación parcial de esta estructura, según López-Galindo et al. (2023).

La capacidad inmunológica de los camarones reproductores, que diversos autores han señalado como potencialmente comprometida por el estrés fisiológico derivado de la ablación, podría verse afectada, las preocupaciones sanitarias en los sistemas de cultivo, incrementando la susceptibilidad frente a enfermedades virales y bacterianas, según Nur et al. (2021).

Una repercusión indirecta sobre la calidad de la progenie producida podría ser ocasionada por estas alteraciones fisiológicas, los análisis sobre la transmisión de condiciones maternas. La composición bioquímica de los huevos y el desempeño larval durante las primeras etapas de desarrollo pueden ser afectados por la disminución en la condición fisiológica de las hembras reproductoras, según Hoang & Nguyen (2025) y Rodrigues et al. (2021).

La tolerancia de *Penaeus vannamei* frente al estrés térmico y oxidativo, también demostrada como disminuida por la ablación en estudios recientes, fue documentada por López-Galindo et al. (2023), la búsqueda de alternativas al procedimiento. Cambios en biomarcadores moleculares relacionados con protección celular y estrés oxidativo en organismos ablacionados, observados por López-Galindo et al. (2023), evidencian que esta práctica genera costos fisiológicos importantes para los reproductores.

El incremento de la productividad reproductiva en sistemas de cultivo intensivo, aunque permitido por la ablación del pedúnculo ocular, coexiste con la posibilidad de que distintos procesos fisiológicos relacionados con supervivencia, inmunidad y calidad larval sean comprometidos, los debates sobre su pertinencia en la acuicultura moderna.

6.7 Fertilidad y producción de nauplios viables

Uno de los indicadores críticos del desempeño reproductivo en camarones peneidos es la fertilidad, la cual refleja la capacidad funcional de las hembras para generar desoves viables y descendencia de calidad, la necesidad de protocolos de evaluación más integrales. La variabilidad de este parámetro, que no es independiente, depende intrínsecamente de factores

como la nutrición, el estado fisiológico y el manejo de los reproductores, los cuales modulan la inversión energética destinada a la vitelogénesis.

Según Huang et al. (2026), Li et al. (2025) y Liang et al. (2022). La integración de la fertilidad con el monitoreo de la viabilidad y calidad de los nauplios, requerida en los sistemas de maduración para una evaluación robusta del desempeño reproductivo, ofrece una perspectiva más precisa sobre la eficiencia del laboratorio y la calidad fisiológica del stock, ya que estos indicadores conjuntos, según Suwoyo et al. (2023), permiten diagnosticar el estado real del stock.

El incremento de la frecuencia de maduración ovárica, que suele ser ocasionado por la ablación del pedúnculo ocular debido a la disminución de la actividad inhibitoria ejercida por la hormona GIH, trae como consecuencia que las hembras ablacionadas tiendan a presentar una mayor cantidad de desoves y menor tiempo entre eventos reproductivos (Vargas-Téllez et al., 2021).

Estados avanzados de maduración ovárica en menor tiempo, alcanzados por hembras de *Penaeus vannamei* sometidas a ablación unilateral en comparación con organismos no ablacionados, fueron documentados por Sa'diyah et al. (2024) y Sultana et al. (2023), el interés por optimizar los protocolos de inducción. El incremento de la eficiencia reproductiva dentro de los laboratorios de maduración es sugerido por estos resultados como una consecuencia plausible de la ablación.

Una mejor calidad larval no es necesariamente garantizada por una mayor producción de huevos, las investigaciones sobre los determinantes de la viabilidad en las primeras etapas. La condición fisiológica de las hembras reproductoras y la composición bioquímica transferida hacia los huevos durante la vitelogénesis son factores de los cuales la calidad de los nauplios depende directamente, según Huang et al. (2026), Li et al. (2025) y Liang et al. (2022).

El estado fisiológico de los reproductores está estrechamente relacionado con la composición bioquímica de huevos y nauplios en *Penaeus vannamei*, las evaluaciones sobre la calidad del material genético transferido. La resistencia y viabilidad de las larvas producidas podrían ser afectadas negativamente por alteraciones metabólicas o situaciones de estrés, según Anaguano-Quijia & Falquez (2025).

Uno de los indicadores clave para determinar la calidad de producción en laboratorios de larvicultura es constituido por la evaluación de nauplios basada en su morfología y actividad natatoria. La estimación de nauplios, realizada generalmente mediante muestreos volumétricos y observación microscópica, diferencia organismos activos y morfológicamente normales de aquellos que presentan debilidad o deformaciones, según Montesdeoca et al. (2023), la estandarización de los protocolos de conteo. El éxito reproductivo y la calidad fisiológica de los reproductores utilizados son evaluados indirectamente por esta variable, según Suwoyo et al. (2023).

Los parámetros metabólicos de los reproductores, sobre los cuales el estrés fisiológico ocasionado por la ablación podría influir según lo sugieren algunos autores, pueden afectar indirectamente la calidad de los nauplios, las revisiones sobre los efectos subletales del procedimiento, según Vargas-Téllez et al. (2021).

6.8 Mortalidad y deformidades larvales

Uno de los principales problemas dentro de los sistemas de producción de camarón marino es representado por la mortalidad larval, la cual afecta directamente la eficiencia de los laboratorios de larvicultura y la disponibilidad de postlarvas para engorde comercial, según Callac et al. (2025) y Villarreal (2023), la búsqueda de estrategias de mitigación. Pérdidas económicas significativas y una disminución de la estabilidad productiva de la industria

acuícola son generadas por elevadas tasas de mortalidad, según Callac et al. (2025), Nisar et al. (2021) y Villarreal (2023).

La calidad de los nauplios, las condiciones fisicoquímicas del agua, el manejo sanitario, la nutrición y la estabilidad ambiental del cultivo son múltiples factores de los cuales depende la supervivencia larval, según Anaguano-Quijia & Falquez (2025), Callac et al. (2022) y Huacón et al. (2025), la complejidad de los modelos predictivos. Una influencia importante sobre el desempeño de las larvas durante sus primeras etapas de desarrollo es ejercida también por la condición fisiológica de los reproductores, según Baudet et al. (2024), Huang et al. (2026), Li et al. (2025) y Liang et al. (2022).

Una repercusión indirecta sobre la calidad de la progenie producida podría ser ocasionada por las alteraciones fisiológicas derivadas de la ablación, según López-Galindo et al. (2023), las investigaciones sobre herencia de estrés. Efectos negativos sobre la resistencia y estabilidad larval son considerados probables por algunos autores, debido a que esta técnica genera estrés metabólico e inmunológico en las hembras reproductoras, según Vargas-Téllez et al. (2021).

El uso de las deformidades larvales como indicadores de estrés fisiológico o deficiencias nutricionales durante el proceso reproductivo y larval es posible, su inclusión en protocolos de monitoreo temprano. La movilidad y capacidad de supervivencia de los organismos son afectadas por estas deformidades, las cuales pueden presentarse en estructuras como abdomen, apéndices natatorios o cefalotórax, según Salcedo et al. (2025).

La calidad del vitelo y el desarrollo embrionario, que diversos estudios han señalado como susceptibles de ser afectados por condiciones fisiológicas deficientes en los reproductores, pueden verse alterados, la probabilidad de anomalías morfológicas en estadios tempranos, según Lorenzo-Felipe et al. (2021).

Enfermedades como necrosis hepatopancreática aguda y síndrome de la mancha blanca, mencionadas en la literatura como factores que afectan significativamente el cultivo de camarón, fueron reportadas por Lozano-Olvera et al. (2024). Una herramienta importante para analizar el impacto fisiológico de la ablación sobre el rendimiento productivo de *Penaeus vannamei* es constituida por la evaluación de mortalidad y deformidades larvales, su adopción en estudios comparativos recientes.

6.9 Uniformidad del periodo de muda

El crecimiento y la transición entre estadíos larvales, permitidos por la renovación periódica del exoesqueleto, hacen de la muda un proceso fisiológico fundamental en los crustáceos, según Campli et al. (2024), la atención sobre sus irregularidades en cultivo. La adecuada sincronización de la muda es un factor del cual depende cada transición entre subestadíos durante el desarrollo larval de *Penaeus vannamei*.

Un indicador importante de calidad y estabilidad del cultivo en sistemas de larvicultura es constituido por la uniformidad del periodo de muda, según Timofiecsyk et al. (2024), la estandarización de los criterios de evaluación. La homogeneidad fisiológica entre las larvas y condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo son reflejadas por una elevada sincronización.

El estrés fisiológico o deficiencias nutricionales pueden ser indicados por diferencias marcadas en el tiempo de muda, según Calado et al. (2022), la implementación de dietas específicas en los protocolos de cultivo. Poblaciones heterogéneas que dificultan el manejo productivo dentro de los laboratorios son generadas por estas variaciones.

La calidad de los nauplios y las condiciones de cultivo son factores de los cuales depende la uniformidad del desarrollo larval, y las alteraciones fisiológicas en las hembras

reproductoras pueden afectar la sincronización del desarrollo de las larvas, según Timofiecsyk et al. (2024), las investigaciones sobre el origen materno de las asincronías.

La calidad fisiológica de los nauplios y, en consecuencia, la uniformidad del desarrollo larval temprano podría ser influenciadas por esta práctica, según lo sugieren algunos autores, debido a que la ablación del pedúnculo ocular modifica importantes procesos endocrinos y metabólicos relacionados con la reproducción, las comparaciones entre grupos ablacionados y controles, según Hoang & Nguyen (2025).

6.10 Parámetros fisicoquímicos del agua en el cultivo de *Penaeus vannamei*

Uno de los factores más importantes dentro de los sistemas de cultivo de camarón marino es constituido por la calidad del agua, la cual influye directamente sobre el metabolismo, crecimiento, supervivencia y reproducción de los organismos, la inversión en sistemas de filtración y control. El estrés fisiológico, el sistema inmunológico afectado y la eficiencia productiva disminuida de los laboratorios de maduración y larvicultura pueden ser generados por variaciones inadecuadas en parámetros fisicoquímicos, según Cavalheiro et al. (2022).

Rangos adecuados para garantizar un correcto desarrollo fisiológico y reproductivo deben mantenerse en parámetros como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y alcalinidad en el cultivo de *Penaeus vannamei*, según Prayitno et al. (2022) y Rodríguez et al. (2022).

6.10.1 Temperatura

Gran parte de los procesos metabólicos en crustáceos peneidos, incluyendo crecimiento, consumo de oxígeno, digestión, actividad enzimática y reproducción, es regulada por la temperatura, la instalación de sistemas de control térmico en los laboratorios. Un rango

óptimo de desarrollo aproximadamente entre 28 y 32 °C, aunque *Penaeus vannamei* posea una amplia tolerancia térmica, es el que se sitúa para esta especie, según Aparna et al. (2023).

El metabolismo y procesos fisiológicos como la muda y la maduración gonadal pueden ser disminuidos y retrasados por temperaturas inferiores, según Ren et al. (2021) y Zhu et al. (2024), la necesidad de calefacción en estaciones frías. El consumo energético y el estrés fisiológico, incrementados por temperaturas excesivamente elevadas, afectan negativamente la supervivencia de larvas y reproductores, según Kasamechotchung et al. (2021) y Meidiana et al. (2023).

Una temperatura estable, cuyo mantenimiento resulta esencial para favorecer el desarrollo embrionario y la sincronización de los estadios larvales en sistemas de maduración y larvicultura, fue destacada por Dinata et al. (2022) y Eissa et al. (2022).

6.10.2 Salinidad

Uno de los factores ambientales más relevantes para el cultivo de *Penaeus vannamei* es representado por la salinidad, la cual influye sobre el balance osmótico y el metabolismo de los organismos, la diversificación de las estrategias de manejo. Amplios rangos de salinidad pueden ser tolerados por esta especie gracias a su carácter eurihalino, aunque los niveles frecuentemente empleados en cultivo marino varíen dependiendo de la estrategia de manejo, según Lestari et al. (2023).

El estrés osmótico y procesos fisiológicos relacionados con crecimiento, muda y supervivencia larval pueden ser generados y afectados por cambios bruscos de salinidad, según Bermudes-Lizárraga et al. (2017), la implementación de protocolos de aclimatación. La capacidad inmunológica puede ser disminuida y la susceptibilidad frente a enfermedades aumentada por salinidades inadecuadas, según Arbon et al. (2023).

El correcto desarrollo embrionario y la viabilidad mejorada de nauplios y larvas son favorecidas por el mantenimiento de condiciones estables de salinidad en laboratorios de larvicultura, según Jaramillo et al. (2025).

6.10.3 Oxígeno disuelto

La respiración celular y el metabolismo energético de los camarones son procesos para los cuales el oxígeno disuelto resulta indispensable, la inversión en sistemas de aireación. El crecimiento, consumo alimenticio, reproducción y supervivencia de los organismos son afectados directamente por concentraciones bajas de oxígeno, según Suneetha (2024).

Condiciones adecuadas en sistemas de cultivo de camarón son mantenidas con niveles de oxígeno disuelto superiores a 4 mg/L, según Patkaew et al. (2024), el monitoreo continuo en las instalaciones. Hipoxia, estrés fisiológico y aumento de mortalidad pueden ser generados por valores inferiores. El requerimiento de oxígeno, particularmente importante durante las primeras etapas larvales debido a la elevada actividad metabólica y sensibilidad de las larvas frente a cambios ambientales, hace que los sistemas de aireación constituyan herramientas fundamentales dentro de laboratorios de producción larval, según Patkaew et al. (2024).

6.10.4 pH

La alteración de la actividad enzimática, el equilibrio osmótico y la disponibilidad de compuestos nitrogenados tóxicos como el amoníaco, las complicaciones en los sistemas de producción, puede ser provocada por valores extremos de pH que influyen sobre numerosos procesos fisiológicos y químicos dentro del agua de cultivo, según Shi et al. (2023).

Un efecto negativo sobre el metabolismo y la generación de estrés en reproductores y larvas puede ser ocasionado por variaciones que se sitúan fuera del intervalo entre 7,3 y 8,5, rango óptimo de pH que generalmente se encuentra para *Penaeus vannamei*, según Katturi et al. (2023).

La calidad del agua utilizada en maduración y larvicultura, junto con la estabilidad microbiológica del sistema, puede verse comprometida y alterada por fluctuaciones importantes de pH, la necesidad de controles más estrictos en los protocolos de manejo, según Jauncey (1993).

6.10.5 Alcalinidad

La estabilidad química del sistema de cultivo, un objetivo que resulta fundamental en cualquier protocolo de producción, es contribuida a mantener por un parámetro que corresponde a la capacidad amortiguadora del agua frente a cambios de pH, la atención sobre la alcalinidad en diseños experimentales recientes, según Ariadi et al. (2023).

La inestabilidad del pH y la afectación de procesos fisiológicos relacionados con la muda y la formación del exoesqueleto pueden ser generados por valores inferiores a los niveles de alcalinidad que generalmente se recomiendan entre 90 y 150 mg/l para el cultivo de *Penaeus vannamei*, según Suwoyo et al. (2023).

La reducción del estrés fisiológico y el mantenimiento de la estabilidad química del entorno de cultivo, objetivos que una alcalinidad adecuada logra al actuar como sistema amortiguador fundamental que minimiza las fluctuaciones del pH, son cruciales, según Ariadi et al. (2023). La disponibilidad de calcio necesaria para la osmorregulación celular en los organismos, garantizada cuando estos niveles se mantienen dentro de los rangos óptimos recomendados de 90 a 150 mg/L, resulta esencial, según Suwoyo et al. (2023).

6.11 Regulaciones internacionales sobre la ablación

La integración del bienestar animal en los criterios de organizaciones y certificaciones internacionales relacionadas con producción acuícola sostenible, como el Aquaculture Stewardship Council (ASC) y GlobalG.A.P., ha comenzado a materializarse, incentivando

prácticas de cultivo más sostenibles y compatibles con criterios modernos de bienestar animal, según Wuertz et al. (2023).

Un desafío importante para la industria camaronera nacional representa estas regulaciones, debido a que Ecuador constituye uno de los principales exportadores mundiales de camarón hacia mercados europeos, según Gonzabay-Crespin et al. (2021) y Martínez-Cordova & Maza (2022), mercados donde la Unión Europea ha fortalecido progresivamente sus exigencias relacionadas con sostenibilidad y trazabilidad dentro de productos acuícolas importados, según García et al. (2021) y Hopkins et al. (2023).

La viabilidad económica y la competitividad a largo plazo de la industria camaronera ecuatoriana, garantizadas mediante el alineamiento con estándares internacionales de sostenibilidad, dependen de generar evidencia científica sobre métodos de manejo más éticos, una ventaja competitiva indispensable que adquiere un carácter crítico la investigación enfocada en comparar el desempeño productivo entre organismos ablacionados y no ablacionados, la inversión en estudios comparativos, dado que Ecuador es uno de los principales exportadores de camarón hacia mercados europeos.

Según Gonzabay-Crespin et al. (2021), donde las exigencias de sostenibilidad y trazabilidad son estrictas, según García et al. (2021), mercados ante los cuales certificaciones internacionales están integrando criterios más estrictos para las prácticas de acuicultura, según Wuertz et al. (2023) y Roan et al. (2021), en consonancia con la creciente tendencia internacional hacia sistemas de acuicultura sostenible y la creciente importancia del bienestar animal como componente esencial de la sostenibilidad.

7. METODOLOGÍA

7.1 Tipo de estudio.

La obtención de indicadores reproductivos y larvales diferenciados entre grupos experimentales constituyó el núcleo de una investigación que, si bien se propuso observar de manera comparativa los efectos de la ablación en cultivos intensivos de *Penaeus vannamei*, demandaría la recopilación sistemática de variables que abarcaban desde la mortalidad y el porcentaje de cópulas hasta la fertilidad y la cantidad de nauplios viables producidos por hembras confinadas en laboratorios de maduración.

Mientras que estos parámetros revelarían el rendimiento reproductivo bajo condiciones controladas, otros indicadores como los porcentajes de mortalidad, deformidades y uniformidad de muda en larvas serían igualmente monitoreados a lo largo de la transición ontogenética que va desde los estadios de Nauplio V hasta Zoea III, configurando así un diseño experimental que, aunque centrado en la ablación como variable independiente, buscaría establecer correlaciones que permitieran ponderar tanto los beneficios inmediatos como los costos latentes de esta práctica en el contexto de la acuicultura intensiva del camarón blanco del Pacífico.

7.2 Área de estudio.

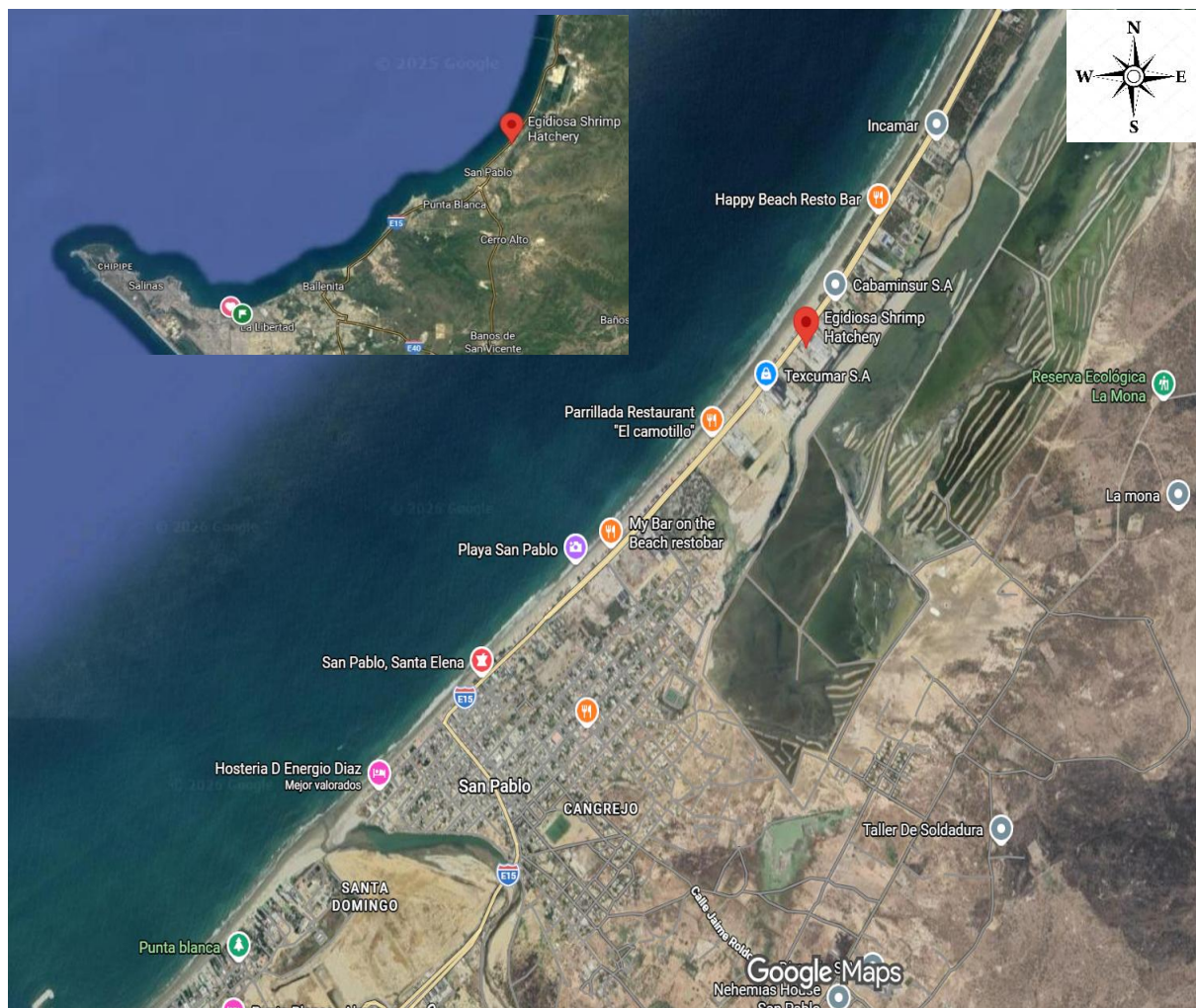
La ubicación geográfica del estudio se centró en el laboratorio de producción de larvas de camarón y maduración EGIDIOSA, cuyas coordenadas exactas de -2.126389 de latitud y -80.760833 de longitud habrían de condicionar los parámetros ambientales que posteriormente influirían en los resultados experimentales, se encuentra en la comuna San Pablo del cantón Santa Elena, provincia que constituye uno de los epicentros acuícolas del litoral ecuatoriano, de modo que la elección de este emplazamiento no respondió a una casualidad espacial sino a una deliberada inserción en un corredor productivo consolidado, aunque la investigación

propiamente dicha se llevó a cabo en instalaciones que, si bien compartían esta matriz geográfica privilegiada, requerirían de un análisis particular de sus condiciones endógenas para comprender cabalmente el alcance de los hallazgos obtenidos.

7.3 Ubicación geográfica.

Figura 4

Ubicación geográfica de Egidiosa, laboratorio camaronero donde se realizó la investigación.

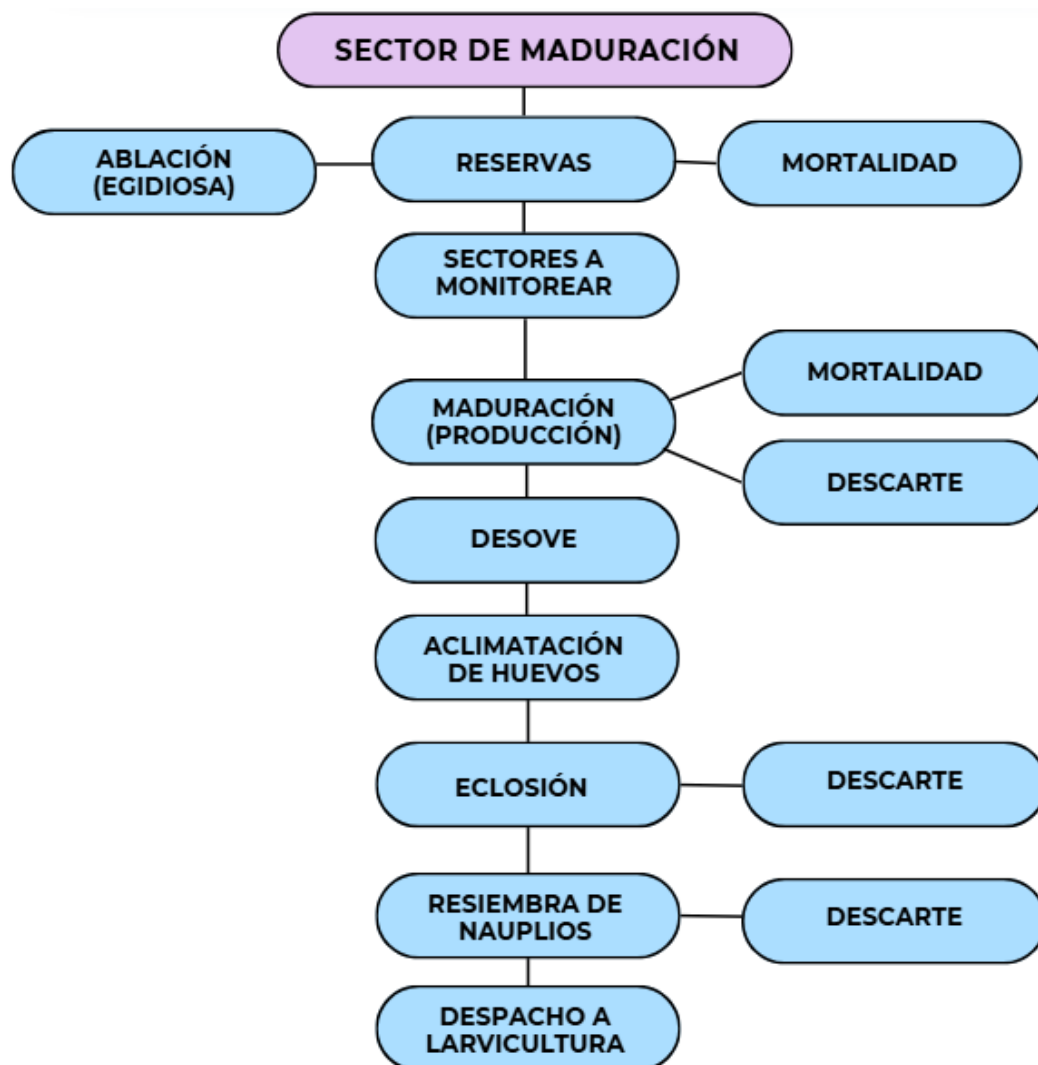


Nota. Esta figura representa la ubicación de la empresa donde se realizó el experimento (Google Maps, 2025).

7.4 Diseño experimental.

Figura 5

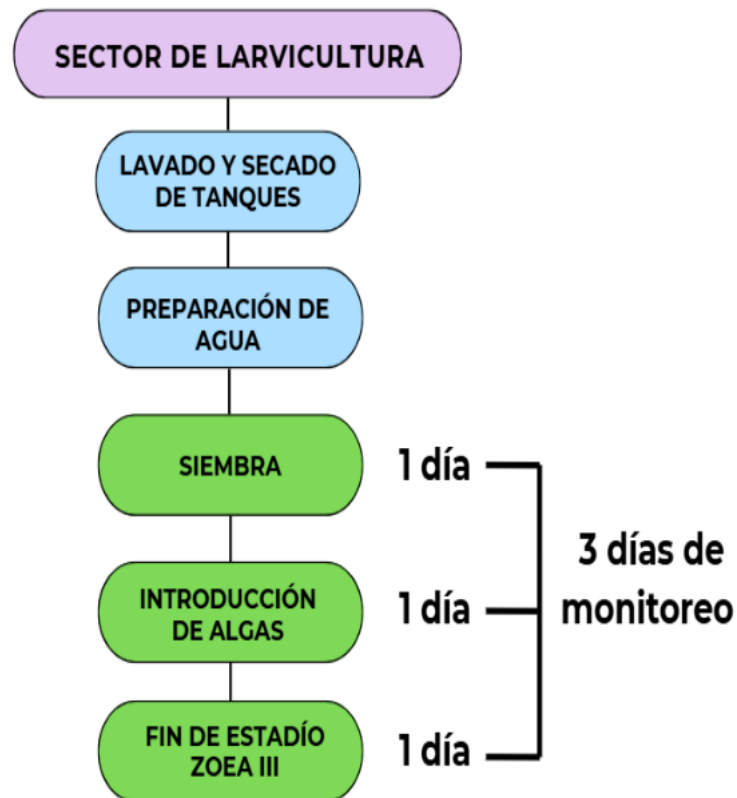
Diagrama de flujo del sector de maduración.



Nota. Esquema del proceso de maduración y eclosión en sistemas con y sin ablación, indicando descartes y etapas productivas.

Figura 6

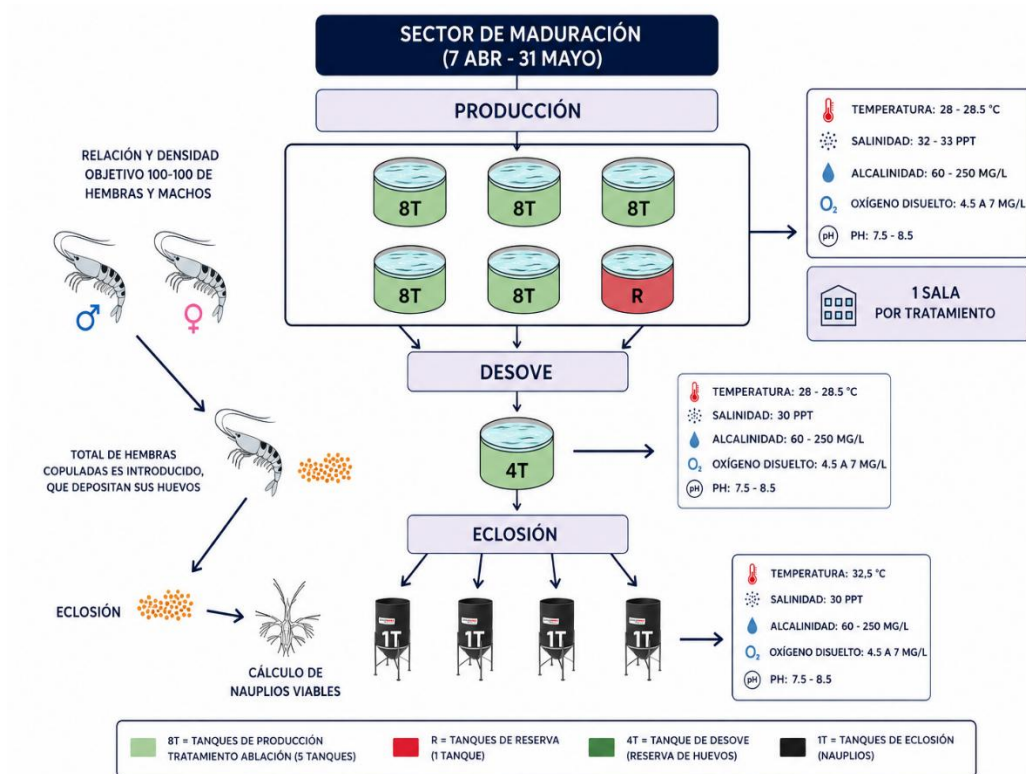
Diagrama de flujo del sector a monitorear en larvicultura.



Nota. El seguimiento de la larvicultura se realiza tres días por monitoreo, evaluando los estadíos de N5 a Zoea III para registrar mortalidad, deformidades y uniformidad del periodo de muda en larvas de hembras ablacionadas y no ablacionadas.

Figura 7

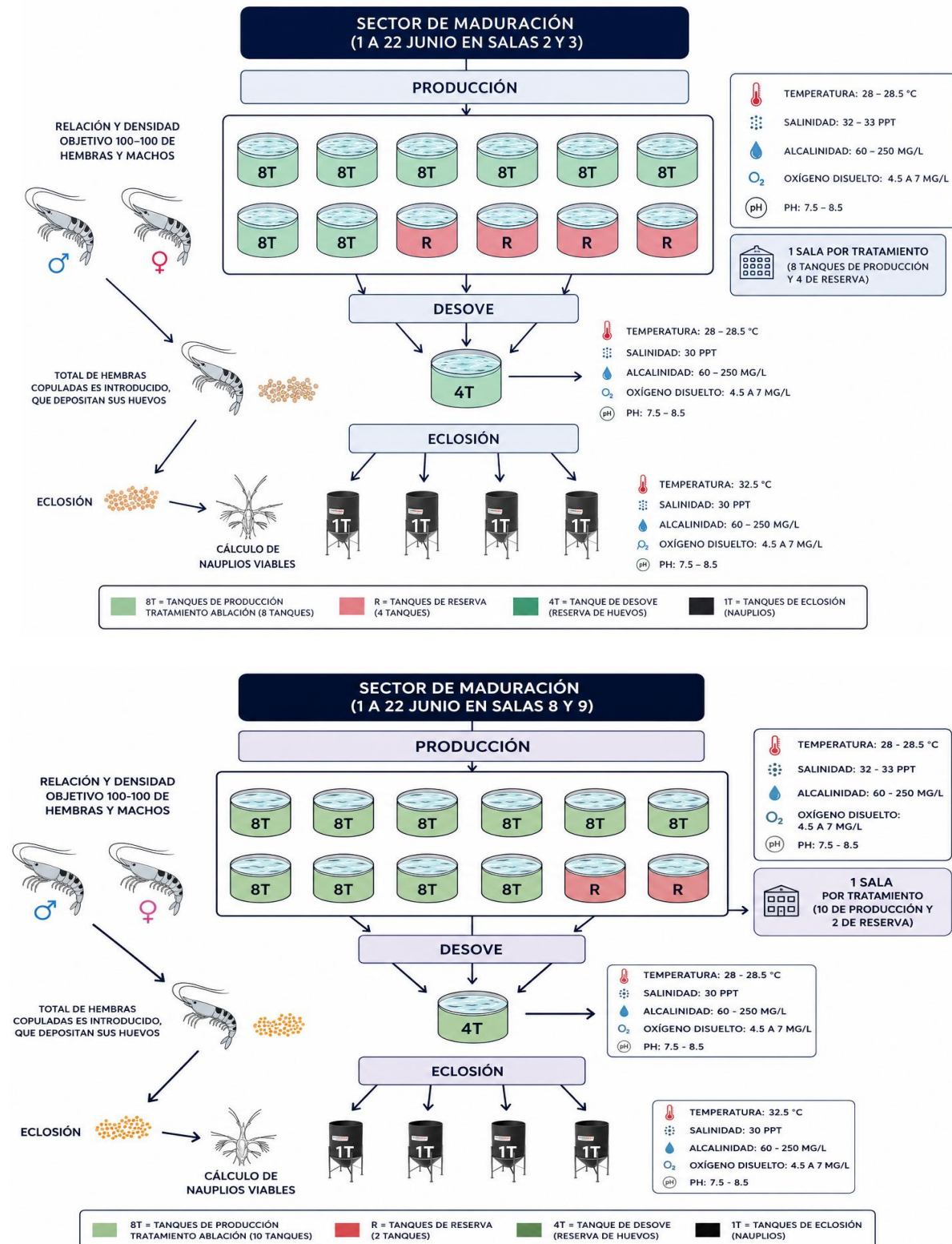
Esquema del diseño experimental usado en cada tratamiento en el sector de maduración en los meses de abril y mayo.



Nota. Esquema general de maduración aplicado en los meses de abril y mayo, ilustrando las etapas monitoreadas en cada uno de los tratamientos.

Figura 8

Esquemas del diseño experimental usado en cada tratamiento en el sector de maduración en el mes de junio.



Nota. Esquemas generales de maduración aplicado en el mes de junio, ilustrando las etapas monitoreadas en cada uno de los tratamientos.

Figura 9

Esquema del diseño experimental usado en el sector de larvicultura.



Nota. Esquema general de larvicultura, ilustrando las etapas monitoreadas. Usándose un tanque de hasta 30 toneladas por tratamiento, alcanzando aproximadamente 16 millones de nauplios sembrados.

7.5 Monitoreo y mantenimiento.

El monitoreo del área de maduración fue realizado diariamente durante todo el periodo experimental, comprendiendo las etapas de producción, desove y eclosión. En el área de producción se efectuó el registro continuo de la mortalidad de reproductores, el reemplazo de ejemplares, el número de hembras copuladas por tanque y los parámetros físicos y químicos del agua. Las mediciones de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto fueron realizadas dos veces al día, a las 07:00 y 19:00 h, mediante un equipo multiparamétrico YSI Pro2030, mientras que el pH fue determinado en los mismos horarios utilizando un medidor

digital portátil genérico. Los parámetros ambientales fueron mantenidos dentro de rangos operativos estandarizados de 28,0–28,5 °C, 32–33 ppt, pH entre 7,5 y 8,5, alcalinidad entre 60 y 250 mg/L y concentración de oxígeno disuelto entre 4,5 y 7,0 mg/L, respectivamente, la estabilidad de las condiciones ambientales requeridas para el adecuado desempeño reproductivo de los organismos.

La población reproductora fue manejada bajo una densidad objetivo aproximada de 100 hembras y 100 machos por tanque de producción de 8 toneladas, manteniendo una proporción cercana a 1:1 entre ambos sexos. Durante el periodo comprendido entre el 7 de abril y el 31 de mayo, cada tratamiento estuvo conformado por cinco tanques activos de producción y un tanque de reserva de igual capacidad, destinado exclusivamente al reemplazo de reproductores descartados por mortalidad o bajo rendimiento reproductivo, sin formar parte de las unidades experimentales consideradas para el análisis de resultados. La incorporación de nuevos ejemplares fue registrada inmediatamente después de cada reemplazo, permitiendo mantener la trazabilidad de la población reproductora y la actualización permanente de las fichas de control utilizadas por el personal operativo antes de cada turno.

Las hembras copuladas provenientes de todos los tanques de producción pertenecientes a un mismo tratamiento fueron concentradas diariamente en un único tanque de desove de 4 toneladas, donde permanecieron hasta completar la oviposición. Posteriormente, la totalidad de los huevos producidos fue recolectada, sometida a los procedimientos rutinarios de desinfección y manejo establecidos por el laboratorio y distribuida hacia cuatro tanques cónicos de eclosión de 1 tonelada de capacidad cada uno, volumen mantenido constante durante todo el periodo experimental con el propósito de estandarizar las condiciones de incubación entre

tratamientos y minimizar la influencia de factores operativos sobre el desempeño de los embriones.

Las variables correspondientes a mortalidad de reproductores, fecundidad y producción de nauplios viables fueron registradas diariamente durante las etapas de desove y eclosión, debido a que estos indicadores constituyen la base para evaluar el desempeño reproductivo de cada tratamiento y planificar la programación de las siembras posteriores. De igual manera, la totalidad de la información generada fue incorporada a los registros operativos del laboratorio inmediatamente después de cada evento productivo, garantizando la trazabilidad de los reproductores, la continuidad del seguimiento de cada lote y la disponibilidad de información actualizada para la toma de decisiones durante todo el desarrollo del ensayo. El monitoreo de larvicultura fue realizado mediante tres evaluaciones bidirarias consecutivas por unidad experimental, comprendiendo el periodo de desarrollo desde el estadio de Náuplio V hasta Zoea III. Previo a cada sesión de monitoreo, efectuada a las 08:00 y 20:00 h, fueron registradas las variables físicas y químicas del agua con el propósito de caracterizar las condiciones ambientales presentes durante la evaluación biológica. La temperatura, la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto fueron mantenidas dentro de rangos estandarizados de aproximadamente 33 °C, 33 ppt y entre 5,5 y 6,5 mg·L⁻¹, respectivamente, condiciones bajo las cuales se desarrollaron todas las unidades experimentales, la reducción de variaciones ambientales ajenas a los tratamientos evaluados.

La mortalidad larval, la uniformidad del periodo de muda y el porcentaje de larvas deformes constituyeron las principales variables de seguimiento durante el cultivo larval, debido a que permiten evaluar de manera conjunta el desempeño biológico, la condición fisiológica y el estado sanitario de cada unidad experimental. La uniformidad del desarrollo y la presencia de deformidades fueron determinadas en ambas sesiones diarias de monitoreo,

mientras que la mortalidad fue registrada mediante la comparación de los conteos efectuados con la cantidad de ejemplares sembrados para la estimación de supervivencia acumulada durante el periodo experimental.

Paralelamente, conteos protocolarios de fitoplancton fueron realizados antes de cada evaluación biológica para determinar la densidad de *Thalassiosira weissflogii*, manteniendo concentraciones comprendidas entre 25 000 y 30 000 células·mL⁻¹, intervalo considerado adecuado para garantizar la disponibilidad de alimento durante las primeras etapas del desarrollo larval y favorecer la estabilidad nutricional del cultivo. La siembra fue establecida con una densidad aproximada de 850 000 náuplios por tonelada de agua (850 náuplios·L⁻¹), utilizando inicialmente un volumen de 19 toneladas por tanque, el cual fue incrementado progresivamente hasta alcanzar 30 toneladas al llegar al estadio de Zoea III. Tanto la densidad de fitoplancton como los parámetros físicos y químicos del agua fueron mantenidos bajo condiciones estandarizadas entre tratamientos, con el propósito de minimizar la influencia de factores externos sobre las variables de respuesta analizadas.

7.6 Biometría en organismos de producción (maduración)

La biometría se ejecutó en aquellos organismos que fueron descartados o sucumbieron a la mortalidad. Estas cifras representativas de cada tanque se usaron para estimar la biomasa total de cada tanque, la cual había sido establecida con anterioridad mediante un registro de biometría preliminar llevado a cabo en los tanques de reserva en el momento de la llegada de los reproductores al laboratorio de maduración. El seguimiento de la biomasa de la población del tanque es crítica para la formulación de la tabla de alimentación.

7.7 Métodos.

7.7.1 Registro y evaluación.

Una base de datos digital recibía la información que previamente había sido consolidada en fichas de control, documentos en los que se volcaban los registros obtenidos en campo, la necesidad de revisión cruzada antes de la transcripción, pues cualquier error en la ficha se propagaba al sistema informático.

La frecuencia de toma de datos variaba según la fase: diariamente en el sector de maduración y durante tres días consecutivos, incluyendo el día de siembra de nauplios, en el sector de larvicultura, ritmo que respondía a la dinámica propia de cada etapa del ciclo. Un monitoreo y registro sistemático de parámetros biológicos relacionados con la reproducción, el desarrollo larvario y la vida útil de *Penaeus vannamei* en las salas con y sin ablación dentro de sus prácticas fue lo que estructuró todo el protocolo, estrategia que buscaba estandarizar la toma de datos en ambos escenarios experimentales.

7.7.1.1 Parámetros físicos, químicos y biológicos secundarios específicos.

Dentro del área de maduración, se mantienen parámetros que cambian según la etapa productiva. Para el sector de producción se contemplan los siguientes factores fisicoquímicos y biológicos:

- Temperatura: 28 - 28.5 °C
- Salinidad: 32 - 33 ppt
- Alcalinidad 60 - 250 mg/l
- Oxígeno disuelto: 4.5 - 7 mg/l
- pH: 7.5 - 8.5
- Densidad poblacional: 25 ind/ton

En los tanques de desove se manejan los siguientes parámetros:

- Temperatura: 28 - 28.5 °C
- Salinidad: 30 ppt
- Alcalinidad 60 - 250 mg/L
- Oxígeno disuelto: 3 a 10 mg/l
- Densidad: 8 – 50 ind/ton
- pH: 7.5 - 8.5

Al llegar a eclosión, se manejan los siguientes parámetros:

- Temperatura: 32,5 °c
- Salinidad: 30 ppt
- Oxígeno disuelto: 3 a 10 mg/l
- pH: 7.5 - 8.5

Por otro lado, en larvicultura se consideran cuatro parámetros:

- Temperatura: 31-33 °C
- Salinidad: 33 ppt
- Densidad de algas: 25000 - 30000 cél/ml de *Thalassiosira weissflogii*
- Densidad: 850000 nauplios por tonelada aproximadamente en la siembra (19 toneladas de agua)

7.7.1.2 Dieta y biomasa.

Dieta en base al 30% de la biomasa, distribuyéndose de la siguiente manera:

- 15% de calamar

- 4 % de coral
- 4% de almeja
- 5% de krill
- 2% de balanceado

7.7.1.3 ***Mortalidad general de hembras y específica.***

La determinación de la ablación como factor causal de la mortalidad en la fase de maduración exigió un registro sistemático de los eventos de muerte por tanque individual, en el que se consignó paralelamente el sexo de cada organismo afectado, pues en esta investigación se buscó registrar los efectos causados en la población de hembras sujetas a esta práctica, de modo que permitiría cuantificar la magnitud del fenómeno. Fue precisamente esta correlación entre el procedimiento quirúrgico y el sexo del espécimen lo que habilitaría, en tanto que variable de análisis, una interrogante que permanecería abierta mientras no se contrastaran los datos histológicos con los patrones de supervivencia observados, ya que la hipótesis de que el estrés inducido por la ablación afectaría diferencialmente a hembras constituiría, en última instancia, el eje interpretativo sobre el cual pivotaría toda la inferencia etiológica del estudio.

$$Mortalidad\ maduración\ \varphi(\%) = \left(\frac{\text{Número de eventos de mortalidad}}{\text{Población inicial de ejemplares}} \right) \times 100$$

La cuantificación de las pérdidas poblacionales en larvicultura, entendida como la diferencia entre el número de organismos al inicio y al término del ciclo expresada en proporción a aquella cifra inicial, constituyó el procedimiento mediante el cual se documentó la mortalidad que afectó a los estadios comprendidos entre N5 y ZIII, de modo que lo que operativamente se tradujo en una resta aritmética entre la población de partida y la remanente alcanzó a configurarse, en tanto que método de registro, como la forma heurística disponible

para capturar un fenómeno biológico que, aunque se manifestó con intensidad variable a lo largo de dichas fases larvales, habría de reportarse finalmente como un indicador relativo que permitiría, en análisis posteriores, establecer comparaciones entre diferentes condiciones experimentales o productivas.

$$Mortalidad\ larvicultura(\%) = \left(\frac{Población\ inicial - Población\ final}{Población\ inicial} \right) \times 100$$

7.7.1.4 Porcentaje de cópulas diarias.

El cálculo del porcentaje de hembras copuladas en cada tanque de forma diaria e independiente del tratamiento constituyó el procedimiento analítico que se derivó de los monitoreos mediante observación directa, los cuales se ejecutaban a las 17:00 horas de cada jornada, momento en el que las hembras que ya habían copulado eran capturadas para ser transportadas posteriormente hacia los tanques de desove, donde serían mantenidas en conjunto para inducir la ovulación, de modo que la secuencia metodológica articulaba la observación, la selección reproductiva y la concentración de los individuos fecundados en un espacio común, aunque el registro porcentual que se obtendría no discriminaría entre las condiciones experimentales aplicadas, en tanto que cada tanque funcionaría como unidad de conteo autónoma sin que el tratamiento específico influyera en la forma de computar los datos, lo cual permitiría, no obstante, establecer comparaciones temporales del desempeño reproductivo que podrían correlacionarse, en análisis futuros, con las variables de manejo que se habían implementado.

$$Cópulas(\%) = \left(\frac{Número\ de\ eventos\ de\ cópulas}{Número\ total\ de\ hembras} \right) \times 100$$

7.7.1.5 *Fertilidad productiva.*

El cálculo de nauplios viables provenientes del conjunto de huevos y nauplios recolectados constituyó el fundamento metodológico sobre el cual se estructuró la evaluación de la fertilidad, dado que la relación porcentual entre ambas magnitudes biológicas, tal como fue establecida por Palacios et al. (1999), habilitaba una estimación cuantitativa del éxito reproductivo que, si bien podría haberse abordado mediante otros indicadores, resultaba particularmente robusta en tanto que vinculaba directamente el producto viable con el esfuerzo gamético inicial, de modo que la variable operacionalizada no solo registraba un desenlace numérico sino que, en rigor, sintetizaba un proceso ontogenético cuya comprensión resultaría esencial para interpretar la dinámica poblacional que se proyectaría en generaciones subsiguientes.

$$Fertilidad (\%) \left(\frac{\text{Número de nauplios viables}}{\text{Total de huevos}} \right) \times 100$$

7.7.2 Número de nauplios viables.

Se realizaron conteos volumétricos para determinar la cantidad de nauplios viables extraídos de los tanques de eclosión, tras el evento de eclosión, identificando y contabilizando aquellos nauplios que emergen activos y en condiciones normales de natación (Briggs et al., 2004). Esta práctica permite extrapolar los conteos al volumen total del tanque de eclosión para obtener una estimación del total de náuplios viables producidos por puesta.

Estudios comparativos en especies de camarón han mostrado que el porcentaje de náuplios viables puede estar vinculado al tratamiento de maduración del camarón reproductor: por ejemplo, en *Farfantepenaeus brasiliensis*, el número de náuplios viables fue mayor en hembras no ablacionadas que en hembras ablacionadas (Silva et al., 2018). Además, en cultivos de *P. vannamei* se ha observado que los indicadores bioquímicos de los huevos y náuplios pueden relacionarse con la viabilidad larvaria, como lo mostró Palacios et al. (1998), quienes

calculan un índice de condición del náuplio que integra el porcentaje de náuplios viables y la longitud larvaria.

En consideración de estas referencias, la presente investigación aplicó el muestreo volumétrico junto al uso estratégico de reflectores y fototaxismo positivo, para así determinar la viabilidad de los nauplios en cada tanque de eclosión, que fue expresada tanto como número absoluto como proporción respecto al número de nauplios totales, incluyendo así nauplios no viables por deformidad o inactividad, principalmente falta de respuesta a la estimulación lumínica.

$$Nauplios\ viables(\%) = \left(\frac{Número\ de\ nauplios\ viables}{Total\ de\ nauplios} \right) \times 100$$

7.7.2.1 Número de desoves válidos.

La cuantificación de la respuesta reproductiva de las hembras en cada sistema de maduración, y su posterior relación con la producción de nauplios despachables, fue posible gracias al registro diario del número de desoves válidos obtenidos en los sistemas demaduración con ablación y sin ablación. Los eventos reproductivos que culminaron en unapuesta aprovechable dentro del proceso productivo fueron los únicos considerados para estavariante, excluyéndose aquellos registros que no correspondieron a desoves útiles para laobtención de nauplios.

La cantidad de eventos de desove que contribuyeron directamente al proceso de eclosión, reflejada por esta variable, la convirtió en un indicador de rendimiento reproductivo absoluto, la necesidad de discriminar con rigor qué puestas eran realmente aprovechables. Una mayor frecuencia de desoves aprovechables durante el periodo de estudio, asociada o no con la ablación, fue evaluada mediante la comparación entre sistemas.

$$Desoves\ válidos = Número\ total\ de\ desoves\ aprovechables\ registrados$$

7.7.2.2 Porcentaje de desoves válidos.

La proporción de desoves aprovechables en relación con la población reproductiva disponible, expresada mediante el porcentaje de desoves válidos, fue calculada con el propósito de complementar el análisis del número absoluto de desoves, indicador que considera la cantidad de hembras presentes en cada sistema de maduración y facilita una comparación proporcional entre tratamientos.

La diferencia entre la población inicial y la mortalidad registrada durante el periodo correspondiente, utilizada para obtener la población final de hembras reproductoras, constituyó la base del cálculo, la precisión requerida en los registros diarios de mortalidad. La respuesta reproductiva relativa del sistema con ablación y del sistema sin ablación fue evaluada de esta manera mediante el porcentaje de desoves válidos.

$$\text{Desoves válidos (\%)} = (\text{Número de desoves válidos} / \text{Población final de hembras}) \times 100$$

Donde:

$$\text{Población final de hembras} = \text{Población inicial de hembras} - \text{Hembras muertas}$$

7.7.2.3 Náuplios despachables por día

Los nauplios que cumplieron con las condiciones necesarias para ser utilizados en la siguiente fase productiva, es decir, aquellos disponibles para despacho luego del proceso de eclosión y selección, fueron los únicos considerados para la variable que se cuantificó diariamente en los tanques de eclosión de los sistemas con ablación y sin ablación.

La cantidad de organismos que pasan efectivamente hacia la fase larval, representada por esta variable, la convirtió en uno de los principales indicadores de rendimiento productivo, la rigurosidad con la que se ejecutaron los registros diarios. La producción útil generada por cada sistema de maduración fue evaluada mediante el registro diario de náuplios despachables.

Náuplios despachables por día = Total de náuplios despachables registrados en el día

Cuando los valores fueron expresados en millones, se utilizó la siguiente conversión:

Náuplios despachables (millones/día) = Náuplios despachables por día / 1 000 000

7.7.2.4 Náuplios despachables por mes

La suma de los registros diarios correspondientes a cada sistema de maduración durante los meses evaluados, obtenida mediante acumulación sistemática, dio origen a la producción mensual de náuplios despachables, variable que permitió analizar la producción acumulada del sistema con ablación y del sistema sin ablación a escala mensual, facilitando la comparación del rendimiento productivo durante abril, mayo y junio.

La variación temporal de la producción, observada a través del análisis mensual, permitió determinar si las diferencias entre sistemas se mantuvieron o cambiaron a lo largo del periodo de estudio, la necesidad de interpretar los resultados en unidades que facilitaran la comparación. Millones de náuplios despachables fue la unidad en la que esta variable fue expresada.

Cuando los valores fueron expresados en millones, se aplicó:

Náuplios despachables ($\frac{\text{millones}}{\text{mes}}$) = Náuplios despachables mensuales / 1 000 000

7.7.2.5 Porcentaje de huevos sobrantes

La proporción de huevos remanentes y nauplios inviábiles después del proceso de eclosión, calculada en relación con el total conformado por los náuplios despachables y los huevos sobrantes registrados, fue determinada mediante el porcentaje de huevos sobrantes, variable que permitió complementar la evaluación de la eficiencia reproductiva, debido a que

una mayor proporción de huevos sobrantes puede indicar una menor conversión del material reproductivo en nauplios disponibles para despacho.

El número de huevos sobrantes y la cantidad de náuplios despachables obtenidos en cada registro fueron considerados para su cálculo, la exactitud requerida en el conteo de ambas fracciones. El comportamiento proporcional del sistema con ablación y del sistema sin ablación fue comparado gracias a que la variable fue expresada como porcentaje.

$$\text{Huevos sobrantes (\%)} = \left(\frac{\text{Huevos sobrantes}}{(\text{Náuplios despachables} + \text{Huevos sobrantes})} \right) \times 100$$

7.7.2.6 Náuplio por hembra

El rendimiento relativo de las hembras que generaron desoves válidos dentro de cada sistema de maduración, evaluado mediante el indicador náuplio por hembra, fue calculado para efectos de esta investigación como la relación entre la cantidad de náuplios despachables producidos y el número de desoves válidos registrados.

La eficiencia reproductiva relativa entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación, comparada independientemente del volumen total de producción alcanzado por cada sistema, fue posible gracias a este indicador, su relevancia en el análisis global. El valor se obtuvo mediante el cálculo en millares de náuplios despachables que se obtuvieron en promedio por cada hembra que generó un desove válido.

$$\text{Náuplio por hembra (K)} = \text{Náuplios despachables} / \text{Número de desoves válidos}$$

7.7.2.7 Deformidades larvarias y uniformidad de muda.

Un grupo de aproximadamente 100 ejemplares fue observado directamente mediante el uso de un microscopio, procedimiento en el que se registró el porcentaje de deformidades y la uniformidad de muda de la población, la demanda de tiempo en las jornadas

de evaluación. Las anormalidades morfológicas presentes en los estadios Zoea y N5, entre las que se encontraron malformaciones en apéndices natatorios, cefalotórax o abdomen, fueron analizadas como reflejo de deficiencias nutricionales o estrés durante la reproducción, incubación o cultivo larval, según lo proponen Racotta et al. (2004). Una mayor incidencia de deformidades en los sistemas ablacionados, atribuible de forma indirecta al estrés fisiológico durante la maduración que suele producir descendencia más sensible a alteraciones metabólicas, fue considerada plausible, según Palacios et al. (1999) y Racotta et al. (2004).

$$Deformidad(\%) = \left(\frac{\text{Número de eventos de deformidades}}{\text{Total de ejemplares observados}} \right) \times 100$$

La proporción de larvas que mudan sincrónicamente entre estadios fue el criterio mediante el cual se evaluó la uniformidad de muda, parámetro asociado al estado fisiológico de las larvas, la calidad nutricional de los nauplios y las condiciones ambientales del cultivo, según FAO (2003). El buen estado general de los individuos y la estabilidad en el desarrollo son indicados por una alta uniformidad, mientras que una variación amplia puede relacionarse con desbalances alimenticios o estrés ambiental, según Lavens & Sorgeloos (1996).

$$Uniformidad\ de\ muda(\%) = \left(\frac{\text{Número de eventos de ecdisis}}{\text{Total de ejemplares observados}} \right) \times 100$$

7.7.2.8 Supervivencia larvaria

La proporción de organismos que alcanzaron el estadio Zoea III en relación con el número inicial de nauplios sembrados en cada tanque, determinada mediante el cálculo de la supervivencia larvaria, permitió evaluar el desempeño larval de los sistemas con ablación y sin ablación, considerando la diferencia entre la población inicial sembrada y la población final registrada al término del seguimiento.

La relación entre la población final y la población inicial de cada unidad experimental, posible gracias a la supervivencia larvaria, la convirtió en indicador principal de comparación,

su prioridad sobre la interpretación directa de la población final de Zoea III, cifra que puede variar en función del número inicial de organismos sembrados debido a que la cantidad inicial de nauplios sembrados varió entre tanques.

La supervivencia larvaria fue expresada en porcentaje y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Supervivencia larvaria (\%)} = (\text{Población final en Zoea III} / \text{Nauplios sembrados}) \times 100$$

7.7.3 Análisis estadístico

Las matrices de comparación entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación fueron organizadas a partir de los datos obtenidos durante las fases de maduración y larvicultura, estructura en la que únicamente las variables relacionadas con el rendimiento reproductivo y larval de *Penaeus vannamei* fueron consideradas para el análisis, manteniendo una estructura de comparación pareada entre ambos sistemas.

La reducción del efecto de la variabilidad asociada al día de muestreo, estadio larval o réplica, lograda mediante la comparación pareada, concentró el análisis en la diferencia directa entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación, la necesidad de que los registros de ambos sistemas estuvieran organizados bajo una misma escala temporal o bajo réplicas equivalentes de evaluación.

Los registros diarios pareados entre los sistemas evaluados fueron la base desde la cual se realizaron las comparaciones en maduración. La producción absoluta y algunos indicadores relativos de eficiencia reproductiva fueron evaluados mediante variables que incluyeron cópulas registradas, desoves válidos, náuplios despachables, porcentaje de cópulas ponderado, fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables, náuplio por hembra, porcentaje de huevos sobrantes y mortalidad de hembras.

Las réplicas pareadas entre tanques provenientes del sistema con ablación y del sistema sin ablación fueron utilizadas para realizar el análisis en larvicultura. La uniformidad del periodo de muda y la deformidad larval durante el seguimiento desde N5 hasta Zoea III fueron analizadas para la evaluación del desarrollo larval temprano, y además se calcularon la supervivencia y la mortalidad real hasta Zoea III a partir de la relación entre la población inicial sembrada y la población final registrada en cada tanque.

Los indicadores proporcionales como supervivencia y mortalidad real, que permiten relacionar la población final con la población inicial de cada unidad experimental, fueron los que fundamentaron la interpretación del desempeño larval, debido a que la población final de Zoea III no fue utilizada como indicador principal de comparación entre tratamientos, pues la cantidad inicial de nauplios sembrados varió entre tanques.

Los estadísticos descriptivos que incluyeron media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo fueron calculados para cada variable mediante Microsoft Excel, donde además se organizaron y procesaron los registros obtenidos durante el estudio. Posteriormente, se evaluó la diferencia entre los sistemas con ablación y sin ablación. El análisis estadístico, realizado sobre las diferencias entre ambos sistemas para cada par de comparación debido a la naturaleza pareada de los datos, fue ejecutado mediante la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las diferencias. La prueba t pareada se aplicó cuando las diferencias presentaron un comportamiento compatible con una distribución normal, mientras que en los casos donde no se cumplió el supuesto de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La significancia estadística, junto con la magnitud y dirección de las diferencias entre sistemas, fueron consideradas para interpretar los resultados. Diferencias estadísticamente significativas entre el sistema con y sin ablación fueron consideradas como existentes en las variables donde el valor de p fue menor a 0,05, mientras que la hipótesis nula no fue rechazada para la variable evaluada cuando el valor de p fue mayor o igual a 0,05.

La distribución de los datos, la variabilidad entre sistemas y las diferencias descriptivas entre tratamientos fueron visualizadas mediante gráficos de barras, diagramas de caja con puntos individuales y gráficos comparativos por réplica, según la naturaleza de cada variable, representación gráfica que fue empleada para facilitar la interpretación de los resultados.

8. RESULTADOS

8.1 Evaluación del efecto de la ablación sobre el rendimiento productivo

La evaluación del efecto de la ablación sobre el rendimiento productivo de *Penaeus vannamei* se realizó a partir del seguimiento de variables reproductivas en la fase de maduración y variables larvales durante el desarrollo temprano hasta Zoea III. El análisis permitió comparar el comportamiento de sistemas con y sin ablación bajo condiciones de cultivo, considerando indicadores directamente relacionados con la eficiencia del proceso de cría.

En la fase de maduración se analizaron variables asociadas al desempeño reproductivo de las hembras, como la mortalidad, fertilidad/eclosión, cópulas registradas, desoves válidos y producción de náuplios. Estas variables permitieron determinar si el uso de la ablación generó un incremento en el rendimiento productivo del sistema.

En la fase de larvicultura se evaluó el desarrollo temprano de los organismos provenientes de ambos sistemas, considerando la mortalidad, uniformidad del periodo de muda, presencia de deformidades y supervivencia hasta Zoea III. Este seguimiento permitió complementar la evaluación productiva de maduración con el comportamiento larval inicial.

Los resultados se representan de acuerdo con los objetivos específicos del estudio, iniciando con el análisis de maduración, seguido por la descripción del desarrollo larval y, finalmente, la comparación estadística de las variables monitoreadas entre los sistemas con y sin ablación.

8.1.2 Categorización de los datos de maduración

El análisis de maduración se realizó a partir de los registros obtenidos durante los meses de abril, mayo y junio. Para la comparación entre sistemas, las salas 2 y 9 fueron consideradas como el sistema con ablación, mientras que las salas 3 y 8 correspondieron al sistema sin

ablación. Durante abril y mayo se trabajó con la distribución original de salas; en junio, debido a la organización operativa del laboratorio, se emplearon salas consolidadas. De esta manera, la sala 2 representó las salas 1+2, la sala 3 representó las salas 3+4, la sala 8 representó las salas 7+8 y la sala 9 representó las salas 9+10.

La base de datos de maduración estuvo conformada por 280 registros diarios por sala de tesis, de los cuales 274 correspondieron a registros activos. Para la comparación estadística entre sistemas se utilizaron 69 pares diarios. Esta estructura permitió contrastar el comportamiento del sistema con ablación y del sistema sin ablación bajo una misma escala temporal, considerando las variables reproductivas y productivas monitoreadas durante el periodo de estudio.

Las variables analizadas incluyeron indicadores directamente relacionados con el rendimiento productivo, como cópulas registradas, desoves válidos, producción de náuplios despachables y náuplio por hembra. Además, se consideraron variables complementarias asociadas al desempeño reproductivo, como mortalidad de hembras, fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables, porcentaje de cópulas ponderado y porcentaje de huevos sobrantes.

Esta organización permitió evaluar si el sistema con ablación presentó un incremento productivo frente al sistema sin ablación y, al mismo tiempo, identificar si dicho incremento estuvo acompañado por cambios en otros indicadores reproductivos.

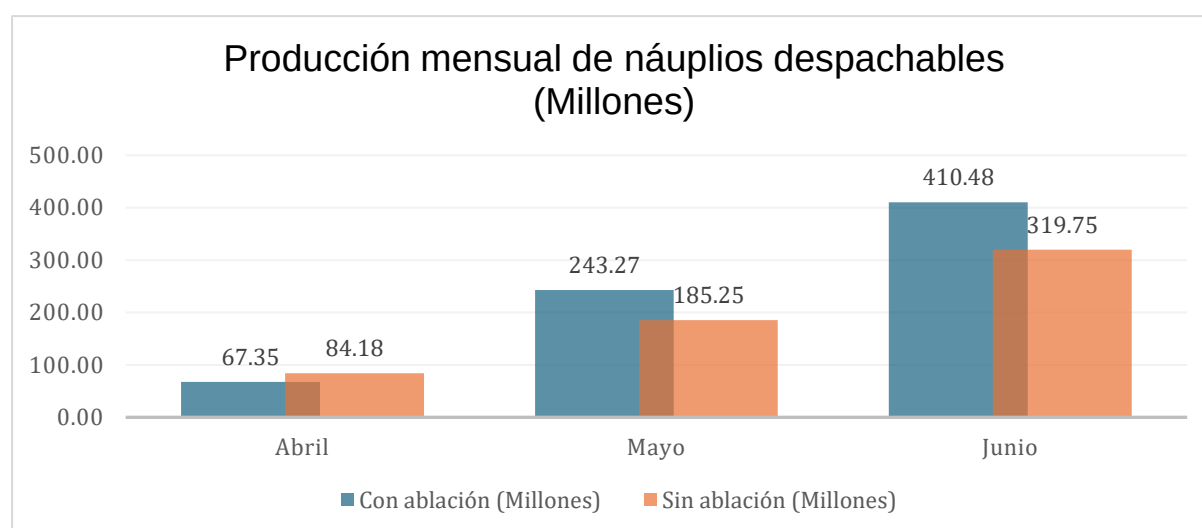
8.1.3 Rendimiento reproductivo en maduración

El rendimiento reproductivo en maduración mostró una ventaja general del sistema con ablación durante el periodo evaluado. Esta respuesta se evidenció principalmente en las variables asociadas a la producción absoluta, como cópulas registradas, desoves válidos y náuplios despachables.

La producción mensual de náuplios despachables presentó variaciones entre meses. En abril, el sistema sin ablación registró una producción mensual superior; sin embargo, durante mayo y junio, el sistema con ablación presentó una mayor producción. Al considerar el periodo completo, el sistema con ablación produjo aproximadamente 721,1 millones de náuplios despachables, mientras que el sistema sin ablación produjo aproximadamente 589,18 millones. Esta diferencia equivale a 131,90 millones de náuplios adicionales a favor del sistema con ablación, lo que representa un incremento aproximado de 22,4 % respecto al sistema sin ablación.

Figura 10

Producción mensual de náuplios despachables en los sistemas con ablación y sin ablación.



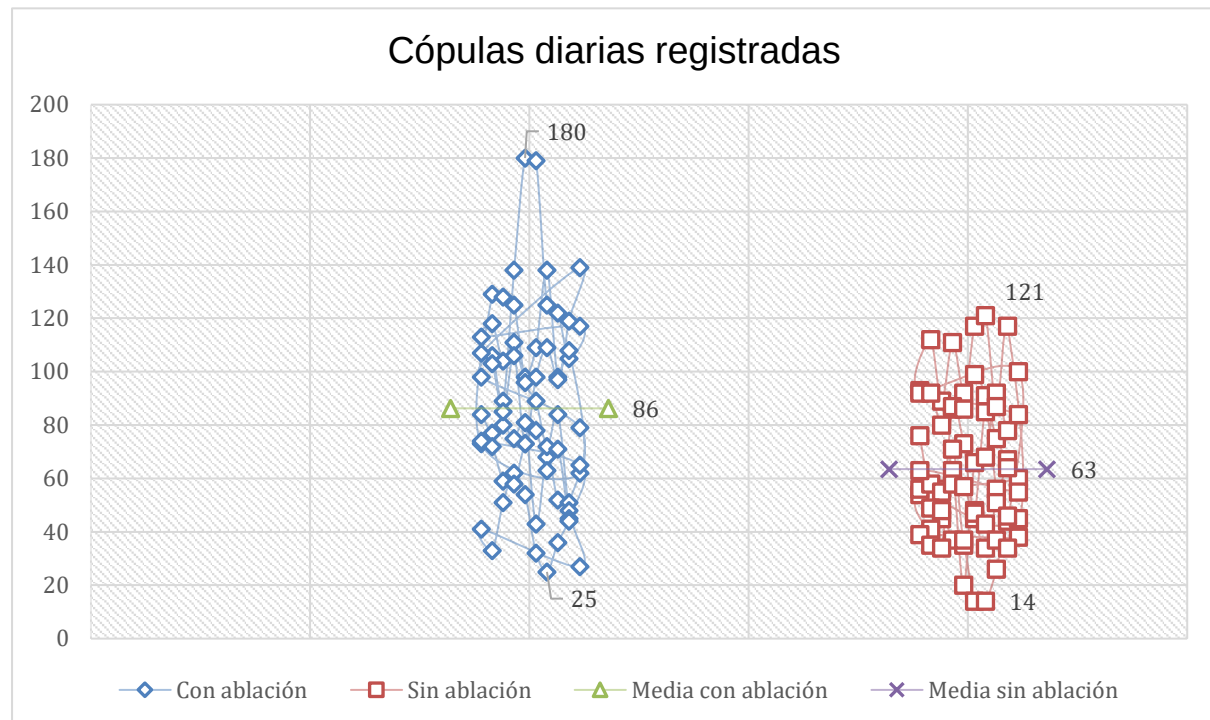
Nota. La producción se expresó en millones de náuplios despachables. El sistema con ablación presentó mayor producción total durante el periodo evaluado, especialmente en mayo y junio.

El sistema sin ablación presentó una media diaria de 63,49 cópulas por día, cifra que quedó distante de los 86,25 registros que el protocolo ablacionado mantuvo durante el mismo periodo de evaluación, lapso en el cual la distancia entre ambos tratamientos alcanzó una significancia estadística que separó contundentemente ambos protocolos de manejo. Una

mayor actividad reproductiva quedó así evidenciada en el sistema ablacionado, cuya superioridad numérica fue confirmada por los registros diarios que el laboratorio procesó.

Figura 11

Comparación de cópulas diarias registradas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



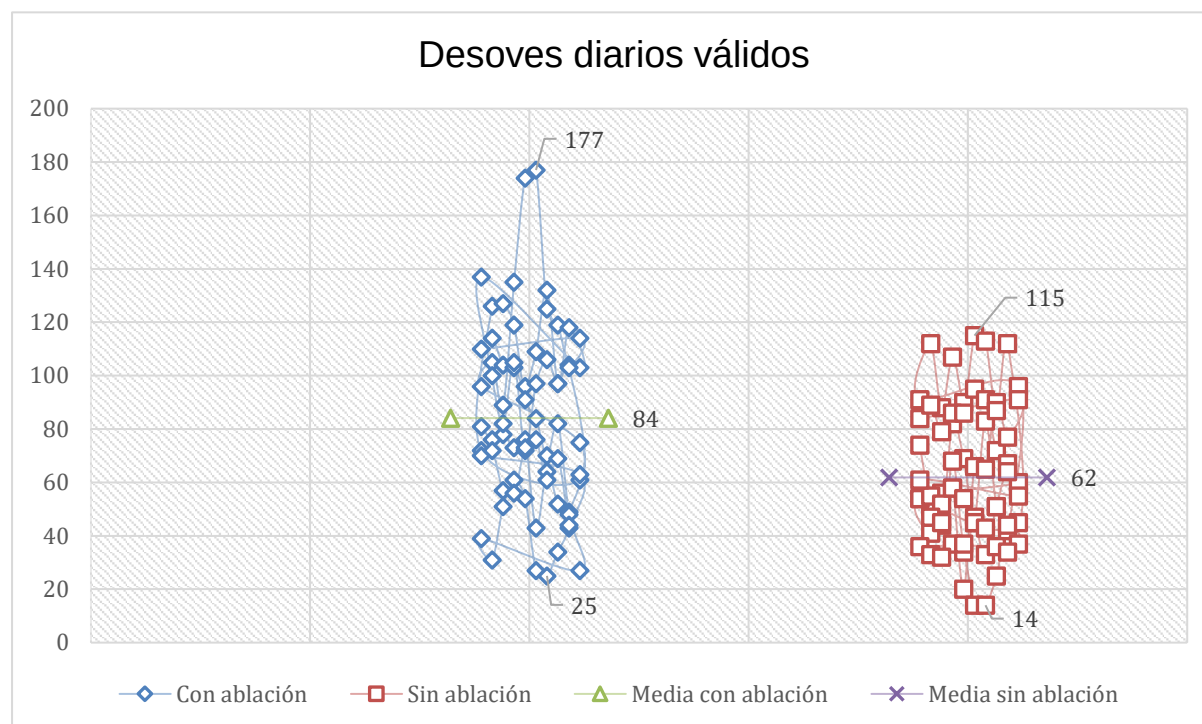
Nota. Los puntos representan valores diarios y las cajas muestran la distribución de los datos. La comparación pareada indicó diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ($p < 0,001$).

Una mayor cantidad de desoves aprovechables constituyó el reflejo más evidente de la superior actividad reproductiva observada en el sistema con ablación, diferencia que resultó estadísticamente significativa y que se manifestó en una media diaria de 84,10 desoves válidos frente a los 61,87 registrados en el sistema sin ablación, en tanto que esta tendencia replicaba fielmente el patrón previamente identificado en las cópulas, de modo que la correlación entre ambos indicadores resultaba robusta aunque no sorprendente, pues era previsible que una

mayor frecuencia de comportamientos de apareamiento condujera, necesariamente, a un incremento proporcional en la producción de ovos viables.

Figura 12

Comparación de desoves válidos entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



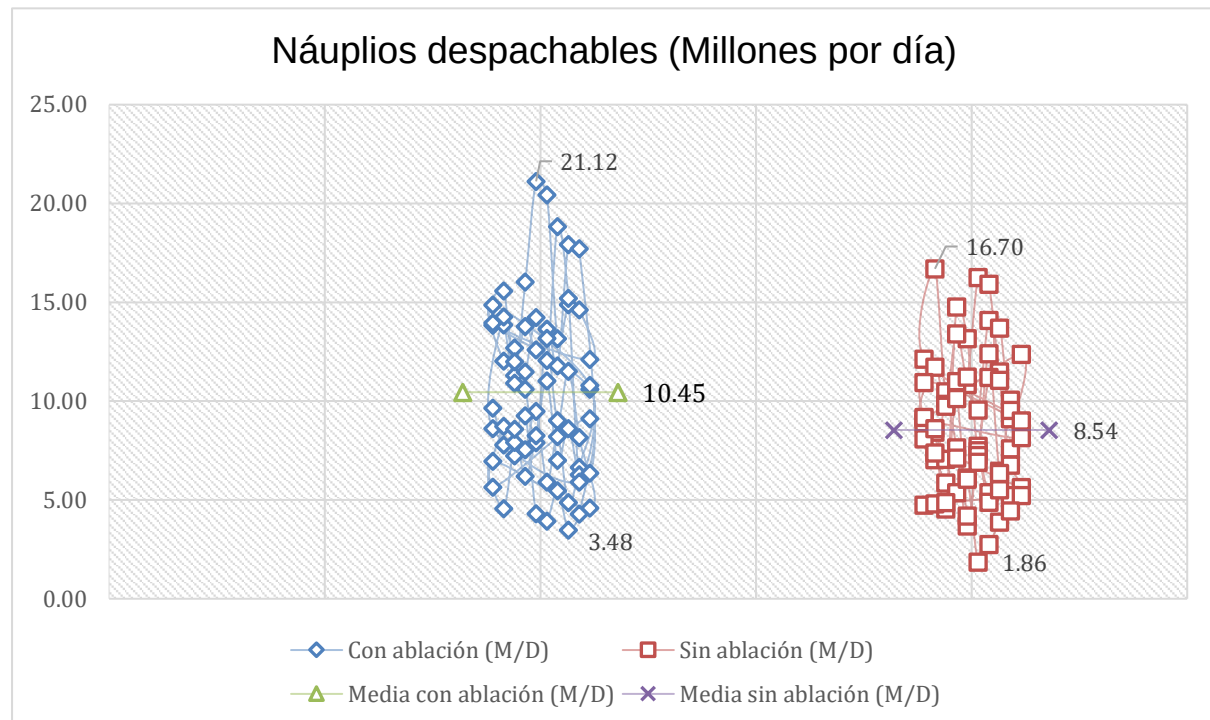
Nota. Los puntos representan valores diarios y las cajas muestran la distribución de los datos. El sistema con ablación presentó una cantidad significativamente mayor de desoves válidos ($p < 0,001$).

Una ventaja productiva relevante a favor del sistema con ablación quedó establecida mediante la diferencia de aproximadamente 1,91 millones de náuplios diarios, cuya significancia estadística respaldaría la superioridad de este método en términos de rendimiento, en tanto que la producción de náuplios despachables constituyó uno de los indicadores más representativos del desempeño productivo evaluado, pues el sistema con ablación alcanzó una media diaria de 10,45 millones de náuplios despachables mientras que el sistema sin ablación se habría quedado en 8,54 millones, de modo que la brecha observada no solo reflejaría una

mera variación numérica sino que evidenciaría una diferencia estructural en la capacidad reproductiva de ambos sistemas operados.

Figura 13

Comparación de náuplios despachables entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



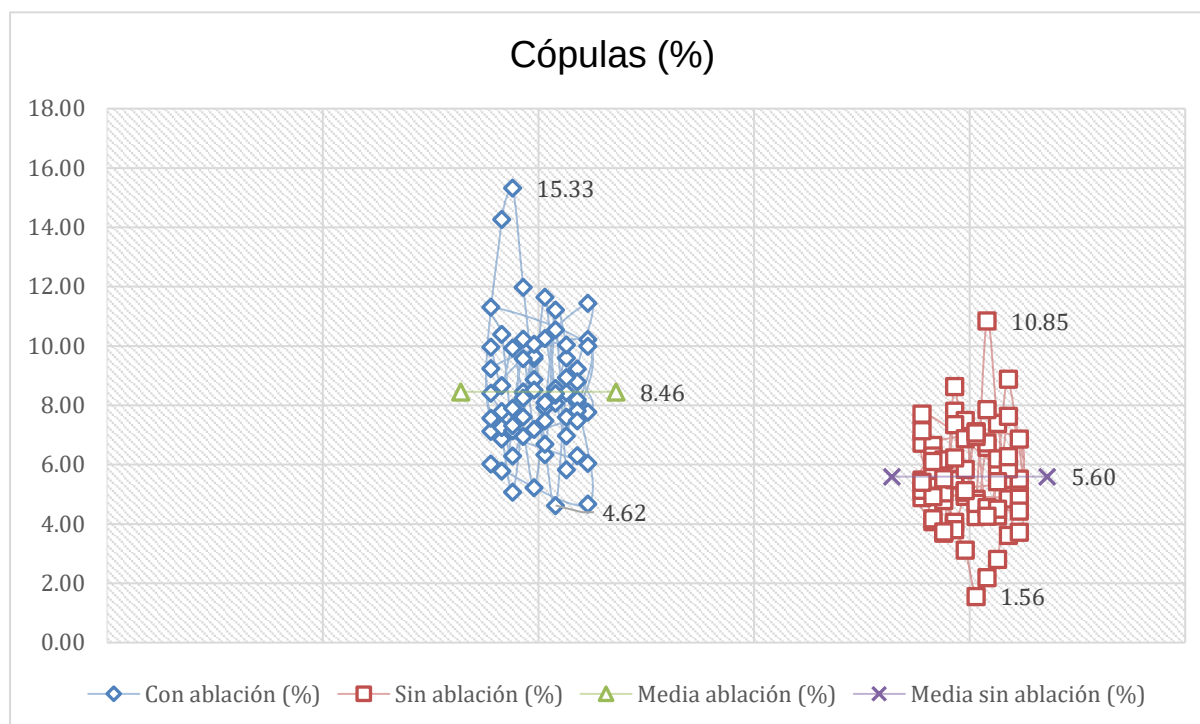
Nota. Los valores se expresan en millones de náuplios despachables por día. El sistema con ablación presentó una producción significativamente mayor que el sistema sin ablación ($p < 0,001$).

La significatividad estadística de la diferencia observada entre ambos sistemas, que se manifiesta tanto en valores absolutos como en términos relativos a la población reproductiva disponible, permite afirmar que el incremento reproductivo del sistema ablacionado constituye un fenómeno robusto y no circunscrito a una única métrica de evaluación, pues el porcentaje de cópulas ponderado alcanzó una media de 8,46 % en el sistema con ablación, cifra que contrasta marcadamente con los 5,60 % registrados en el sistema sin ablación, de modo que la superioridad del primer tratamiento queda corroborada desde múltiples ángulos analíticos

aunque el diseño experimental hubiera podido favorecer, en principio, alguna forma de compensación poblacional.

Figura 14

Comparación del porcentaje de cópulas ponderado entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



Nota. El sistema con ablación presentó mayor actividad reproductiva relativa. La comparación pareada mostró diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ($p < 0,001$).

Una productividad del sistema de cultivo más elevada durante la fase de maduración constituye el hallazgo central que emerge del conjunto de resultados obtenidos, puesto que el tratamiento con ablación superó consistentemente al grupo control en aquellas variables que operan como indicadores directos del desempeño reproductivo, entre las cuales el incremento de cópulas registradas habría facilitado, a su vez, una mayor frecuencia de desoves válidos que, en última instancia, se traduciría en un volumen ampliado de náuplios despachables, de modo que la cadena causal que vincula estas tres métricas (Brown & McVey, 2019; Liao et al., 2021) permite afirmar que la ablación no solo potenció un componente aislado del proceso

reproductivo, sino que optimizó el conjunto del sistema en tanto que los efectos observados en cada etapa sucesiva se reforzaron mutuamente, aunque esta interpretación quedará sujeta a futuras validaciones experimentales que profundicen en los mecanismos fisiológicos subyacentes.

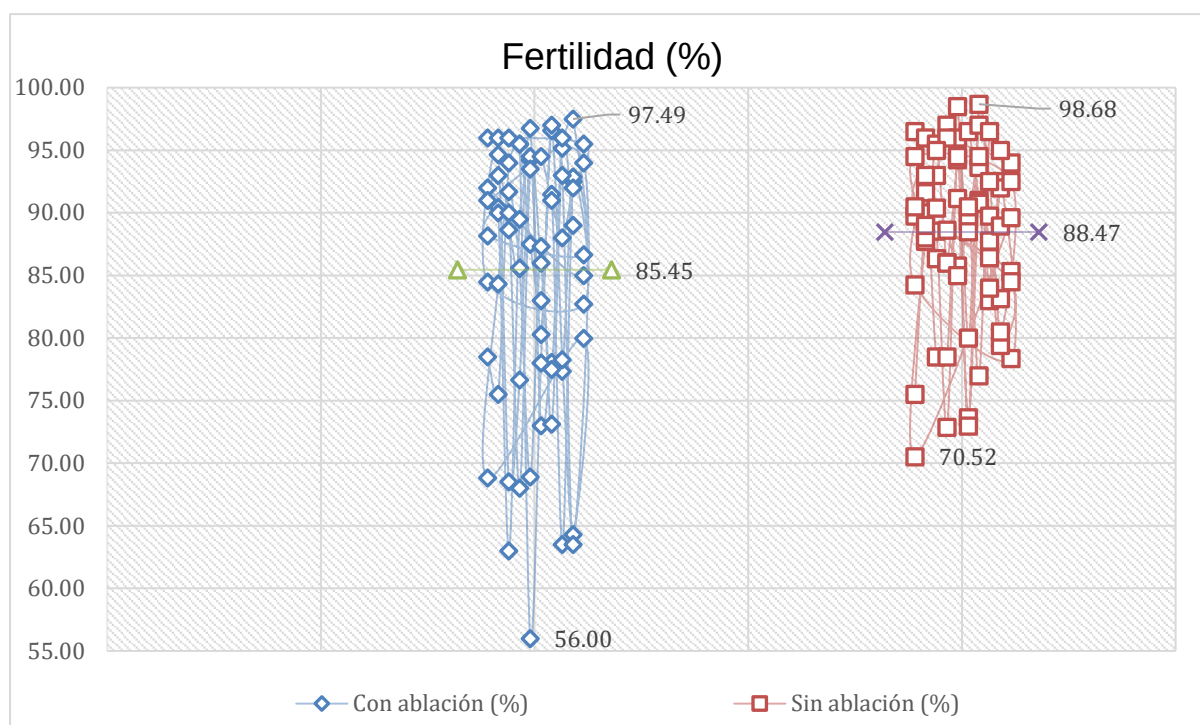
8.1.4 Fertilidad, viabilidad y desempeño reproductivo complementario

La evaluación del desempeño reproductivo de las hembras, medida a través de indicadores complementarios que trascienden la mera producción absoluta, constituyó un eje analítico cuyos resultados habrían de determinar si el incremento productivo vinculado a la ablación se sustentaba en modificaciones sustanciales de la fertilidad, la viabilidad naupliar, la proporción de huevos sobrantes, la mortalidad y la eficiencia reproductiva, de modo que estos parámetros, lejos de constituir meros correlatos accesorios, se revelaron como instrumentos diagnósticos indispensables para comprender en qué medida la manipulación del sistema operaba como factor condicionante de la biología reproductiva en su conjunto, aunque su interpretación exigiría confrontar los hallazgos observados con los patrones basales que caracterizarían a los grupos control en ausencia de intervención.

Una mayor eficiencia relativa de fertilidad durante el periodo evaluado caracterizó al sistema sin ablación, el cual alcanzó una media de 88,47 % frente al 85,45 % registrado por el sistema con ablación, diferencia que resultó estadísticamente significativa y que, en tanto que refleja una ventaja reproductiva consistente del primer tratamiento, permitiría proyectar que dicho sistema mantendría superioridad en condiciones operativas similares, aunque la proximidad entre ambos valores sugeriría que otros factores, eventualmente controlables, podrían reducir esa brecha en escenarios de manejo optimizado.

Figura 15

Comparación de fertilidad entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



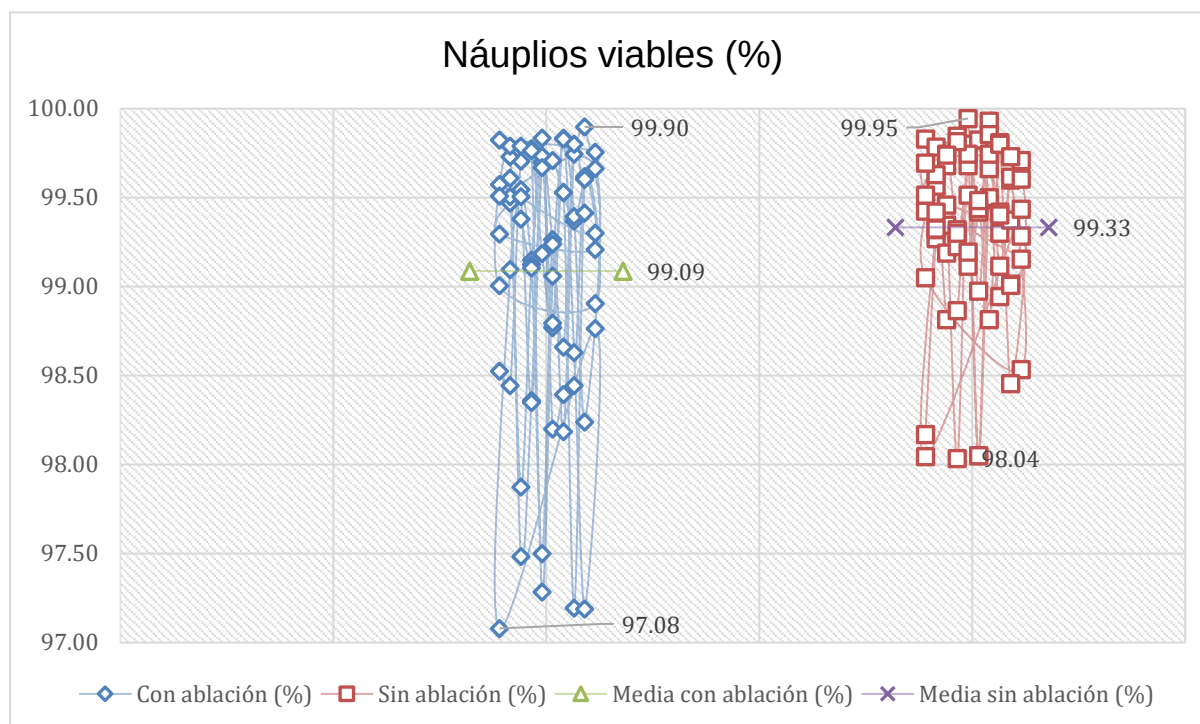
Nota. El sistema sin ablación presentó una media superior de fertilidad. La diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,043$).

Una diferencia estadística de baja magnitud entre sistemas, detectada mediante análisis estadístico a pesar de su reducida expresión numérica, constituye el hallazgo central que obliga a reinterpretar el aparente paralelismo en viabilidad de náuplios, pues el sistema sin ablación alcanzó una media de 99,33 % que, si bien superó ligeramente el 99,09 % registrado en el sistema con ablación, no habría podido por sí sola sustentar una conclusión definitiva de no equivalencia sin el respaldo inferencial que confirmó que dicha brecha, aunque mínima en términos absolutos, era consistente y reproducible en tanto que producto de condiciones experimentales diferenciales que operaban de modo que cualquier variación, por pequeña que pareciera, adquiriría significado biológico una vez sometida a prueba, de manera que este resultado deberá interpretarse no como una mera fluctuación aleatoria sino como una señal

real, aunque de escasa magnitud, que condicionará futuras decisiones metodológicas en protocolos de producción de náuplios viables.

Figura 16

Comparación del porcentaje de náuplios viables entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



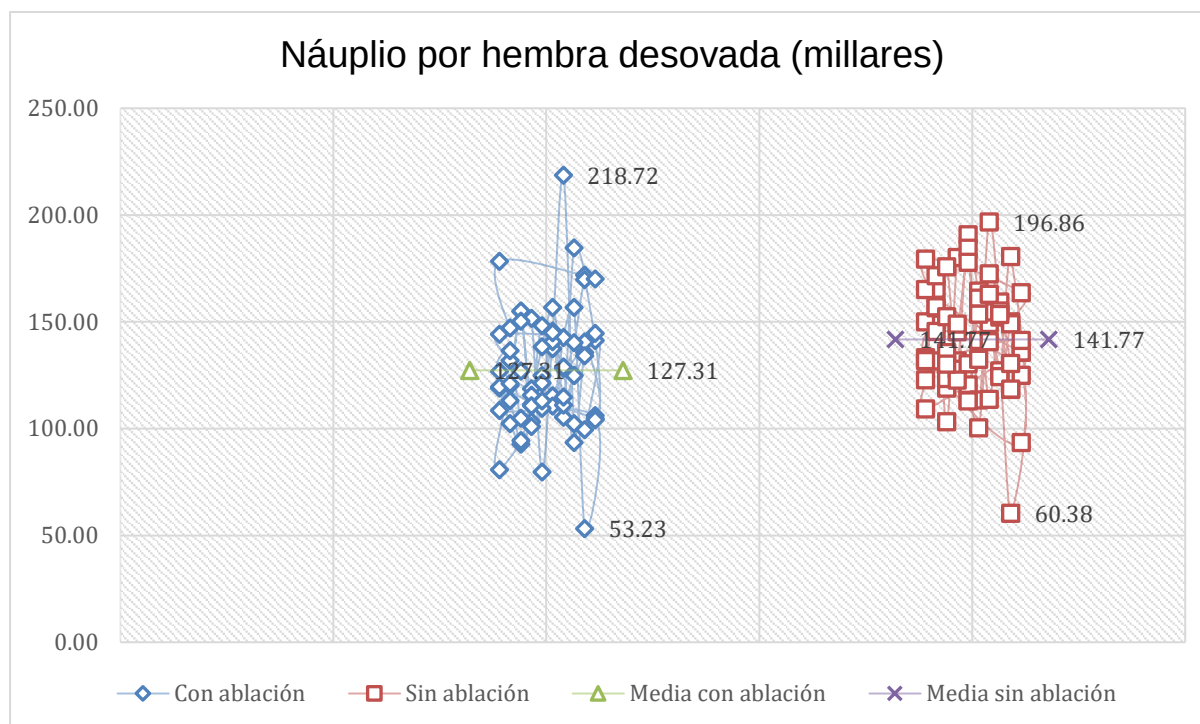
Nota. El sistema sin ablación presentó una media ligeramente superior de náuplios viables. La diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,032$), aunque la magnitud de la diferencia fue reducida.

Una superioridad relativa en el rendimiento reproductivo por hembra desovada constituye el hallazgo central que diferencia ambos sistemas experimentales, pues la mayor eficiencia náuplio-hembra observada en el tratamiento sin ablación, que alcanzó una media de 141,77 mil frente a los 127,31 mil registrados en el sistema con ablación, revela una ventaja cuantitativa que resultó estadísticamente significativa y que, en tanto que este indicador expresa la relación entre los náuplios despachables efectivamente producidos y los desoves válidos generados exclusivamente por aquellas hembras que lograron completar el proceso de desove, permitiría inferir que la integridad anatómica del pleópodos habría favorecido condiciones

fisiológicas más propicias para la conversión exitosa de posturas viables en descendencia nadadora, aunque dicha interpretación deberá ser matizada por las particularidades del diseño experimental adoptado en este estudio.

Figura 17

Comparación de náuplio por hembra desovada entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.

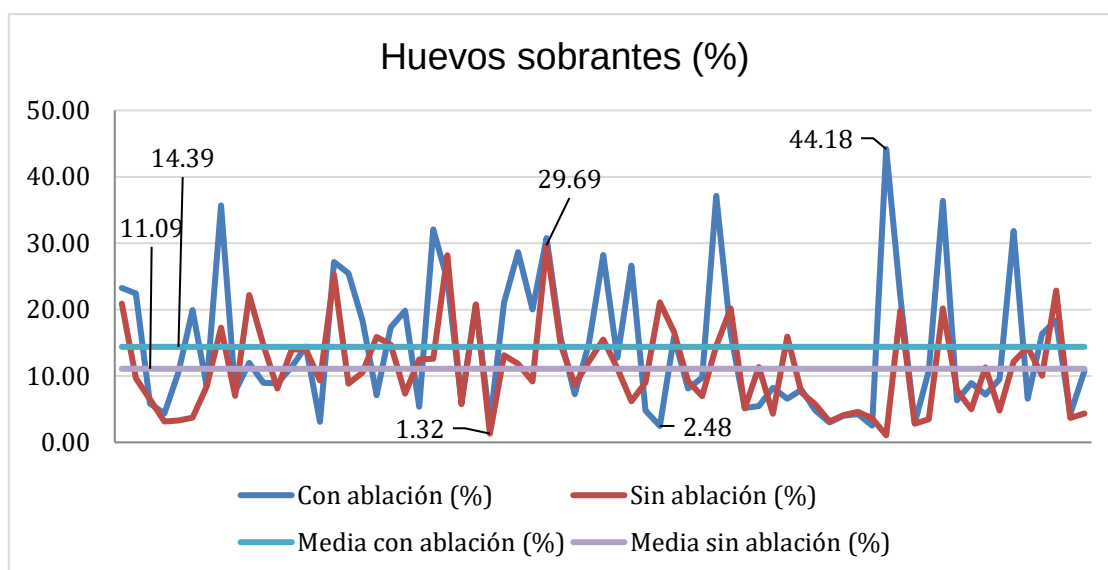


Nota. El sistema sin ablación presentó un mayor valor de náuplio por hembra. La diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$).

Una mayor proporción de huevos remanentes durante el periodo evaluado caracterizó al sistema con ablación, el cual registró una media de 14,39 % frente al 11,09 % observado en el sistema sin ablación, diferencia que resultó estadísticamente significativa y que, en tanto que refleja un patrón consistente de acumulación de huevos sobrantes, permitiría inferir que la intervención quirúrgica modificaría los comportamientos reproductivos de manera que el desbalance entre postura e incubación se acentuaría, aunque futuros estudios deberían explorar si esta tendencia se mantendría en condiciones de manejo alternativas o si, por el contrario, respondería a factores estacionales no controlados en el presente diseño experimental.

Figura 18

Comparación del porcentaje de huevos sobrantes entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.

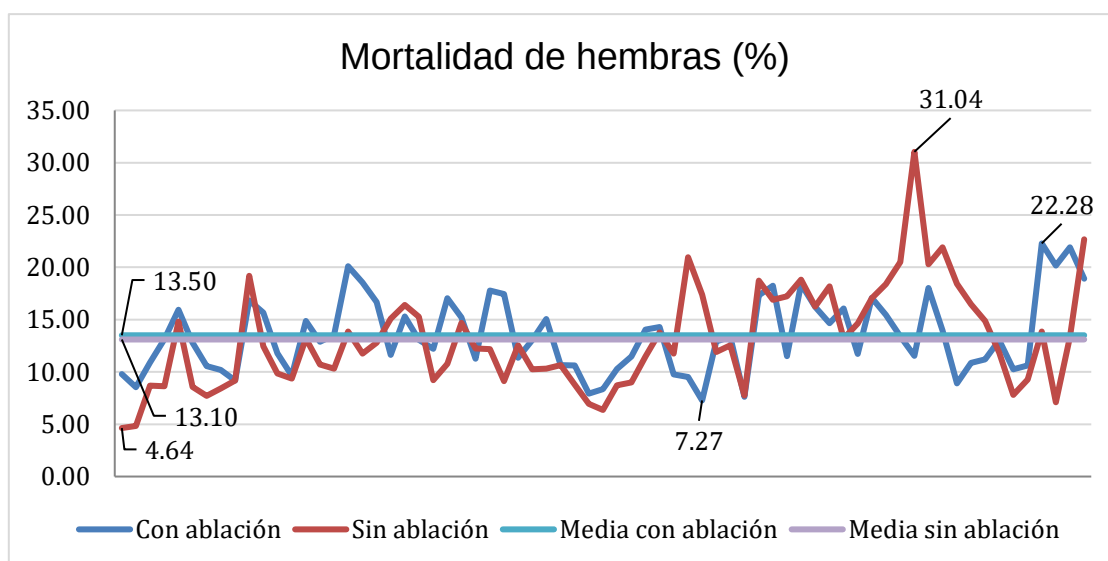


Nota. El sistema con ablación presentó un mayor porcentaje de huevos sobrantes. La diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,015$).

La ausencia de un comportamiento claramente distinto en la mortalidad de hembras durante el periodo evaluado constituye la conclusión que emerge de una diferencia estadísticamente no significativa entre ambos sistemas, pues el sistema con ablación registró una media de 13,50 %, mientras que el sistema sin ablación presentó una media de 13,10 %, valores que resultaron cercanos entre sí de modo que la reducida distancia entre ambos tratamientos no permitiría, ni en condiciones actuales ni en futuras comparaciones preliminares, establecer patrones diferenciados que pudieran atribuirse al efecto de la ablación, aunque se mantendría la necesidad de evaluaciones prolongadas que confirmaran esta tendencia en tanto que la variabilidad biológica inherente a los cultivos acuícolas podría en otros escenarios modificar estos resultados aparentemente estables.

Figura 19

Comparación del porcentaje de mortalidad de hembras entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



Nota. La mortalidad de hembras presentó valores similares entre sistemas. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,133$).

La ventaja productiva global del sistema con ablación durante el periodo evaluado, sustentada principalmente en el mayor número de cópulas registradas, desoves válidos y náuplios despachables, condiciona necesariamente una interpretación conjunta de los indicadores relativos con la producción absoluta, aun cuando el sistema sin ablación hubiera presentado mejores valores en fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables y náuplio por hembra, e incluso cuando el sistema con ablación mostró una mayor proporción de huevos sobrantes que, lejos de constituir una ventaja en términos de eficiencia reproductiva, evidenciarían que la evaluación de desempeño en sistemas de producción de crustáceos requerirá siempre ponderar métricas de calidad contra el volumen efectivo de biomasa generada, de modo que la aparente superioridad relativa de un tratamiento no oscurezca su menor contribución al objetivo final de despacho comercial, en tanto que la escala operativa y la demanda del mercado seguirán privilegiando, en la mayoría de los escenarios productivos,

aquellas configuraciones que maximicen la oferta absoluta de organismos viables más allá de los porcentajes unitarios de conversión.

8.1.5 Análisis estadístico y contraste de hipótesis en maduración

Un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ fue el umbral que rigió todo el procedimiento, criterio que se fijó antes de que las comparaciones pareadas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación fueran ejecutadas en la fase de maduración, etapa en la cual cada variable fue sometida a evaluación de diferencias entre ambos sistemas, y esto agravó la necesidad de verificar previamente la normalidad de las diferencias mediante la prueba de Shapiro-Wilk, verificación que determinó si se aplicaba la prueba t pareada en aquellos casos donde el comportamiento resultó compatible con normalidad, o la prueba de Wilcoxon pareada cuando el supuesto no se cumplió.

La evidencia principal para evaluar la hipótesis planteada fue constituida por variables que representan la respuesta reproductiva y la producción útil del sistema, entre las que se encuentran las cópulas registradas, los desoves válidos, el porcentaje de cópulas ponderado y los náuplios despachables, magnitudes que resultaron superiores en el sistema con ablación, y esto agravó la distancia entre tratamientos cuando los análisis fueron procesados, pues las diferencias estadísticamente significativas que favorecieron al protocolo ablacionado quedaron registradas en las principales variables asociadas al rendimiento productivo.

Un incremento aproximado de 22,4 % en la producción total durante el periodo evaluado fue lo que la diferencia estadísticamente significativa terminó por representar, relevancia productiva que se tradujo en una media diaria de 10,45 millones de náuplios despachables alcanzada por el sistema con ablación, cifra que dejó atrás los 8,54 millones registrados en el sistema sin ablación, consolidando así la condición del indicador más representativo del rendimiento productivo.

El incremento del rendimiento productivo de *Penaeus vannamei* en condiciones de cultivo, observado principalmente al considerar la producción absoluta, fue lo que los resultados terminaron por respaldar, y esto agravó la certeza con la que se aceptó la hipótesis alternativa, postura que obligó a rechazar la hipótesis nula para las principales variables productivas de maduración, decisión tomada con base en los datos que ambos sistemas generaron durante el periodo de evaluación.

Una mejora en todos los indicadores de eficiencia reproductiva no fue necesariamente lo que la ablación logró, pues la producción absoluta fue la que principalmente se vio favorecida, y esto agravó las interrogantes sobre la conveniencia del protocolo cuando se analizan métricas relativas, como la fertilidad/eclosión, el porcentaje de náuplios viables y el náuplio por hembra, variables que resultaron superiores en el sistema sin ablación, mientras que el porcentaje de huevos sobrantes, con una diferencia estadísticamente significativa, fue mayor en el sistema con ablación, evidenciando que el efecto del tratamiento no fue uniforme en todos los parámetros que se evaluaron.

Una mortalidad relativa de hembras similar entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación fue lo que el periodo evaluado mostró, similitud que sugiere que la supervivencia de las reproductoras no dependió del tratamiento aplicado, y esto agravó la dificultad para discriminar entre protocolos en este indicador específico, razón por la cual la hipótesis nula no fue rechazada para esta variable, dado que diferencias estadísticamente significativas en la mortalidad de hembras no se presentaron entre ambos sistemas.

Una ventaja productiva absoluta que no fue superada por los mejores valores observados en el sistema sin ablación fue la que el sistema con ablación mantuvo durante el periodo evaluado, y esto agravó la contundencia de la conclusión cuando los indicadores relativos fueron contrastados, pues el incremento significativo del rendimiento productivo, evidenciado principalmente en el aumento de cópulas registradas, desoves válidos y náuplios

despachables, fue lo que los resultados de maduración terminaron por respaldar, consolidando así el respaldo a la hipótesis alternativa que se había planteado inicialmente.

8.2 Rendimiento productivo en larvicultura

8.2.1 Categorización de los datos de larvicultura

Una estructura pareada que consideraba el mismo periodo de seguimiento para ambos sistemas fue la que permitió comparar el desarrollo larval temprano, y esto agravó la necesidad de que las cuatro réplicas pareadas entre tanques provenientes del sistema con ablación y del sistema sin ablación estuvieran perfectamente sincronizadas. Los pares R1_31_32, R2_15_16, R3_18_19 y R4_21_22 fueron los que correspondieron a dichas réplicas, configuración desde la cual el análisis de larvicultura se realizó.

La producción final de Zoea III fue el punto de referencia desde el cual cuatro pares fueron utilizados para supervivencia y mortalidad real, mientras que 31 pares de muestreo distribuidos desde N5 hasta Zoea III fueron empleados para uniformidad y deformidad, variables que en conjunto integraban el análisis de larvicultura. La uniformidad del periodo de muda, la deformidad larval, la supervivencia hasta Zoea III y la mortalidad real hasta Zoea III fueron las magnitudes que se incluyeron en la evaluación.

Un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ fue el umbral que rigió el procedimiento, criterio fijado antes de que las comparaciones pareadas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación fueran ejecutadas. La prueba de Shapiro-Wilk fue la que evaluó la normalidad de las diferencias para cada variable, verificación que determinó si se aplicaba la prueba t pareada cuando las diferencias presentaron un comportamiento compatible con normalidad, o la prueba de Wilcoxon pareada en los casos donde el supuesto no se cumplió, momento en el cual el análisis estadístico se realizó.

8.2.2 Comparación general de los indicadores larvales

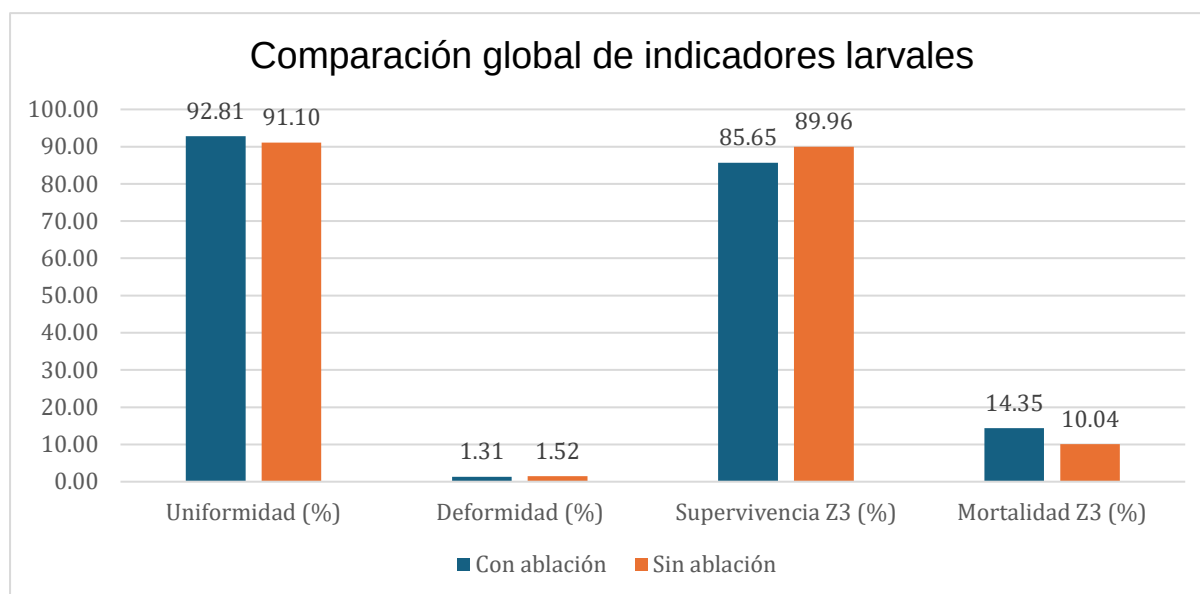
Una diferencia media de 1,71 puntos porcentuales a favor del sistema con ablación fue la que se registró en el caso de la uniformidad, variable en la cual el sistema con ablación mantuvo una media de 92,81 % frente al 91,10 % que el sistema sin ablación alcanzó. Valores cercanos entre ambos sistemas para uniformidad y deformidad fueron los que la comparación global de los indicadores larvales mostró, y esto agravó la dificultad para discriminar entre tratamientos en estas variables específicas.

Una ligera reducción descriptiva de deformidad en el sistema con ablación fue lo que la diferencia media de -0,21 puntos porcentuales terminó por indicar, cifra que se obtuvo al contrastar la media de 1,31 % alcanzada por el sistema con ablación con el 1,52 % que el sistema sin ablación registró. Bajo niveles en ambos sistemas fueron los que los valores de deformidad larval presentaron, y esto agravó la escasa separación entre tratamientos en este indicador.

Un comportamiento inverso fue el que la mortalidad real presentó, con una media de 14,35 % en el sistema con ablación y 10,04 % en el sistema sin ablación, cifras que contrastaban con las registradas en supervivencia. La media de 85,65 % alcanzada por el sistema con ablación quedó por debajo del 89,96 % que el sistema sin ablación mantuvo cuando se evaluó la supervivencia hasta Zoea III, etapa en la cual la separación entre tratamientos resultó más marcada que en las variables previas.

Figura 20

Comparación global de los indicadores larvales entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.



Nota. Se comparan las medias de uniformidad, deformidad, supervivencia hasta Zoea III y mortalidad real hasta Zoea III. Los valores muestran diferencias descriptivas entre sistemas, aunque ninguna variable presentó diferencia estadísticamente significativa.

8.2.3 Uniformidad del periodo de muda

Un desarrollo temprano relativamente homogéneo fue lo que los valores cercanos o iguales al 100 % alcanzados por ambos sistemas en los muestreos iniciales correspondientes a N5 y Zoea I terminaron por indicar, dificultando la discriminación entre tratamientos en las primeras etapas del seguimiento larval, etapas en las que la uniformidad del periodo de muda se mantuvo elevada durante la mayor parte del ciclo.

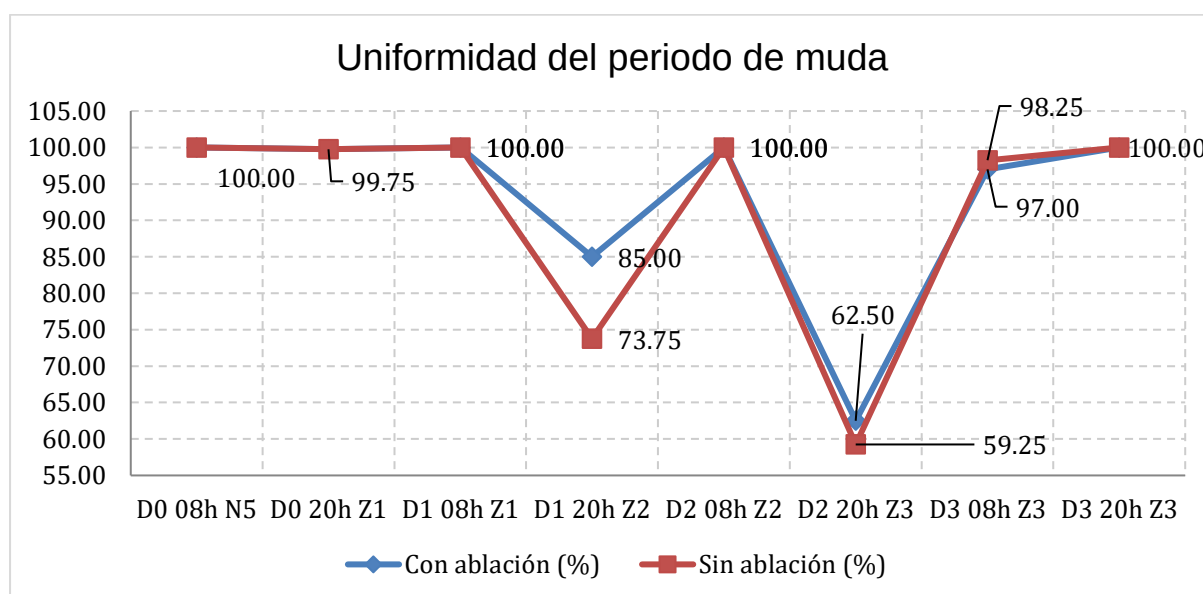
La mayor variabilidad del desarrollo larval se concentró en los momentos de transición entre estadios, situación que las reducciones observadas terminaron por confirmar cuando los organismos enfrentaban los cambios morfológicos más intensos. Una media de 85,00 % fue la que el sistema con ablación presentó en el muestreo D1 20h correspondiente a Zoea II, cifra que superó ampliamente el 73,75 % que el sistema sin ablación registró en ese mismo punto crítico. En el muestreo D2 20h correspondiente a Zoea III, 62,50 % alcanzó el sistema con

ablación frente a los 59,25 % que el sistema sin ablación mantuvo, valores que las principales disminuciones de uniformidad dejaron en evidencia durante la transición hacia Zoea II y Zoea III.

El 100 % fue el valor que ambos sistemas alcanzaron en el último muestreo, consolidando así la convergencia total que la sincronía larval había ido recuperando hacia el final del seguimiento. Una uniformidad que había aumentado nuevamente en ambos sistemas posteriormente fue la que se reflejó en el muestreo D3 08h, momento en el cual el sistema con ablación presentó 97,00 % y el sistema sin ablación 98,25 %, cifras que dejaron entrever una recuperación progresiva desde las etapas de transición más críticas.

Figura 21

Uniformidad del periodo de muda durante el desarrollo larval temprano en los sistemas con ablación y sin ablación.



Nota. La uniformidad se mantuvo alta durante la mayor parte del seguimiento. Las reducciones más marcadas se presentaron durante las transiciones hacia Zoea II y Zoea III, sin diferencias estadísticamente significativas entre sistemas.

El umbral de significancia no fue alcanzado por el valor $p = 0,131$, cifra que se registró una vez aplicada la prueba de Wilcoxon pareada, método que se impuso como única alternativa

válida debido a que las diferencias pareadas no presentaron normalidad, condición que obligó a descartar cualquier procedimiento paramétrico. La conservación de la hipótesis nula para esta variable fue la consecuencia que el análisis estadístico de la uniformidad arrojó, al no haber evidenciado diferencias significativas entre los sistemas que permitieran discriminar entre el protocolo con ablación y el protocolo sin ablación.

8.2.4 Deformidad larval

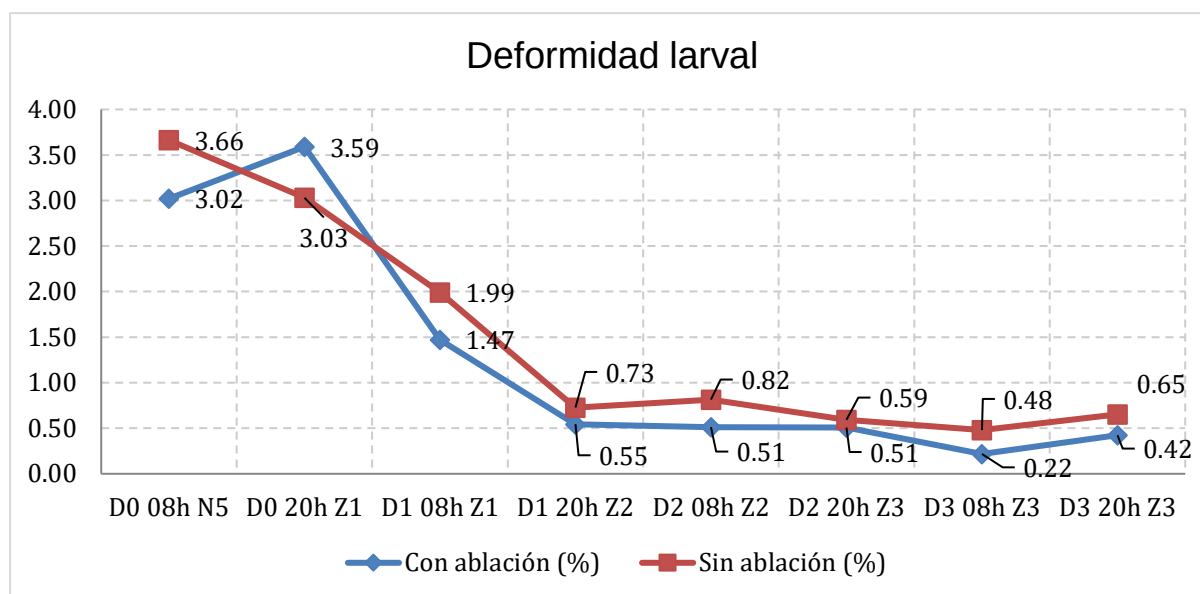
Las medias generales que se ubican por debajo del 2 % durante todo el periodo evaluado terminan por confirmar que la proporción de larvas deformes fue reducida tanto en el sistema con ablación como en el sistema sin ablación, circunstancia que consolidaba la conclusión de que la deformidad larval mantenía valores bajos en ambos tratamientos a lo largo del seguimiento.

Los valores más altos de deformidad fueron los que se presentaron durante los primeros muestreos, etapa en la cual el sistema con ablación registró una media de 3,02 % en N5 mientras que el sistema sin ablación presentaba 3,66 %, cifras que durante el muestreo D0 20h correspondiente a Zoea I se modificaron hasta alcanzar 3,59 % y 3,03 % respectivamente, momento desde el cual los valores irían disminuyendo progresivamente en ambos sistemas a partir de los muestreos posteriores.

El avance del desarrollo larval habría arrastrado consigo una reducción de la deformidad, tendencia que las fases Zoea II y Zoea III terminaron por confirmar cuando la deformidad se mantuvo en niveles bajos, concretamente en el muestreo D2 20h correspondiente a Zoea III donde el sistema con ablación presentó 0,51 % mientras que el sistema sin ablación registraba 0,59 %, valores que en el muestreo D3 08h descendieron hasta 0,22 % para el sistema con ablación y 0,48 % para el sistema sin ablación.

Figura 22

Deformidad larval durante el desarrollo temprano en los sistemas con ablación y sin ablación.



Nota. La deformidad larval fue baja en ambos sistemas y disminuyó conforme avanzó el desarrollo hacia Zoea III. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas.

La ausencia de diferencias significativas entre ambos sistemas en lo que respecta a la deformidad constituye el hallazgo central que emerge del análisis estadístico, resultado que se habría visto comprometido de no haberse procedido con la prueba de Wilcoxon pareada, la cual resultó indispensable en tanto que las diferencias pareadas incumplieron el supuesto de normalidad que habría exigido un enfoque paramétrico tradicional, de modo que, una vez aplicada esta prueba no paramétrica y obtenido un valor de $p = 0,103$, la hipótesis nula concerniente a esta variable no pudo ser rechazada, lo cual implica que no se dispone de evidencia estadística suficiente para afirmar que el sistema con ablación y el sistema sin ablación producen efectos distintos sobre la deformidad evaluada.

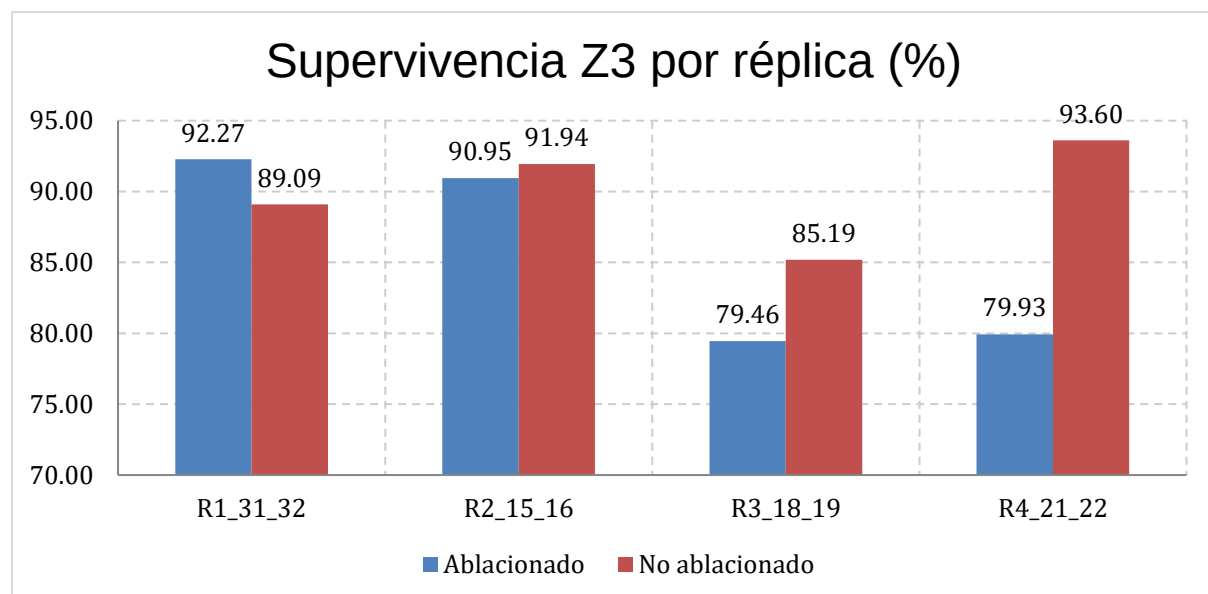
8.2.5 Supervivencia hasta Zoea III

Una ventaja descriptiva del sistema sin ablación para la variable de supervivencia hasta Zoea III se observa en la diferencia media de -4,30 puntos porcentuales, la cual derivaría de

una comparación entre medias que, si bien no alcanzaría a establecer inferencia causal sin pruebas adicionales, ya dejaría entrever un patrón consistente con condiciones de manejo más favorables en el tratamiento control, puesto que el sistema con ablación registró una media de 85,65 % en tanto que el sistema sin ablación alcanzó 89,96 %, cifra que, al superar al grupo experimental por un margen que oscilaría cerca del 5 %, podría interpretarse como indicio de que la integridad estructural del organismo preservaría mejor su homeostasis fisiológica durante las primeras fases ontogenéticas, aunque esta interpretación quedaría sujeta a futuros análisis que confirmen o refuten la significancia estadística de dicha separación numérica.

Figura 23

Supervivencia hasta Zoea III por réplica en los sistemas con ablación y sin ablación.



Nota. La supervivencia fue descriptivamente mayor en el sistema sin ablación, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.

La heterogeneidad interréplicas constituye el rasgo definitorio del comportamiento observado, puesto que ningún sistema exhibió superioridad sistemática en todos los casos examinados, aunque sí emergieron patrones diferenciales que condicionarían la interpretación global de los resultados. En las réplicas R3_18_19 y R4_21_22, el sistema sin ablación alcanzó valores de supervivencia que superaron consistentemente a su contraparte intervenida, lo cual

contrastaría marcadamente con lo registrado en R1_31_32, donde el sistema con ablación había obtenido un 92,27 % frente al 89,09 % del sistema intacto, diferencia que hubiera sugerido un efecto beneficioso de la manipulación experimental de no mediar la réplica R2_15_16, en la que ambos sistemas convergieron hacia resultados prácticamente indistinguibles (90,95 % versus 91,94 %), de modo que la variabilidad biológica o técnica inherente a cada réplica terminó por eclipsar cualquier tendencia generalizable sobre el impacto de la ablación en la supervivencia.

La ausencia de diferencia estadísticamente significativa entre ambos sistemas, reflejada en un valor de $p = 0,319$, constituyó el resultado central del análisis de supervivencia hasta Zoea III, el cual se había abordado mediante prueba t pareada porque las diferencias previamente observadas resultaban compatibles con la normalidad según lo indicado por la prueba de Shapiro-Wilk, de modo que la elección de este procedimiento paramétrico respondió a un cumplimiento de los supuestos distribucionales que, aunque no garantizaba por sí mismo la detección de efectos, permitiría una inferencia válida en tanto que la comparación pareada controlaría la variabilidad entre unidades experimentales relacionadas, condicionando así la interpretación de que ninguno de los dos sistemas evaluados mostraría ventaja consistente sobre el otro en términos de supervivencia larvaria hasta ese estadio de desarrollo.

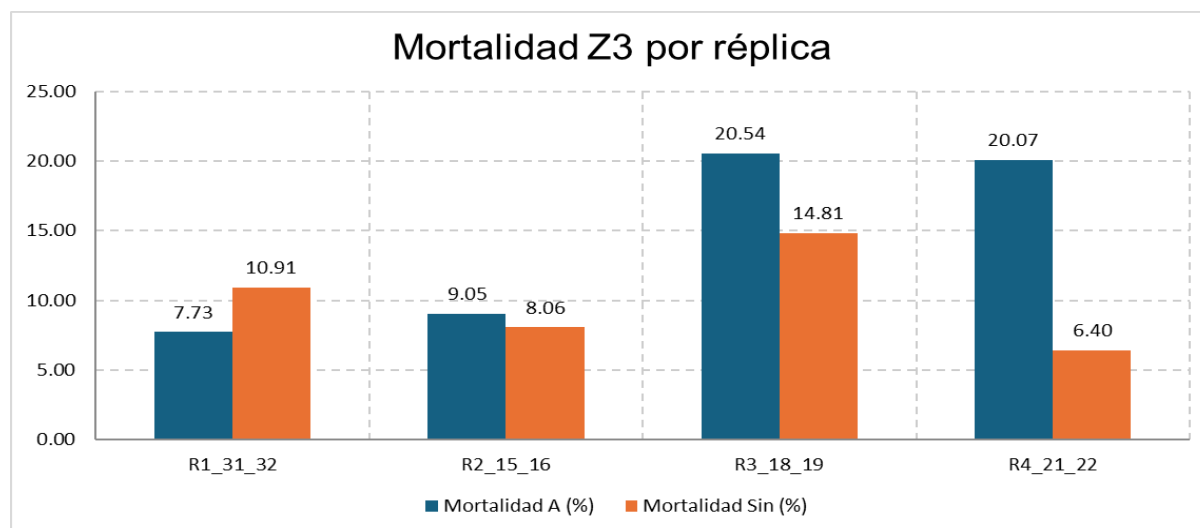
8.2.6 Mortalidad hasta Zoea III

Una divergencia de 4,30 puntos porcentuales en la mortalidad media constituye el resultado central que separa ambos sistemas experimentales, pues el tratamiento con ablación alcanzó un 14,35 % de pérdidas hasta Zoea III en tanto que el grupo sin intervención quirúrgica se situó en el 10,04 %, diferencia que, aunque podría atribuirse en parte al estrés manipulativo inherente a la mutilación del apéndice ocular, sugiere simultáneamente que la ausencia de este estímulo perturbador habría favorecido una mayor viabilidad larvaria, de modo que la ablación, lejos de constituir un procedimiento neutral, habría incrementado la susceptibilidad mortal

durante las primeras fases del desarrollo, lo cual deberá ponderarse en futuros diseños experimentales si se pretende evaluar el verdadero impacto de la condición eyestalk ablated sobre la fisiología reproductiva sin la confusión que introduce este efecto colateral sobre la supervivencia.

Figura 24

Mortalidad hasta Zoea III por réplica en los sistemas con ablación y sin ablación.



Nota. La mortalidad fue descriptivamente mayor en el sistema con ablación, aunque la diferencia entre sistemas no fue estadísticamente significativa.

La heterogeneidad de respuestas entre réplicas constituye el hallazgo central que desdibuja cualquier efecto sistemático atribuible a la ablación, pues mientras que en R1_31_32 se observaría una reducción aparentemente favorable de la mortalidad hasta el 7,73 % frente al 10,91 % del sistema intacto, en R4_21_22 esa misma intervención se invertiría drásticamente hasta generar el 20,07 % de mortalidad, es decir, más del triple que el 6,40 % registrado en su contraparte sin ablación, de modo que la paridad numérica encontrada en R2_15_16 (9,05 % versus 8,06 %) no funcionaría como punto de equilibrio sino como evidencia adicional de la inestabilidad del tratamiento, la cual quedaría aún más confirmada por el incremento de R3_18_19, donde la ablación nuevamente superaría al control, aunque con menor intensidad que en R4_21_22, sugiriendo que factores no controlados, posiblemente vinculados a la

variabilidad biológica inherente a cada réplica o a condiciones microambientales particulares, estarían modulando el resultado final con mayor peso que la propia manipulación experimental, de tal manera que la ablación no podría considerarse predictivamente confiable sin una caracterización previa de dichos moduladores contextuales.

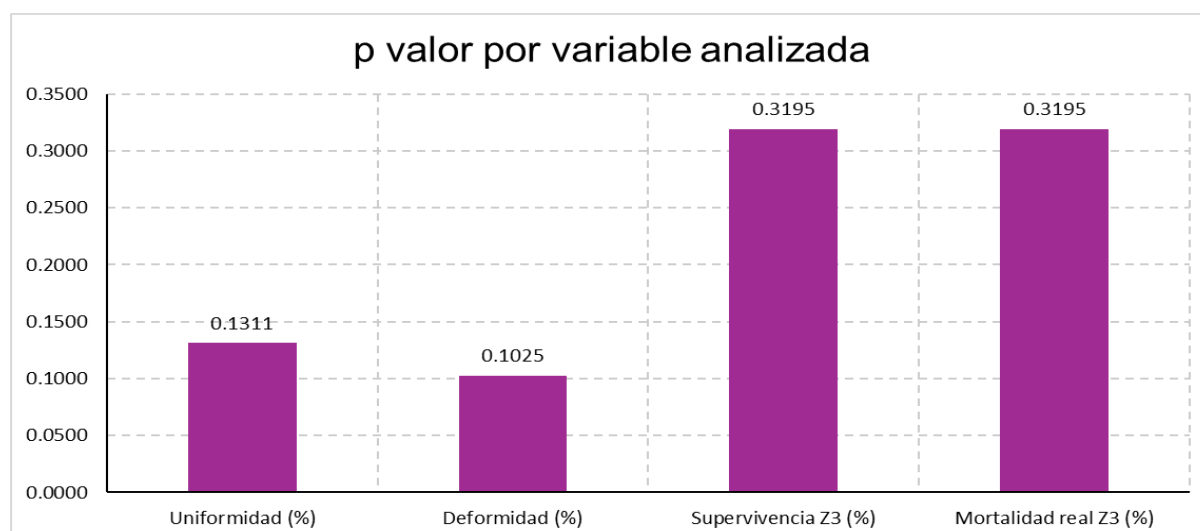
La ausencia de significancia estadística en la mortalidad, reflejada en un valor de $p = 0,319$ obtenido mediante prueba t pareada, constituye el hallazgo central que enmarca cualquier interpretación posterior, aunque esta conclusión metodológica no debe oscurecer que una diferencia descriptiva entre sistemas operó efectivamente durante el periodo evaluado sin alcanzar, no obstante, el umbral convencional de rechazo de la hipótesis nula, de modo que lo que estadísticamente permanece como una no diferencia podría, en tanto que patrón observable pero no confirmable, insinuar procesos biológicos o de manejo que futuros diseños experimentales, con mayor potencia o diferentes ventanas temporales, lograrían eventualmente discriminar con la rigurosidad que la prueba actual no consiguió otorgar.

8.2.7 Análisis estadístico y contraste de hipótesis en larvicultura

La ausencia de efectos diferenciales atribuibles a la intervención quirúrgica constituye el hallazgo central que emerge del contraste estadístico entre ambos sistemas experimentales, pues ninguna de las variables larvales evaluadas alcanzó el umbral de significancia fijado en $\alpha = 0,05$, de modo que la uniformidad del periodo de muda arrojó un valor $p = 0,131$, la deformidad larval registró $p = 0,103$, mientras que tanto la supervivencia hasta Zoea III como la mortalidad real hasta ese mismo estadio larval compartieron idéntico valor $p = 0,319$, cifras que, al situarse todas ellas por encima del nivel crítico establecido, habrán de interpretarse como indicadoras de una equivalencia funcional entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación que no podría haberse anticipado si la manipulación hubiera inducido alteraciones fisiológicas de magnitud relevante.

Figura 25

Valores p del análisis estadístico de las variables larvales evaluadas.



Nota. Todas las variables larvales presentaron valores p superiores a 0,05, por lo que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.

La ausencia de diferencias estadísticamente significativas en uniformidad del periodo de muda, deformidad larval, supervivencia y mortalidad real durante el seguimiento hasta Zoea III constituye el hallazgo central que deriva de la no rechazo de la hipótesis nula para las variables larvales evaluadas, lo cual sugeriría que el uso de la ablación en el origen de los reproductores no habría modificado sustancialmente los parámetros de desarrollo larval en el periodo examinado, aunque esta conclusión quedaría sujeta a las limitaciones propias del diseño experimental y al intervalo temporal considerado, en tanto que periodos más prolongados o condiciones ambientales distintas podrían revelar efectos diferenciales que no fueron detectables en el marco del presente estudio.

La interpretación del desempeño larval se realizó principalmente mediante supervivencia y mortalidad porcentual, indicadores que permiten relacionar la población final con la población inicial de cada tanque, aunque la producción final de Zoea III hubiera podido ofrecer una perspectiva adicional, esta variable no fue considerada como indicador principal

de comparación, debido a que la cantidad inicial de nauplios sembrados no fue igual en todos los tanques, de modo que, mientras que en algunos recipientes la variación entre réplicas podría reflejar diferencias reales en la calidad del cultivo, en otros simplemente respondería a densidades de siembra disímiles, circunstancia que habría distorsionado cualquier análisis basado en producción absoluta, en tanto que los porcentajes de supervivencia, al estar normalizados respecto a cada población inicial, ofrecían una base estandarizada que resultaba más robusta para evaluar el verdadero desempeño del sistema de cultivo larval.

La ausencia de significancia estadística en las diferencias observadas entre ambos sistemas, que obliga a interpretarlas únicamente como tendencias descriptivas del periodo evaluado, no impide reconocer ciertos patrones que emergen del análisis comparativo, puesto que el sistema con ablación exhibió una media ligeramente superior en uniformidad junto con una media algo menor de deformidad larval, mientras que el sistema sin ablación mostraría, por su parte, una media más elevada de supervivencia hasta Zoea III acompañada de una menor mortalidad real, configurando así un panorama en el que cada condición experimental parecería favorecer distintos indicadores de calidad larval sin que ninguno alcanzara, no obstante, una superioridad demostrable desde el punto de vista inferencial.

La ausencia de un efecto estadísticamente significativo de la ablación sobre los indicadores larvales evaluados constituye el hallazgo central de la fase de larvicultura, en tanto que ambos sistemas, con y sin ablación, permitieron el desarrollo larval temprano hasta Zoea III con niveles altos de uniformidad, baja deformidad y supervivencias superiores al 85%, lo cual contrasta marcadamente con lo registrado en la etapa de maduración, donde el sistema con ablación había presentado una ventaja productiva absoluta, de modo que la condición fisiológica de las hembras, aunque determinante para la fecundidad y calidad de los huevos, no generaría diferencias en el desempeño de las larvas una vez iniciado el cultivo, porque los parámetros ambientales controlados y la disponibilidad de alimento en esta fase podrían estar

atenuando cualquier efecto residual de la manipulación de las reproductoras, mientras que la robustez inherente al desarrollo larval temprano operaría como un buffer frente a las variaciones en el origen de los postlarvos.

9. DISCUSIÓN

9.1 Interpretación general del efecto de la ablación

El rendimiento reproductivo absoluto en maduración y el desempeño larval temprano hasta Zoea III fueron los dos niveles complementarios desde los cuales los resultados obtenidos permitieron interpretar el efecto de la ablación. Una oferta continua de náuplios en condiciones comerciales, sostenida mediante la función histórica de la ablación como herramienta para inducir la maduración ovárica, fue lo que la respuesta del sistema con ablación terminó por respaldar, y esto agravó la consolidación de esta práctica en la industria, pues la ventaja productiva clara expresada en mayor número de cópulas registradas, desoves válidos y náuplios despachables quedó documentada durante la fase de maduración (Albalat et al., 2022; Hidir et al., 2025).

La condición fisiológica de las hembras, la calidad de los huevos y la presión reproductiva acumulada fueron factores que posiblemente explicaron por qué algunos indicadores relativos de eficiencia respondieron de manera distinta, mientras que el efecto de la ablación se expresaba principalmente sobre la frecuencia y volumen productivo. Una mejora uniforme de todos los indicadores reproductivos no debe ser interpretada como consecuencia del incremento de producción absoluta, y esto agravó las cautelas necesarias al evaluar el sistema, pues valores superiores en fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables y náuplio por hembra fueron los que el sistema sin ablación alcanzó según los resultados mostrados.

9.2 Rendimiento reproductivo en maduración

La maduración ovárica y la ocurrencia de desoves en cautiverio, favorecidas por la reducción de la acción inhibitoria que el complejo órgano X-glándula del seno ejerce sobre la vitelogénesis, fueron procesos que la ablación del pedúnculo ocular activó, y esto agravó la coincidencia entre la superioridad del sistema con ablación en cópulas registradas y desoves

válidos y la base fisiológica de esta práctica. Procesos endocrinos, metabólicos e inmunológicos asociados al equilibrio fisiológico de las hembras reproductoras fueron modificados también por esta intervención, aunque estudios previos la hayan descrito principalmente como aceleradora de la maduración gonadal (Sainz-Hernández et al., 2008; López-Galindo et al., 2023).

El principal argumento para aceptar la hipótesis alternativa en maduración fue constituido por el aumento de náuplios despachables en el sistema con ablación, diferencia que desde una perspectiva productiva representó una ventaja relevante. Una mayor continuidad operativa, mejor capacidad de planificación y mayor seguridad en el abastecimiento de la fase larval fueron traducciones posibles de esta diferencia en sistemas comerciales de alta demanda, contexto en el cual los aproximados 22,4 % a favor del sistema ablacionado adquieren valor estratégico para el laboratorio que requiere mantener disponibilidad constante de nauplios.

Una eficiencia relativa mayor en determinados parámetros fue lo que las hembras no ablacionadas mostraron, aunque no superaran al sistema con ablación en volumen total, y esto agravó la necesidad de matizar la interpretación mediante indicadores relativos. La producción útil proporcionalmente superior por cada desove válido, reflejada en el mayor valor de náuplio por hembra del sistema sin ablación, sugiere que la productividad del sistema ablacionado depende más del incremento en la frecuencia de eventos reproductivos que de una mejora individual del rendimiento por hembra desovada.

9.3 Fertilidad, viabilidad y huevos sobrantes

La calidad del huevo, el estado fisiológico de la hembra, la nutrición reproductiva y la sincronía entre maduración ovárica, cópula y desove fueron factores biológicos con los que la fertilidad y la viabilidad naupliar se relacionan, y esto agravó la interpretación de por qué la mayor producción del sistema con ablación no estuvo acompañada por una superioridad

equivalente en la conversión reproductiva. Una diferencia numéricamente reducida en el caso de la viabilidad fue la que acompañó la superioridad de la fertilidad/eclosión y el porcentaje de náuplios viables en el sistema sin ablación, comportamiento que resultó importante al mostrar que el volumen absoluto no garantiza eficiencia proporcional.

Una proporción mayor de huevos remanentes después del proceso de eclosión fue lo que el sistema ablacionado presentó, aunque produjera más náuplios despachables en términos absolutos, y esto agravó la lectura que el mayor porcentaje de huevos sobrantes terminó por reforzar. Análisis adicionales de calidad ovocitaria, composición bioquímica y condición fisiológica de las hembras serían necesarios para confirmar el mecanismo, pues el resultado sugiere que el incremento de la actividad reproductiva pudo estar acompañado por una menor eficiencia de conversión del material reproductivo en náuplios aprovechables, sin demostrar por sí solo una causa fisiológica específica.

La interpretación más sólida de que la ablación incrementó la producción absoluta pero no optimizó todos los indicadores de eficiencia reproductiva fue respaldada por hallazgos que coinciden con la discusión actual sobre la ablación en crustáceos peneidos, y esto agravó la cautela con la que debe leerse el rendimiento del sistema. Desequilibrios asociados al estrés, metabolismo energético y regulación hormonal, factores que podrían influir en la calidad reproductiva bajo determinadas condiciones de manejo, fueron señalados por la literatura reciente como posibles costos fisiológicos de una práctica cuya capacidad para inducir maduración y desove es reconocida (Albalat et al., 2022; López-Galindo et al., 2023).

9.4 Mortalidad de hembras y condición reproductiva

La separación del efecto productivo de la ablación de una posible pérdida directa de hembras reproductoras en el intervalo analizado fue permitida por un resultado relevante, y esto agravó la interpretación de los datos cuando otras variables mostraban comportamientos

distintos. Una supervivencia similar entre sistemas fue la que se mantuvo bajo las condiciones de manejo del laboratorio, aun cuando otros indicadores reproductivos mostraron diferencias marcadas, similitud que indica que durante el periodo evaluado la ablación no se asoció con un aumento detectable de la mortalidad relativa.

Las alteraciones subletales asociadas al estrés, metabolismo o capacidad de recuperación pueden no reflejarse en la mortalidad, indicador final y relativamente grueso, y esto agravó la necesidad de complementar la evaluación con otros marcadores. Indicadores fisiológicos, conductuales e inmunológicos fueron recomendados por estudios recientes para integrarse en la evaluación de bienestar y desempeño reproductivo, debido a que la respuesta al manejo puede manifestarse antes de que ocurra mortalidad evidente, circunstancia que la ausencia de diferencias estadísticas en mortalidad no logró descartar como impacto fisiológico latente (Albalat et al., 2022; Wahltinez et al., 2022; Pedrazzani et al., 2023).

9.5 Desempeño larval hasta Zoea III

Un desarrollo temprano adecuado en ambos sistemas fue lo que la uniformidad del periodo de muda, la deformidad larval, la supervivencia hasta Zoea III y la mortalidad real mostraron, y esto agravó la dificultad para discriminar entre tratamientos en esta fase. Un efecto estadísticamente detectable sobre el desempeño larval hasta Zoea III no fue producido por el origen de los nauplios, según sugiere el resultado obtenido bajo las condiciones de manejo evaluadas, en las cuales las variables no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación.

La información útil para futuras evaluaciones con mayor número de réplicas y seguimiento larval más prolongado fue aportada por tendencias descriptivas que deben ser consideradas con cautela, a pesar de que no permitan afirmar una ventaja concluyente de un sistema sobre otro en larvicultura. Una uniformidad ligeramente superior y una deformidad

ligeramente menor fueron presentadas por el sistema con ablación, mientras que una supervivencia media superior y una mortalidad real menor fueron registradas por el sistema sin ablación, diferencias que no alcanzaron significancia estadística.

Una comparación más justa del desempeño larval entre sistemas fue ofrecida por el uso de indicadores proporcionales, decisión metodológicamente adecuada que permitió relacionar el resultado final con la población inicial de cada unidad experimental. Interpretaciones engañosas podrían haberse generado al comparar únicamente la población final de Zoea III, y esto agravó la necesidad de priorizar supervivencia y mortalidad porcentual, dado que la cantidad inicial de nauplios sembrados varió entre tanques.

9.6 Relación entre maduración y larvicultura

La maduración ovárica, la frecuencia de desoves y la disponibilidad de náuplios fueron los campos donde el efecto inmediato de la ablación se expresó, y esto agravó la claridad con la que la técnica mostró su acción directa sobre la regulación endocrina de la hembra reproductora. Factores posteriores como manejo del tanque, alimentación, calidad de agua y condiciones sanitarias fueron los que también condicionaron la supervivencia y uniformidad larval, diferencia que resulta coherente con la naturaleza de la técnica al integrar los resultados de maduración y larvicultura, pues el efecto de la ablación fue más evidente en la fase reproductiva que en el desarrollo larval temprano.

Una mejora o deterioro estadísticamente detectable del desarrollo larval hasta Zoea III no se tradujo durante el periodo evaluado, a pesar del incremento de náuplios despachables que el sistema con ablación generó, y esto agravó la necesidad de separar ambas dimensiones. La ventaja productiva observada en maduración no fue contradicha por la ausencia de diferencias larvales significativas, sino que más bien indicó que la productividad de maduración no debe

interpretarse como equivalente directo de calidad larval, evaluación que en sistemas acuícolas debe ser integrada pero no intercambiable.

9.7 Implicaciones productivas y sostenibilidad del sistema

La continuidad del abastecimiento de semilla, componente estratégico en una industria como la camaronera ecuatoriana, fue la que hizo que la ventaja de la ablación no pudiera ser subestimada desde el punto de vista productivo, y esto agravó la persistencia de esta práctica en condiciones comerciales. Eficiencia reproductiva, calidad biológica y sostenibilidad del manejo fueron criterios que la discusión actual sobre acuicultura responsable exige considerar, más allá del volumen absoluto, al evaluar el rendimiento de los sistemas de cría (FAO, 2024; Albalat et al., 2022).

Los mejores valores en ciertos indicadores relativos fueron los que el sistema sin ablación mostró, mientras que la superioridad en producción absoluta correspondió al sistema con ablación, patrón que no justifica una lectura simplista a favor o en contra de la ablación. Condiciones específicas de genética, nutrición, acondicionamiento y manejo reproductivo fueron las que reportes recientes señalan como necesarias para que la producción sin ablación sea viable, aunque su adopción dependa de la capacidad del laboratorio para sostener productividad, estabilidad y costos operativos aceptables (Hoang & Nguyen, 2025).

Un proceso técnico gradual, más que una sustitución inmediata, debería ser la forma en que la transición hacia sistemas con menor dependencia de la ablación se plantee, y esto agravó la inversión requerida en investigación aplicada. Líneas genéticas adaptadas a maduración sin ablación, dietas reproductivas optimizadas, protocolos de preacondicionamiento mejorados y la evaluación de la longevidad productiva de las hembras fueron elementos que se requieren fortalecer para construir un modelo reproductivo capaz de mantener productividad, calidad

larval y bienestar animal de forma simultánea, en lugar de limitar la sostenibilidad a la reducción de una práctica cuestionada.

9.8 Limitaciones y proyecciones de la investigación

Las variaciones operativas inevitables, propias de los sistemas comerciales, fueron las que introdujeron limitaciones asociadas al control experimental, y esto agravó la necesidad de interpretar con cautela los resultados obtenidos bajo condiciones reales de producción, contexto que a su vez incrementó la aplicabilidad práctica del estudio. La respuesta productiva observada en maduración pudo haber sido influenciada por factores como composición de lotes, manejo diario, condición individual de reproductores y dinámica de salas, a pesar de que el análisis pareado permitiera reducir parte de la variabilidad temporal.

Las fases posteriores como mysis, postlarva, nursery o engorde pudieron albergar efectos que los resultados no permiten descartar, y esto agravó las restricciones impuestas por un seguimiento que se concentró hasta Zoea III con un número de réplicas limitado en larvicultura. Análisis bioquímicos de huevos y nauplios, marcadores de estrés oxidativo, respuesta inmune y pruebas de desafío sanitario fueron elementos que el estudio no incluyó, componentes valiosos para comprender si las diferencias relativas observadas en maduración tienen implicaciones biológicas más profundas en la progenie.

Los indicadores fisiológicos de hembras, huevos y larvas, junto con la extensión del seguimiento hasta postlarva y el aumento del número de réplicas, fueron aspectos que futuras investigaciones deberían incorporar, y esto agravó la agenda de investigación pendiente. Producción total, longevidad reproductiva, reemplazo de hembras, costos de manejo y rendimiento larval acumulado fueron variables que un análisis económico pertinente debería considerar, enfoque que permitiría determinar si las ventajas productivas de la ablación

compensan sus posibles costos biológicos y éticos, o si los sistemas sin ablación pueden alcanzar una eficiencia competitiva bajo protocolos optimizados.

9.9 Síntesis de la discusión

Los mejores valores relativos de fertilidad/eclosión, viabilidad naupliar y náuplio por hembra fueron los que el sistema sin ablación presentó, y esto agravó la necesidad de matizar la conclusión cuando la eficiencia reproductiva se evaluó en su conjunto. El respaldo a la hipótesis alternativa para las variables productivas de maduración, pero no para todos los componentes de eficiencia reproductiva, fue lo que el incremento absoluto del rendimiento por el aumento de cópulas, desoves válidos y náuplios despachables terminó por generar, efecto que no fue uniforme en todos los indicadores.

Un desarrollo larval temprano adecuado bajo las condiciones evaluadas fue lo que ambos tratamientos permitieron, y esto agravó la dificultad para discriminar entre protocolos en esta fase, pues diferencias estadísticamente significativas entre sistemas hasta Zoea III no se evidenciaron en larvicultura. La decisión productiva debe considerar simultáneamente volumen, eficiencia, bienestar animal y sostenibilidad del sistema acuícola, criterios que en conjunto demuestran que la ablación fue ventajosa para maximizar producción absoluta en maduración, aunque su efecto sobre calidad larval temprana no haya resultado concluyente.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema con ablación presentó un mayor rendimiento productivo absoluto durante la fase de maduración de *Penaeus vannamei*. Esta respuesta se evidenció principalmente en el incremento de cópulas registradas, desoves válidos y náuplios despachables, variables que representan indicadores directos de productividad dentro del sistema de cultivo evaluado.

La producción total de náuplios despachables fue superior en el sistema con ablación, especialmente durante los meses de mayo y junio. Este comportamiento respalda la hipótesis alternativa planteada para las variables productivas de maduración, ya que la ablación estuvo asociada con un incremento significativo de la producción absoluta en condiciones reales de laboratorio.

No obstante, el sistema sin ablación presentó mejores valores en indicadores relativos de eficiencia reproductiva, como fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables y náuplio por hembra. Estos resultados indican que la mayor producción del sistema con ablación no necesariamente estuvo acompañada por una mejora proporcional en todos los componentes de calidad reproductiva evaluados.

La mortalidad de hembras no presentó diferencias estadísticamente significativas entre sistemas, lo que sugiere que, durante el periodo de estudio, la mortalidad relativa fue similar entre hembras ablacionadas y no ablacionadas. Sin embargo, el mayor porcentaje de huevos sobrantes registrado en el sistema con ablación evidencia la necesidad de interpretar la productividad junto con variables de eficiencia y aprovechamiento reproductivo.

En larvicultura, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas con ablación y sin ablación para uniformidad del periodo de muda, deformidad larval, supervivencia ni mortalidad hasta Zoea III. Por tanto, la ablación mostró un efecto claro sobre la producción absoluta en maduración, pero no generó diferencias significativas en los indicadores larvales evaluados durante el desarrollo temprano hasta Zoea III.

10. CONCLUSIONES

El análisis conjunto de indicadores absolutos y relativos es el único mecanismo que garantiza una lectura precisa del desempeño del sistema, y esto agravó la insuficiencia de los protocolos tradicionales que priorizan exclusivamente el volumen total de náuplios despachados. Comportamientos distintos entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación fueron capturados por variables como la fertilidad/eclosión, el porcentaje de náuplios viables, los huevos sobrantes y el náuplio por hembra, magnitudes que la producción absoluta no logró reflejar. Una distorsión sistemática en la interpretación del rendimiento reproductivo se produce cuando únicamente el volumen numérico guía la evaluación, circunstancia que obliga a incorporar de manera obligatoria los indicadores relativos de eficiencia en los protocolos de los laboratorios de maduración.

Efectos tardíos o de menor magnitud pudieron haber pasado inadvertidos durante el presente estudio, limitación que se originó en el número reducido de réplicas y en el seguimiento concentrado hasta Zoea III. La detección de diferencias sutiles entre sistemas en variables como supervivencia, mortalidad, uniformidad de muda y deformidad larval quedó comprometida, y esto agravó la necesidad de condiciones más robustas para el análisis estadístico. Una capacidad de discriminación más sólida habría requerido la ampliación del periodo de evaluación y el aumento de unidades experimentales en la fase de larvicultura, estrategia que permitiría fortalecer la rigurosidad del diseño, aunque el estudio actual haya sido funcional bajo las condiciones operativas del laboratorio.

La dificultad para establecer causalidades directas entre el tratamiento aplicado en maduración y la respuesta observada en el desarrollo temprano fue una consecuencia que el presente estudio no pudo evitar, y esto agravó la fragmentación de la comprensión entre ambas fases. La trazabilidad completa, que vincula cada lote larval con su origen reproductivo específico, no se consolidó en su totalidad, debido a que los registros de maduración y

larvicultura operaron de manera aislada. Una conexión documental continua entre ambas etapas es lo que los protocolos futuros deberían incorporar de manera sistemática, integración que permitiría comprender la relación entre la condición fisiológica de las hembras reproductoras y el desempeño posterior de la progenie.

Un diagnóstico más integral queda pendiente para estudios posteriores, y esto agravó la limitación del presente trabajo, cuyo diseño experimental se centró en indicadores productivos sin incorporar evaluaciones bioquímicas ni fisiológicas. Los mecanismos subyacentes a las diferencias observadas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación no pudieron ser desentrañados con la profundidad deseada, porque la condición nutricional de los reproductores, sus reservas energéticas, la calidad bioquímica de los huevos y la respuesta al estrés oxidativo permanecieron fuera del alcance del análisis. La explicación causal de los resultados queda limitada por estas ausencias, vacíos que futuras investigaciones deberían cubrir mediante la inclusión sistemática de dichas variables.

La lógica productivista tradicional debe ser sustituida por una evidencia científica integral cuando los laboratorios de maduración enfrenten la decisión de mantener o transitar hacia modelos reproductivos alternativos. Un proceso gradual de transición hacia sistemas sin ablación es lo que debería concebirse, postura que se fortalece porque los sistemas sin ablación, aunque no alcanzaron la misma cifra total de náuplios despachables, mostraron ventajas en indicadores relativos que merecen evaluación progresiva. La eficiencia reproductiva, el bienestar animal y la sostenibilidad del sistema deben ser ponderadas con igual peso que la producción absoluta, y esto agravó la insuficiencia de un criterio exclusivamente volumétrico, insuficiencia que el presente estudio termina por cuestionar de manera explícita.

11. RECOMENDACIONES

El desempeño del sistema y la precisión con la que se interpreta quedan comprometidos cuando únicamente la producción absoluta guía la evaluación, y esto agravó la necesidad de que los laboratorios de maduración incorporen indicadores relativos de eficiencia reproductiva. Variables como fertilidad/eclosión, porcentaje de náuplios viables, huevos sobrantes y náuplio por hembra permiten evitar conclusiones basadas únicamente en producción absoluta, criterios que deben ser considerados junto al volumen total de náuplios.

La capacidad estadística del análisis requiere fortalecerse mediante la ampliación del periodo de evaluación y el aumento del número de réplicas en larvicultura, estrategia que permitiría detectar con mayor precisión diferencias sutiles entre sistemas. Un mayor número de unidades experimentales, especialmente en variables como supervivencia, mortalidad, uniformidad de muda y deformidad larval, sería lo que se sugiere implementar con el fin de consolidar la rigurosidad del estudio.

La trazabilidad entre la condición de las hembras, el rendimiento de los desoves, la calidad naupliar y el desarrollo larval temprano queda garantizada cuando cada lote larval puede relacionarse con su origen reproductivo, vínculo que se logra mediante registros productivos integrados entre maduración y larvicultura. La comprensión de esta relación depende de mantener una conexión documental entre ambas fases, recomendación que los protocolos deberían incorporar de manera sistemática.

La explicación de las diferencias observadas entre sistemas con ablación y sin ablación alcanzaría mayor profundidad si futuros estudios complementaran su diseño con variables fisiológicas y bioquímicas, tanto de los reproductores como de la progenie. Condición nutricional, reservas energéticas, calidad de huevos y respuesta al estrés fueron indicadores que

se aconseja incluir, componentes que permitirían desentrañar los mecanismos subyacentes a las respuestas productivas.

Un enfoque productivista exclusivo resulta insuficiente cuando la comparación entre sistemas busca integrar eficiencia, bienestar animal y sostenibilidad, y esto agravó la recomendación de que los sistemas sin ablación sean considerados dentro de evaluaciones productivas progresivas. Aunque la ablación incrementó la producción absoluta en maduración, los resultados obtenidos muestran que la decisión final debe realizarse con un criterio integral que trascienda el volumen numérico.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Aziz, Yasmin & Freez, Merna & El-Rasul, Tasbeeh & El-Sayed, Nada & Abdelhamed, Tasneem & Alkhedr, Basant & Elsayed, Salma & El, Noura & Abu Almaaty, Ali. (2023). Valuation Bio-Impacts of Different Doses for *Bacillus Subtilis* on Growth Rates, Some Tissues and Genes of the Shrimp *LitoPenaeus vannamei*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 27. 399-419. <https://doi.org/10.21608/EJABF.2023.302084>
- Albalat, A., Zacarias, S., Coates, C. J., Neil, D. M., & Rey, S. (2022). Welfare in Farmed Decapod Crustaceans, With Particular Reference to *Penaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.886024>
- Alfaro-Montoya, J., Braga, A., & Umaña-Castro, R. (2018). Research frontiers in penaeid shrimp reproduction: Future trends to improve commercial production. *Aquaculture*, 503, 70–87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.068>
- Alvarado-Barrera, L., Félix-Zambrano, M. V., Zambrano-Sánchez, R., & Chávez- Naranjo, M. (2024). Exportación del camarón y su impacto a la economía ecuatoriana en el periodo 2019-2023. 593 *Digital Publisher CEIT*, 9(5), 190–199. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.5.2581>
- Anaguano-Quijia, M. D., & Falquez, Y. L. P. (2025). Efecto de *Artemia* sp. enriquecida con ácidos grasos sobre el rendimiento de postlarvas de *Penaeus vannamei*. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17095836>
- Anand, P. S. S., Balasubramanian, C. P., Aravind, R., Biju, I. F., Rajan, R. V., Vinay, T. N., Panigrahi, A., Sudheer, N. S., Rajamanickam, S., Kumar, S., Antony, J., Ambasankar, K., Jithendran, K. P., & Vijayan, K. K. (2023). Reproductive performance of captive-reared Indian white shrimp, *Penaeus indicus*, broodstocks over two generations. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1101806>
- Aparna, Y., Banafsha, S. H., & Reddy, M. S. (2023). Efficacy of probiotics and biofloc system in maintenance of water quality and growth performance in shrimp *Penaeus vannamei*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 11(6), 7–20. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i6a.2873>

- Aquino, J. I. L., Elliott, L., Zeng, C., & Paris, D. B. B. P. (2021). Recent developments in male fertility evaluation, sperm cryopreservation and artificial fertilisation, and their potential application to decapod crustacean aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 848–889. <https://doi.org/10.1111/raq.12627>
- Arbon, P., Martinez, M. A., Jerry, D. R., & Condon, K. (2023). Towards a ‘systems’ approach for viral challenge experiments in shrimp: Reporting guidelines for publication. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 923–941. <https://doi.org/10.1111/raq.12877>
- Ariadi, H., Azril, Muh., & Mujtahidah, T. (2023). Water Quality Fluctuations in Shrimp Ponds During Dry and Rainy Seasons. *Croatian Journal of Fisheries*, 81(3), 127–137. <https://doi.org/10.2478/cjf-2023-0014>
- Asencio, F. (2025). Análisis de la producción de nauplios en laboratorios de maduración de *Penaeus vannamei* con y sin ablación del pedúnculo ocular en Ecuador. Informe Técnico. Industrial Pesquera Santa Priscila S.A., Guayaquil, Ecuador.
- Ashour, M., Mabrouk, M. M., Mansour, A. I. A., Abdelhamid, A., Kader, M. F. A., Elokaby, M. A., El-Nawsany, M. M., Abdel-Warith, A. A., Younis, E. M., Davies, S. J., El-Haroun, E., & Naiel, M. A. E. (2024). Impact of dietary administration of *Arthrospira platensis* free-lipid biomass on growth performance, body composition, redox status, immune responses, and some related genes of pacific whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei*. *PLoS ONE*, 19(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300748>
- Balderas-González, V., Ponce-Rivas, E., Díaz, F., Camacho-Jiménez, L., Sánchez-Castrejón, E., & Aguilar, M. B. (2023). Metabolic and osmoionic effects of the recombinant crustacean hyperglycemic hormone (rCHH-A) of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* on specimens acutely exposed to extreme salinities. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2), 248–267. <https://doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2967>
- Barral-Pintos, X., Arévalo, M., Escalante, K., Arenas, M., Morones, R., Velazquez, E., & Gaxiola, G. (2023). Sperm quality of *Penaeus vannamei* fed fresh or experimental food in two culture systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(2). <https://doi.org/10.1111/jwas.13025>

- Baudet, J., Xuereb, B., Schaal, G., Rollin, M., Poret, A., Jeunet, L., Jaffrézic, E., Duflot, A., Charles, T., Foll, F. L., & Coulaud, R. (2024). Combined effects of temperature and diet on the performance of larvae produced by young and old *Palaemon serratus* females. *Journal of Thermal Biology*, 119, 103796. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103796>
- Bauer, R. T. (1986). Phylogenetic trends in sperm transfer and storage complexity in decapod crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 6(3), 313–325. <https://doi.org/10.2307/1548173>
- Bermudes-Lizárraga, J. F., Nieves-Soto, M., Medina-Jasso, M. A., Román-Reyes, J. C., Flores-Campaña, L. M., Ortega-Salas, A. A., & Piña-Valdéz, P. (2017). Efecto de la temperatura y salinidad en el crecimiento larval de *Penaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 611–615. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000300016>
- Calado, R., Freitas, E., Vercesi, K., Hayd, L., Ricardo, F., & Domingues, M. R. (2022). Nutritional stress legacy in the shrimp *Palaemon varians* and its implications for aquaculture production. *Aquaculture Reports*, 25, 101195–101195. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101195>
- Briggs, M., Funge-Smith, S., Subasinghe, R., & Phillips, M. (2004). Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, RAP Publication 2004/10, Bangkok.
- Castillo-Juárez, H., Campos-Montes, G. R., Caballero-Zamora, A., & Montaldo, H. H. (2015). Genetic improvement of Pacific white shrimp [*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*]: perspectives for genomic selection. *Frontiers in Genetics*, 6, 93. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00093>
- Chamberlain, G. W., & Lawrence, A. L. (1981). Effect of light intensity and male and female eyestalk ablation on reproduction of *Penaeus stylirostris* and *P. vannamei*. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(2), 357–372. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1981.tb00273.x>
- Callac, N., Boulo, V., Giraud, C., Beauvais, M., Ansquer, D., Ballan, V., Maillez, J.-R., Wabete, N., & Pham, D. (2022). Microbiota of the Rearing Water of *Penaeus stylirostris* Larvae Influenced by Lagoon Seawater and

Specific Key Microbial Lineages of Larval Stage and Survival. *Microbiology Spectrum*, 10(6). <https://doi.org/10.1128/spectrum.04241-22>

Callac, N., Wabete, N., Giraud, C., Perez, V., Ansquer, D., Lam, J.-S., Pham, D., & Boulo, V. (2025). Keystone active bacterial lineages associated with *Penaeus stylirostris* shrimp health across larvae stages. *PLoS ONE*, 20(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0335417>

Camppli, G., Volovych, O., Kim, K. M., Veldsman, W. P., Drage, H. B., Sheizaf, I., Lynch, S., Chipman, A. D., Daley, A. C., Robinson-Rechavi, M., & Waterhouse, R. M. (2024). The moulting arthropod: a complete genetic toolkit review. *Biological Reviews/Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 99(6), 2338–2375. <https://doi.org/10.1111/brv.13123>

Castillo-Ochoa, B. del C., & Velásquez-López, P. C. (2021). Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador. *Sociedad & Tecnología*, 4(3), 447–461. <https://doi.org/10.51247/st.v4i3.151>

Cavalheiro, T. B., Carvajal, J. C. L., Lucena, R. F. P. de, Nascimento, C. V. C. do, & Ribeiro, T. T. B. C. (2022). Water parameters correlated with the zootechnical performance of shrimp *Penaeus vannamei* grown in oligohaline waters. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 45. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.57700>

Chan, S.-F., Wang, W., Shi, L., Liu, J., Zhou, T., Wang, C.-Y., & Amankwah, B. K. (2019). Eyestalk Ablation, a Prerequisite for Crustacean Reproduction: A review [Review of Eyestalk Ablation, a Prerequisite for Crustacean Reproduction: A review]. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 71. <https://doi.org/10.46989/001c.20990>

Chan, T. (2023). New subgeneric names for the most commercially important shrimp genus *Penaeus* Fabricius, 1798 (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *ZooKeys*, 1141, 29–40. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1141.97349>

Chen, Y., Yang, Z., Sun, X., Bai, S., Feng, G.-D., Du, Y., Blake, D. A., Hu, J., Bao, Z., Sun, Y., & Qu, Z. (2026). Deciphering the sexually dimorphic endocrine regulatory network of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) after unilateral eyestalk ablation. *Marine Life Science & Technology*. <https://doi.org/10.1007/s42995-025-00347-0>

Chien, A., Cheng, Y. C., Sheen, S. S., & Kirby, R. (2023). Dietary grape extract can, at an appropriate level, improve the growth performance and antioxidant activity of the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1104870>

Chong-Robles, J., Giffard-Mena, I., Patrón-Soberano, A., Charmantier, G., Boulo, V., & Rodarte-Venegas, D. (2022). Ontogenetical development of branchial chambers of *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) and their involvement in osmoregulation: ionocytes and Na⁺/K⁺-ATPase. *Cell and Tissue Research*, 390(3), 385–398. <https://doi.org/10.1007/s00441-022-03675-0>

Chowdhury, G., Nocillado, J., Elizur, A., Cummins, S. F., & Ventura, T. (2026). Molecular and Endocrine Regulation of Ovarian Maturation in the Black Tiger Prawn (*Penaeus monodon*) and Associated Challenges in Its Aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 18(2). <https://doi.org/10.1111/raq.70141>

Crump, A., Browning, H., Schnell, A. K., Burn, C. C., & Birch, J. (2022). Invertebrate sentience and sustainable seafood. *Nature Food*, 3(11), 884–886. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00632-6>

Dinata, S. W., Masithah, E. D., & Isoni, W. (2022). The Effect of Temperature Differences on The Gonad Maturity Levels and Embryogenesis of Vaname Shrimp Broodstock (*Penaeus vannamei*). *Journal Of Aquaculture Development And Environment*, 5(2). <https://doi.org/10.31002/jade.v5i2.7290>

Diggles, B. K. (2019). Review of some scientific issues related to crustacean welfare. *ICES Journal of Marine Science*, 76(1), 66–81. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy058>

Duangprom, S., Saetan, J., Phanaksri, T., Songkoomkrong, S., Surinlert, P., Tamtin, M., Sobhon, P., & Kornthong, N. (2022). Acceleration of Ovarian Maturation in the Female Mud Crab With RNA Interference of the Vitellogenesis-Inhibiting Hormone (VIH). *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.880235>

Eissa, E. H., El-Hamed, N. N. B. A., Ahmed, N. H., & Badran, M. F. (2022). Improvement the Hatchery Seed Production Strategy on Embryonic Development and Larval Growth Performance and Development stages of

Green Tiger Prawn, *Penaeus semisulcatus* Using Environmental Aspects. *Thalassas An International Journal of Marine Sciences*, 38(2), 1327–1338. <https://doi.org/10.1007/s41208-022-00463-z>

FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Farhadi, A., Cui, W., Zheng, H., Li, S., Zhang, Y., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2021). The Regulatory Mechanism of Sexual Development in Decapod Crustaceans. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.679687>

Feng, Q., Liu, M., Cheng, Y., & Wu, X. (2022). Comparative Transcriptome Analysis Reveals the Process of Ovarian Development and Nutrition Metabolism in Chinese Mitten Crab, *Eriocheir Sinensis*. *Frontiers in Genetics*, 13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.910682>

Furukawa, T., Yamane, F., Takeuchi, R., Ohira, T., Toyota, K., Miyazaki, T., & Tsutsui, N. (2025). Insulin-like androgenic gland factor regulates the development of internal and external secondary sexual characteristics in juvenile male kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*. *Aquaculture Reports*, 45, 103086–103086. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103086>

Ganchozo, E. C. M. (2023). Diagnóstico de Sostenibilidad en la Industria Ecuatoriana del Camarón de Exportación. *Revista Pulso Científico*, 1(1), 16–26. <https://doi.org/10.70577/rps.v1i1.2>

Garcia, S. G., Barclay, K., & Nicholls, R. (2021). Can anti-illegal, unreported, and unregulated (IUU) fishing trade measures spread internationally? Case study of Australia. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105494–105494. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105494>

Goh, J. X. H., Tan, L. T., Law, J. W., Khaw, K. Y., Zengin, G., Chan, K., Letchumanan, V., Lee, L., & Goh, B. H. (2023). Probiotics: Comprehensive Exploration of the Growth Promotion Mechanisms in Shrimps. *Progress In Microbes & Molecular Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000324>

Gonzabay-Crespin, Á. N., Cevallos, H. V., Garzón-Montealegre, V. J., & Quizhpe- Cordero, P. F. (2021). Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-

2020. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 6(9), 1040–1058.
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3093>

Guéganton, M., Rouxel, O., Durand, L., Cueff-Gauchard, V., Gayet, N., Pradillon, F., & Cambon-Bonavita, M. (2022). Anatomy and Symbiosis of the Digestive System of the Vent Shrimp *Rimicaris Exoculata* and *Rimicaris Chacei* Revealed Through Imaging Approaches. *Frontiers in Marine Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.903748>

Gutiérrez, J. C. S., Ponce-Palafox, J. T., Pineda-Jaimes, N. B., Arenas-Fuentes, V., Arredondo-Figueroa, J. L., & Cifuentes-Lemus, J. L. (2016). The feeding ecology of penaeid shrimp in tropical lagoon-estuarine systems. *Gayana*, 80(1), 16–28. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382016000100003>

Gutiérrez-Pérez, E. D., Vázquez-Juárez, R., Magallón-Barajas, F. J., Martínez, M. Á., Escobar-Zepeda, A., & Magallón-Servín, P. (2022). How a holobiome perspective could promote intensification, biosecurity and eco-efficiency in the shrimp aquaculture industry. *Frontiers in Marine Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.975042>

Hidir, A., Aaqillah-Amr, M. A., Baiduri, S. N., Liyana, N., Ma, H., & Ikhwanuddin, M. (2025). Evaluating Fertilization Control and Reproductive Manipulation Techniques for Enhancing Crustacean Reproductive Performance: A Review. *Reviews in Aquaculture*, 17(4). <https://doi.org/10.1111/raq.70070>

Higuera-Zúñiga, Juan Luis. (2020). ESTIMACIÓN ÓPTIMA DE LOS RENDIMIENTOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO PARA LA FLOTA CAMARONERA DE ALTA MAR DE SONORA Y SINALOA, MÉXICO.

Hoang, T., & Nguyen, B. T. (2025). Spawning performance of domesticated penaeids in commercial hatcheries and possible impacts of eyestalk-ablation ban on postlarvae production. *Aquaculture and Fisheries*, 11(2), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2025.09.006>

Hopkins, C. R., Roberts, S., Caveen, A., Graham, C. T., & Burns, N. M. (2023). Improved traceability in seafood supply chains is achievable by minimising vulnerable nodes in processing and distribution networks.

ENLIGHTEN (Jurnal Bimbingan Dan Konseling Islam), 159, 105910–105910.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105910>

Huacón, G. D. G., Peñafiel, M. A. Z., Lara-Padilla, H., & Rojas, T. (2025). A Six Sigma Approach to Enhancing the Production Performance of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*): a Proposal for Optimizing Stocking Density and Acclimation Methods. In *Lecture notes in networks and systems* (pp. 486–499). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87065-1_44

Huang, W., Li, B., Tan, B., Qin, D., Li, Z., Su, X., Liu, Y., Zhang, S., Xie, S., & Dong, X. (2026). Effects of dietary n-3HUFA levels on growth, antioxidant capacity, and ovarian development in *Penaeus vannamei* broodstock shrimp. *Aquaculture Reports*, 46, 103317– 103317. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103317>

Huang, Y., Wang, H., Xu, S., Liu, J., Zeng, Q., Hu, J., & Bao, Z. (2024). Identification of structural variation related to spawn capability of *Penaeus vannamei*. *BMC Genomics*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10863-5>

IUCN. (2017). IUCN policy statement on sustainable aquaculture. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature. <https://www.iucn.org/resources/policy/iucn-policy-statement-sustainable-aquaculture>

Jaramillo, L. F. M., Ñauri-Villón, C., Alegre-Calvo, B., Calderon-Loja, J., Melgarejo- Velásquez, G., & Reyes-Avalos, W. (2025). Efectos del estrés subletal de temperatura y salinidad sobre el comportamiento natatorio, desarrollo inicial y supervivencia de larvas de *Macrobrachium inca*. *Revista PUNKURI de Ciencias Acuáticas*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.71173/rev.punkuri.cienc.acuat.2025.v1n1.01>

Jauncey, K. (1993). Aquaculture and the environment. *Aquaculture*, 114, 359–360. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90310-u](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90310-u)

Jensen, H. A. (2023). Northern shrimp (*Pandalus borealis*): Quality changes, shelf-life, and safety of cooked shell-on products. *Research Portal Denmark*, 265. <https://local.forskningportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=dtu&id=dtu-06fb25db-6f0c-455b-b97c->

1e6259d335c5&ti=Northern%20shrimp%20(%3Ci%3EPandalus%20borealis%3C%2Fi%3E)
%20%3A%20Quality%20changes%2C%20shelf- life%2C%20and%20safety%20of%20cooked%20shell-
on%20products

Jiang, S., Zhang, W., Xiong, Y., Cheng, D., Wang, J., Jin, S., Gong, Y., Wu, Y., Qiao, H., & Fu, H. (2022). Hepatopancreas transcriptome analyses provide new insights into the molecular regulatory mechanism of fast ovary maturation in *Macrobrachium nipponense*. *BMC Genomics*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08851-8>

Jin, Y.-G., Jeon, Y.-H., Kim, S., Jeong, E., & Kim, S. (2022). Comparison of maturation and secondary spawning of fleshy shrimp *Penaeus chinensis* fed different kinds of diets. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(12), 619–625. <https://doi.org/10.47853/fas.2022.e56>

Kang, B. J., Sultana, Z., & Wilder, M. N. (2021). Assessment of the Effects of Double- Stranded RNAs Corresponding to Multiple Vitellogenesis-Inhibiting Hormone Subtype I Peptides in Subadult Female Whiteleg Shrimp, *Penaeus vannamei*. *Frontiers in Endocrinology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.594001>

Kasamechotchung, C., Powtongsook, S., Puanglarp, N., Meunpol, O., & Khidprasert, S. (2021). Effects of water temperature rise on energy budget allocation in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *SHILAP Revista de Lepidopterología*. <https://doi.org/10.14456/sjst- psu.2021.217>

Katturi, R., Vinnakota, L., & Rathnamma, V. V. (2023). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i1a.2761>

Khanjani, M. H. (2025). Evaluating the performance of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) reared under different stocking densities: a study of their biochemical, immune, metabolic and antioxidant responses in a biofloc aquaculture system. *Annals of Animal Science*. <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0087>

KNOWLES, S. F. G. W., & Carlisle, D. B. (1956). ENDOCRINE CONTROL IN THE CRUSTACEA. *Biological Reviews/Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 31(4), 396–467. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1956.tb01556.x>

- Krummenauer, D., Silva, A. F., Xavier, M. J., Fóes, G. K., Poersch, L., Cardozo, A. P., & Wasielesky. (2022). Comparative analysis of the culture of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* and Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in biofloc system. In Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1646196/v1>
- Laining, A., Trismawanti, I., Undu, M. C., Sahrijanna, A., & Asaad, A. I. J. (2022). CAROTENOID-ENRICHED DIET FOR PREMATURATION STAGE OF POND- REARED TIGER SHRIMP, *Penaeus monodon*: Part II. EFFECT ON GONADAL MATURATION AND BIOCHEMICAL PROFILES OF OOCYTES, SPERMATOPHORES AND HEPATOPANCREAS. Indonesian Aquaculture Journal, 17(1), 1–1. <https://doi.org/10.15578/iaj.17.1.2022.1-11>
- Laphyai, P., Kruangkum, T., Chotwiwatthanakun, C., Semchuchot, W., Thaijongrak, P., Sobhon, P., Tsai, P., & Vanichviriyakit, R. (2021). Suppression of a Novel Vitellogenesis- Inhibiting Hormone Significantly Increases Ovarian Vitellogenesis in the Black Tiger Shrimp, *Penaeus monodon*. Frontiers in Endocrinology, 12. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.760538>
- Le, V. H., Huang, T., Nguyen, B., Tien, L. H., Da, C. T., & Diep, D. X. (2025). Evaluating the culturing performance of two-skinned mud crabs (*Scylla paramamosain*) using intermolt and mature crabs in various eyestalk ablation and gender conditions. Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh, 77(2). <https://doi.org/10.46989/001c.130056>
- Lestari, F. Y., Haris, A., Rahmi, R., Hamsah, H., & Akmaluddin, A. (2023). Performa pertumbuhan udang vaname (*Litopenaus vannamei*) Pada Salinitas berbeda. Jurnal Ruaya Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmu Perikanan Dan Kelautan, 11(1). <https://doi.org/10.29406/jr.v11i1.4593>
- Li, J., Li, W., Zhang, X., & He, P. (2017). Physiological and behavioral responses of different modes of locomotion in the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) (Caridea: Penaeidae). Journal of Crustacean Biology, 38(1), 79–90. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/rux107>
- Li, S., Liu, H., Huang, W., Yang, S., Xie, M., Zhou, M., Lü, B., Li, B., Tan, B., Yang, Y., & Dong, X. (2025). Effect of three polychaetes on growth and reproductive performance, biochemical indices and histology of

- different tissues in the female Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* broodstock. *Europe PMC (PubMed Central)*, 21, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.11.020>
- Li, W., Zhang, S., Chiu, K.-H., Deng, X., & Yi, Y. (2024). Silencing of crustacean hyperglycemic hormone gene expression reveals the characteristic energy and metabolic changes in the gills and epidermis of crayfish *Procambarus clarkii*. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1349106>
- Li, X., Deng, X., Hou, D., Zeng, S., Deng, Z., Zhou, R., Zhang, L., Hou, Q., Chen, Q., Weng, S., He, J., & Huang, Z. (2024). Effects of water ammonia nitrogen on hemolymph and intestinal microbiota of *Penaeus vannamei*. *Advanced Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44307-023-00008-2>
- Li, Z., Zhou, M., Ruan, Y., Chen, X., Ren, C., Yang, H., Zhang, X., Liu, J., Huo, L., Zhang, L., Hu, C., Chen, T., & Wu, X. (2022). Transcriptomic analysis reveals yolk accumulation mechanism from the hepatopancreas to ovary in the pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.948105>
- Liang, X., Luo, X., Lin, H., Han, F., Qin, J. G., Chen, L., Xu, C., & Li, E. (2022). Effects and Mechanism of Different Phospholipid Diets on Ovary Development in Female Broodstock Pacific White Shrimp, *Penaeus vannamei*. *Frontiers in Nutrition*, 9, 830934– 830934. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.830934>
- Librizzi, M., Martino, C., Mauro, M., Abruscato, G., Arizza, V., Vazzana, M., & Luparello, C. (2023). Natural Anticancer Peptides from Marine Animal Species: Evidence from In Vitro Cell Model Systems. *Cancers*, 16(1), 36–36. <https://doi.org/10.3390/cancers16010036>
- Liu, M., Ni, H., Zhang, X., Sun, Q., Wu, X., & He, J. (2022). Comparative transcriptomics reveals the immune dynamics during the molting cycle of swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1037739>
- López-Galindo, C., Vargas-Albores, F., & Martínez-Porchas, M. (2023). Physiological stress responses associated with eyestalk ablation in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 31, 101640–101640.

- López-Galindo, L., Larios-Soriano, E., Ventura-López, C., Díaz, F., Re, D., & Galindo- Sánchez, C. E. (2023). Eyestalk ablation and acclimation temperatures affect juveniles *Penaeus vannamei* thermo-tolerance: molecular biomarkers of cell protection oxidative stress, and compensatory mechanisms. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2), 295–308. <https://doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2926>
- Lorenzo-Felipe, Á., Shin, H. S., León-Bernabeu, S., Pérez-García, C., Zamorano, M. J., Pérez-Sánchez, J., & Afonso-López, J. M. (2021). The Effect of the Deformity Genetic Background of the Breeders on the Spawning Quality of Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L.). *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.656901>
- Lozano-Olvera, R., Palacios-González, D. A., Tirado-Flores, E. A., & Cruz, A. C. P. (2024). Saponina en dieta de camarón blanco *Penaeus vannamei* posible causa de enteritis hemocítica y efectos negativos sobre el crecimiento y supervivencia. *Revista Bio Ciencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1640>
- M, S. A., Vijayaraj, R., & Altaff, K. (2023). Anatomy and histological evaluation of the reproductive system of marine calanoid copepod *Centropages furcatus* from a mass culture perspective. *DergiPark* (Istanbul University). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aquatres/issue/79522/1277746>
- Ma, Q., Wang, Z., Xu, H., Wei, Y., & Liang, M. (2024). Effects of dietary cholesterol on ovary development and reproductive capacity in Pacific white shrimp broodstock, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 38, 102346–102346. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102346>
- Mair, G. C., Halwart, M., Derun, Y., & Costa-Pierce, B. A. (2023). A decadal outlook for global aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2), 196–205. <https://doi.org/10.1111/jwas.12977>
- Maldonado-Hernández, I., Rodríguez, J. A. L., Aguilar-Gallegos, N., Villegas, L. M. S., & Astorga-Ceja, J. (2023). Transición a la intensificación sostenible en el cultivo de camarón: retos y oportunidades. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 23(2), 143–165. <https://doi.org/10.7201/earn.2023.02.06>
- Martínez, M. de los Á. P., M., I. M., Bustamante, M. L. U., Montaldo, H. H., & Castillo- Juárez, H. (2013). Morfología del sistema reproductor y del espermatóforo de *Penaeus vannamei*, camarón blanco del Pacífico.

LA Referencia (Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas), 23(3), 313–319.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57832087004>

Martínez-Cordova, B. N., & Maza, J. A. A. (2022). Estrategias Competitivas en las Empresas Ecuatorianas exportadoras de Camarón hacia el Mercado Europeo. *European Scientific Journal ESJ*, 8, 165–165.
<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v8n0p165>

Martín-Manzo, M. V., Morelos-Castro, R. M., Munguía-Vega, A., Soberanes-Yepiz, M. L., & Cortés-Jacinto, E. (2023). Transcriptome analysis of reproductive tract tissues of male river prawn *Macrobrachium americanum*. In Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3216508/v1>

Matmor, N. A., Manan, H., Azman, N. A. N., Jalilah, M., Amin-Safwan, A., & Ikhwanuddin, M. (2022). Gonad Quality of Banana Shrimp Male Broodstock *Penaeus merguensis* (DeMan, 1888) Fed Different Natural Diets. *Tropical Life Sciences Research*, 33(2), 19–30. <https://doi.org/10.21315/tlsr2022.33.2.2>

Mazancourt, V. de, Wappler, T., & Wedmann, S. (2022). Exceptional preservation of internal organs in a new fossil species of freshwater shrimp (Caridea: Palaemonoidea) from the Eocene of Messel (Germany). *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23125-9>

Meidiana, D., Masithah, E. D., & Isoni, W. (2023). The effect of temperature differences on oxygen consumption level (OCL) and stress level in the process of spawning vaname shrimp (*Penaeus vannamei*). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1273(1), 12069–12069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1273/1/012069>

Menezes, G. L. (2019). Eficiência reprodutiva de reprodutores de *Penaeus vannamei* sem ablação do pedúnculo ocular em sistema de recirculação de água (Master's thesis). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

Mohale, H. P., Jawahar, P., Jayakumar, N., Oli, G. A., Ravikumar, T., Bhosle, R. V., Ananda, S. N., Kadam, R. V., & Sonwal, M. C. (2024). Length-weight Relationship and Condition Factors of Seven *Penaeus* Shrimp Species along the Southeast Coast of Tamil Nadu (Southern India). *Indian Journal of Animal Research*. <https://doi.org/10.18805/ijar.b-5218>

- Montesdeoca, M. G. B., Lodeiros, C., Zapata-Vívenes, É., Alió, J., & Alió, J. (2023). Improved performance of larval *Penaeus vannamei* Boone, 1931 production fed with *Thalassiosira pseudonana* Hasle and Heimdal, 1970 cultured with irradiation of light-emitting diode-LED compared to fluorescent light. In Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2934744/v1>
- Montes-Dominguez, A. L., Avena-Soto, J. A., Lizarraga-Rodriguez, J. L., Perez-Gala, R. de J., Jimenez-Gutierrez, S., Sotelo-Falomir, J. A., Pinzon-Miranda, F. M., Martínez-Pérez, F., Muñoz-Rubí, H. A., Chávez-Herrera, D., & Jiménez-Gutiérrez, L. R. (2021). Comparison between cultured and wild Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) vitellogenesis: next- generation sequencing and relative expression of genes directly and indirectly related to reproduction. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.10694>
- Naser, M. N., Sarker, M. N., & Hosain, Md. E. (2022). Whiteleg shrimp *Litopenaeus vennamei*: Current status, future prospects and opportunities for Bangladesh Aquaculture. *Bangladesh Journal of Zoology*, 50(2), 143–184. <https://doi.org/10.3329/bjz.v50i2.62051>
- Nisar, U., Zhang, H., Navghan, M., Zhu, Y., & Mu, Y. (2021). Comparative analysis of profitability and resource use efficiency between *Penaeus monodon* and *Penaeus vannamei* in India. *PLoS ONE*, 16(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250727>
- Nkuba, A. C., Mahasri, G., Lastuti, Nunuk D. R., & Mwendolwa, A. A. (2021). Correlation of Nitrite and Ammonia with Prevalence of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) in Shrimp (*Penaeus vannamei*) on Several Super-Intensive Ponds in East Java, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 13(1), 58–67. <https://doi.org/10.20473/jipk.v13i1.24430>
- Nur, I., Iyen, H., & Yusnaini, Y. (2021). The Effect of Eyestalk Ablation on Several Immunologic Variables in *Penaeus vannamei*. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 10(1), 34–34. <https://doi.org/10.20473/jafh.v10i1.18926>
- Ortega, D. M. L., Miranda, C. B. M., & Sánchez, A. O. R. (2019). Fluctuación de los niveles de glucosa en la glándula digestiva (hepatopáncreas), hemolinfa y músculo de camarones *Penaeus vannamei* tras la ingesta de alimento. *AgEcon Search* (University of Minnesota, USA). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.275248>

- Palacios, E., Carreno, D., Rodríguez-Jaramillo, M. C., & Racotta, I. S. (1999). Effect of Eyestalk Ablation on Maturation, Larval Performance, and Biochemistry of White Pacific Shrimp, *Penaeus vannamei*, Broodstock. *Journal of Applied Aquaculture*, 9(3), 1–23. https://doi.org/10.1300/J028v09n03_01
- Patkaew, S., Direkbusarakom, S., Hirono, I., Wuthisuthimethavee, S., Powtongsook, S., & Pooljun, C. (2024). Effect of supersaturated dissolved oxygen on growth-, survival-, and immune-related gene expression of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Veterinary World*, 17(1), 50–58. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.50-58>
- Pedrazzani, A. S., Cozer, N., Quintiliano, M. H., & Ostrensky, A. (2024). Insights into Decapod Sentience: Applying the General Welfare Index (GWI) for Whiteleg Shrimp (*Penaeus vannamei*—Boone, 1931) Reared in Aquaculture Grow-Out Ponds. *Fishes*, 9(11), 440–440. <https://doi.org/10.3390/fishes9110440>
- Pedrazzani, A. S., Cozer, N., Quintiliano, M. H., Tavares, C. P. dos S., Silva, U. de A. T. da, & Ostrensky, A. (2023). Non-Invasive Methods for Assessing the Welfare of Farmed White-Leg Shrimp (*Penaeus vannamei*). *Animals*, 13(5), 807–807. <https://doi.org/10.3390/ani13050807>
- Pina, P., Voltolina, D., Nieves, M., & Robles, M. (2006). Survival, development and growth of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* protozoa larvae, fed with monoalgal and mixed diets. *Aquaculture*, 253(1–4), 523–530.
- Powell, A., Agnalt, A., Heasman, K., & Albalat, A. (2024). Considerations for implementing regulation of decapods in science. *Animal Welfare*, 33. <https://doi.org/10.1017/awf.2024.50>
- Prado, S. S. M., Campoverde, V. K. L., & Solórzano, S. S. S. (2021). Blockchain un nuevo concepto de Responsabilidad Social Corporativa en exportadoras de camarón de Ecuador. *Revista Scientific*, 6(20), 206–223. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2021.6.20.11.206-223>
- Prayitno, S. B., Ardie, B. R., Novriadi, R., Herawati, V. E., & Windarto, S. (2022). EFFECT OF BIOACTIVE PROTEIN INGREDIENTS (MOTIVTM) ON TOTAL HEMOCYTE AND SURVIVAL RATE OF

VANNAMEI SHRIMP, *Penaeus vannamei*. Indonesian Aquaculture Journal, 17(1), 23–28.
<https://doi.org/10.15578/iaj.17.1.2022.23-28>

Quinto, J. C., Noboa, L. U., Freire, J. S., & Pérez, P. C. (2026). The Economic impact of shrimp sector exports in Ecuador. *Strategos*, 5(2), 10–21. <https://doi.org/10.53591/strategos.v5i2.2840>

Ren, X., Wang, Q., Shao, H., Xu, Y., Liu, P., & Li, J. (2021). Effects of Low Temperature on Shrimp and Crab Physiology, Behavior, and Growth: A Review [Review of Effects of Low Temperature on Shrimp and Crab Physiology, Behavior, and Growth: A Review]. *Frontiers in Marine Science*, 8. Frontiers Media.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.746177>

Reyes-Avalos, W., Mogollón-Calderón, A., & Fuentes-Muñoz, A. (2022). Estimulación eléctrica en la expulsión de espermatozoides de *Cryptops caementarius* según tamaños y estados de muda. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i2.20754>

Roan, E., Patterson, J. T., DiMaggio, M. A., & Yanong, R. P. (2021). Third Party- Certifications in Aquaculture. *EDIS*, 2021(3), 8–8. <https://doi.org/10.32473/edis-fa233-2021>

Rodrigues, A. B., Pinheiro, I. C., Nonato, T. C. M., Ferenhof, E. A., & Sens, M. L. (2022). Valorization of reverse osmosis concentrate in the production of *Penaeus vannamei* and New Zealand spinach in an aquaponic system with biofloc. *Desalination*, 549, 116330– 116330. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116330>

Rodrigues, M. M., Greco, L. S. L., Almeida, L. C. F. de, & Bertini, G. (2021). Reproductive performance of *Macrobrachium acanthurus* (Crustacea, Palaemonidae) females subjected to unilateral eyestalk ablation. *Acta Zoologica*, 103(3), 326–334. <https://doi.org/10.1111/azo.12374>

Rodríguez, E. M., Medesani, D. A., Canosa, I. S., & Avigliano, L. (2021). The Effect of Glyphosate on the Reproduction of Estuarine Crabs: *Neohelice granulata* as a Study Model [Review of The Effect of Glyphosate on the Reproduction of Estuarine Crabs: *Neohelice granulata* as a Study Model]. *Frontiers in Endocrinology*, 12. Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.643168>

- Ruan, Y., Wong, N.-K., Zhang, X., Zhu, C., Wu, X., Wu, X., Ren, C., Luo, P., Jiang, X., Ji, J., Wu, X., Wu, X., Hu, C., & Chen, T. (2020). Vitellogenin Receptor (VgR) Mediates Oocyte Maturation and Ovarian Development in the Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*). *Frontiers in Physiology*, 11, 485–485. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00485>
- Ruiz-Velazco, J. M. J., Estrada-Perez, N., Estrada-Pérez, M., Zavala-Leal, I., González, F., Cuevas-Rodríguez, B. L., & González-Huerta, C. A. (2022). EN PRENSA Predicting semi- intensive production of *Penaeus vannamei* using simple linear regression models: A sensitivity analysis using environmental and management variables. *EN PRENSA. Revista Bio Ciencias*, 9. <https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1347>
- Sa'diyah, Q. N., Ramli, T. H., Pattirane, C. P., & Serihollo, L. G. G. (2024). Lama Waktu Tingkat Kematangan Gonad Udang Vanamei melalui Ablasi dan Non-Ablasi. *JURNAL MEGAPTERA*, 3(2), 81–81. <https://doi.org/10.15578/jmtr.v3i2.15183>
- Said, M. M., Abo-Al-Ela, H. G., El-Barbary, Y. A., Ahmed, O., & Dighiesh, H. S. (2024). Influence of stocking density on the growth, immune and physiological responses, and cultivation environment of white-leg shrimp (*Penaeus vannamei*) in biofloc systems. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61328-4>
- Sainz-Hernández, J. C., Racotta, I. S., Dumas, S., & Hernández-López, J. (2008). Effect of unilateral and bilateral eyestalk ablation in *Litopenaeus vannamei* male and female on several metabolic and immunologic variables. *Aquaculture*, 283(1–4), 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.002>
- Salcedo, L. E. V., Salcedo, J. P. C., & Vite, M. E. M. (2025). Probióticos y ácidos orgánicos como biocontroladores para optimizar el desarrollo embrionario y la eclosión de *Penaeus vannamei*. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15701849>
- Seminario, E., & Saldarriaga, E. (2013). Efecto de la ablación unilateral del pedúnculo ocular sobre la maduración ovárica y producción de nauplios de *Penaeus vannamei* en el laboratorio Texcumar, Santa Elena, Ecuador. *Revista de Investigaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1), 45–52.

- Sharifinia, M., Bahmanbeigloo, Z. A., Keshavarzifard, M., Khanjani, M. H., Daliri, M., Koochaknejad, E., & Jasour, M. S. (2023). The effects of replacing fishmeal by mealworm (*Tenebrio molitor*) on digestive enzymes activity and hepatopancreatic biochemical indices of *Penaeus vannamei*. *Annals of Animal Science*. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0098>
- Shi, X., Zhang, R., Liu, Z., Sun, J., Li, L., Zhao, G., & Lu, J. (2023). Combined analysis of mRNA and miRNA reveals the mechanism of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) under acute alkalinity stress. *PLoS ONE*, 18(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290157>
- Sultana, Z., Kang, B. J., NOHARA, S., KINOSHITA, S., & Marcy, M. (2023). 実験条件下において異なる飼餌料で飼育されたバナメイエビ *Penaeus vannamei* の繁殖能力およびそれに及ぼす眼柄切除の影響. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI*, 89(2), 127–136. <https://doi.org/10.2331/suisan.22-00039>
- Suneetha, K. (2024). Hatchery performance of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* in biofloc technology by using different carbon sources. In Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4081761/v1>
- Suwoyo, D., Nur, A., Suryati, S., Ruliaty, L., & Soleh, M. (2023). Re-maturation of wild banana shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*) broodstock in tank. *BIO Web of Conferences*, 74, 01005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237401005>
- Suwoyo, H. S., Trijuno, D. D., Faisal, F., & Mulyaningrum, S. R. H. (2023). Application of inorganic fertilizer combination with various kinds of organic fertilizer in the nursery phase of white shrimp (*Penaeus vannamei*). *BIO Web of Conferences*, 74, 1013–1013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237401013>
- Taha, Z. A. (2023). Perspective Chapter: Crustaceans Taxonomy. In IntechOpen eBooks. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109547>
- The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. (2022). In FAO eBooks. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Timofiecsyk, J., Anjos, R. Q. dos, & Araújo, M. C. de. (2024). DIFERENTES LOTES DE NÁUPLIOS DE *Penaeus vannamei* (BOONE, 1931) EM LARVICULTURA COMERCIAL. *Acta of Fisheries and Aquatic Ressources*, 12(1), 63–68. <https://doi.org/10.46732/actafish.2024.12.1.63-68>

- Tito, L., Vera, M., Ordinola, E., Alemán, S., & Perea, Á. (2024). Escala macroscópica de madurez gonadal de hembras de *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) validada histológicamente, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 39(1), 26–37. <https://doi.org/10.53554/boletin.v39i1.396>
- Valente, C. de S. (2022). Decapod sentience: broadening the framework. *Animal Sentience*, 7(32). <https://doi.org/10.51291/2377-7478.1723>
- VANLI, E., & Harlioğlu, A. G. (2021). Dekapod Kurustaselerde Üremeyi Düzenleyen Bazı İnternal Faktörler. *DergiPark (Istanbul University)*. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fufbd/issue/64918/881468>
- Vargas-Téllez, I., Escamilla-Montes, R., Arzola-González, J. F., Diarte-Plata, G., Luna-González, A., Armenta-Leal, I., Verduzco-Chávez, J. R., Román-Reyes, J. C., & Ignacio- Borrego, M. (2021). Impact of unilateral eyestalk ablation on *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863) under laboratory conditions: behavioral evaluation. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(4), 576–594. <https://doi.org/10.3856/vol49-issue4-fulltext-2676>
- Velasquez, P., & Solorzano-Reyes, F. (2021). Eficiencia de absorción en postlarvas de camarón blanco del Pacífico, *Penaeus vannamei*, alimentadas con una dieta de levadura marina de marismas de manglar. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(2), 73–90. <https://doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2021.50.2.1012>
- Viana, G. C., Salgado, L. H. S., & Landuci, F. S. (2023). Spatial planning for forthcoming shrimp farming in southern coast of Brazil: a tool to coastal management. *Boletim Do Instituto de Pesca*, 49. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e789>
- Villarreal, H. (2023). Shrimp farming advances, challenges, and opportunities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(5), 1092–1095. <https://doi.org/10.1111/jwas.13027>
- Visudtiphole, V., Unagul, P., Chaiyapechara, S., Jangsutthivorawat, W., Phromson, M., Tala, S., Deenarn, P., Tobwor, P., Yotbuntueng, P., Jiemsup, S., Yongkiettrakul, S., Koichai, L., & Wimuttisuk, W. (2025). Effects of microbial-derived long-chain polyunsaturated fatty acids from *Aurantiochytrium limacinum* BCC52274 and

- Mortierella sp. on growth and immunity in *Penaeus vannamei* post-larvae. PLoS ONE, 20(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329358>
- Wahlteiz, S. J., Stacy, N. I., Hadfield, C. A., Harms, C. A., Lewbart, G. A., Newton, A. L., & Nunamaker, E. A. (2022). Perspective: Opportunities for advancing aquatic invertebrate welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.973376>
- Wang, H., Viateur, N., Wan, L., Tan, P., He, J., & Xue, L. (2025). Morphology and Histological Observation of the Male Reproductive System in the Swimming Crab (*Portunus trituberculatus*). *Biology*, 14(12), 1697–1697. <https://doi.org/10.3390/biology14121697>
- Wouters, R., Molina, C., Lavens, P., & Calderón, J. (2001). Lipid composition and vitamin content of wild female *Penaeus vannamei* in different stages of sexual maturation. *Aquaculture*, 198, 307–323. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00522-1](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00522-1)
- Wuertz, S., Bierbach, D., & Bögner, M. (2023). Welfare of Decapod Crustaceans with Special Emphasis on Stress Physiology. *Aquaculture Research*, 2023, Article 1307684, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2023/1307684>
- Xu, Chang & Li, Er-Chao & Liu, Y. & Shifeng, Wang & Wang, Xiaodan & Chen, Ke & Qin, Jian & Chen, Lin. (2017). Effect of dietary lipid level on growth, lipid metabolism and health status of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* at two salinities. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 204–214. <https://doi.org/10.1111/anu.12548>.
- Ye, Y., Zhang, J., Yang, Y., Tian, J., Xu, W., Zhu, B., Du, X., Huang, Y., Li, Y., & Zhao, Y. (2023). Comparison of growth performance and biochemical components between low salinity tolerant hybrid and imported populations of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. In Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2735736/v1>
- Yu, J., Kong, J., Luan, S., Cao, J., Liu, M., Luo, K., Tan, J., Dai, P., Wang, Z., Sui, J., & Meng, X. (2026). Two-Generation Genetic Evaluation of Female Reproductive Performance in Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*) Under SPF Conditions. *Animals*, 16(2), 235–235. <https://doi.org/10.3390/ani16020235>

Zhu, W., Li, Q., Peng, M., Yang, C., Chen, X., Feng, P., Liu, Q., Zhang, B., Zeng, D., & Zhao, Y. (2024). Biochemical indicators, cell apoptosis, and metabolomic analyses of the low-temperature stress response and cold tolerance mechanisms in *Penaeus vannamei*. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65851-2>

13. ANEXOS

Anexo 1. Diccionario de variables de maduración

Variable	Unidad	Método de obtención o cálculo	Descripción
Cópulas registradas	Número de cópulas por día	Conteo directo de las hembras copuladas durante el monitoreo diario y suma de los registros pertenecientes a cada sistema.	Indicador absoluto de actividad reproductiva del plantel de hembras.
Desoves válidos	Número de desoves por día	Conteo de los eventos de desove que generaron una puesta aprovechable para la obtención de náuplios.	Indicador absoluto del éxito de las cópulas y de la producción de puestas útiles.
Náuplios despachables (millones)	Millones de náuplios por día	Conteo volumétrico de náuplios aptos para despacho; los registros expresados en millares se dividieron para 1 000.	Producción útil que ingresó a la fase de larvicultura.
Porcentaje de cópulas ponderado (%)	%	Relación entre las cópulas registradas y la población de hembras considerada en cada sistema, multiplicada por 100.	Actividad reproductiva relativa, ajustada al tamaño del plantel.
Fertilidad/eclosión (%)	%	Proporción de náuplios obtenidos respecto del conjunto de huevos recolectados y sometidos a eclosión.	Eficiencia de conversión de los huevos en náuplios.
Náuplios viables (%)	%	Proporción de náuplios activos y con natación normal respecto del total cuantificado después de la eclosión.	Indicador de calidad y aptitud de los náuplios producidos.

Variable	Unidad	Método de obtención o cálculo	Descripción
Huevos sobrantes (%)	%	$\text{Huevos sobrantes} / (\text{náuplios despachables} + \text{huevos sobrantes}) \times 100.$	Proporción del material reproductivo que no se convirtió en náuplios despachables.
Náuplio por hembra	Millares de náuplios por hembra desovada	Náuplios despachables en millares / desoves válidos.	Rendimiento relativo obtenido por cada hembra que generó un desove válido.
Mortalidad de hembras (%)	%	$\text{Hembras muertas} / \text{población inicial de hembras} \times 100.$	Indicador de pérdidas y estabilidad del plantel reproductivo.

Descripción. El diccionario incluye únicamente las nueve variables de maduración empleadas en los análisis de la tesis.

Anexo 2. Diccionario de variables de larvicultura

Variable	Unidad	Método de obtención o cálculo	Descripción
Uniformidad del periodo de muda (%)	%	Observación microscópica de aproximadamente 100 larvas por muestreo y determinación de la proporción correspondiente al estadio predominante.	Indicador de sincronía del desarrollo larval entre N5 y Zoea III.
Deformidad larval (%)	%	Número de larvas con alteraciones morfológicas / total de larvas observadas × 100.	Indicador de calidad morfológica y condición biológica de la población larval.
Supervivencia hasta Zoea III (%)	%	Población final en Zoea III / náuplios sembrados × 100.	Proporción de organismos que alcanzó Zoea III respecto de la población inicial de cada tanque.
Mortalidad real hasta Zoea III (%)	%	100 – supervivencia hasta Zoea III.	Proporción de pérdida larval acumulada desde la siembra hasta Zoea III.

Descripción. Las variables de uniformidad y deformidad se registraron por tanque y muestreo, mientras que la supervivencia y la mortalidad se calcularon al alcanzar Zoea III.

Anexo 3. Tabla de análisis estadísticos

El análisis se efectuó sobre diferencias pareadas entre el sistema con ablación y el sistema sin ablación. La normalidad de dichas diferencias fue evaluada mediante Shapiro-Wilk; se aplicó la prueba t pareada cuando $p \geq 0,05$ y la prueba de Wilcoxon pareada cuando $p < 0,05$. El nivel de significancia fue $\alpha = 0,05$.

Estadísticos descriptivos de maduración

Variable	n	Ablacionada: media $\pm$ DE	No ablacionada: media $\pm$ DE
Mortalidad de hembras (%)	69	13,50 $\pm$ 3,57	13,10 $\pm$ 4,82
Porcentaje de cópulas ponderado (%)	69	8,46 $\pm$ 2,03	5,60 $\pm$ 1,61
Fertilidad/eclosión (%)	69	85,45 $\pm$ 10,36	88,47 $\pm$ 6,87
Náuplios viables (%)	69	99,09 $\pm$ 0,75	99,33 $\pm$ 0,48
Huevos sobrantes (%)	69	14,39 $\pm$ 10,23	11,09 $\pm$ 6,69
Náuplio por hembra	69	127,31 $\pm$ 27,05	141,77 $\pm$ 25,10
Cópulas registradas	67	85,30 $\pm$ 33,53	64,07 $\pm$ 25,81
Desoves válidos	67	83,21 $\pm$ 32,96	62,45 $\pm$ 25,16
Náuplios despachables (millones)	67	10,27 $\pm$ 4,06	8,57 $\pm$ 3,35

Pruebas de normalidad y comparación en maduración

Variable	Shapiro-Wilk p	Prueba	Estadístico	p	Decisión ($\alpha = 0,05$)
Mortalidad de hembras (%)	0,001	Wilcoxon pareada	956,0	0,133	No se rechazó H0
Porcentaje de cópulas ponderado (%)	0,891	t pareada	9,655	< 0,001	Se rechazó H0
Fertilidad/eclosión (%)	< 0,001	Wilcoxon pareada	737,5	0,043	Se rechazó H0
Náuplios viables (%)	< 0,001	Wilcoxon pareada	822,5	0,032	Se rechazó H0
Huevos sobrantes (%)	< 0,001	Wilcoxon pareada	799,0	0,015	Se rechazó H0
Náuplio por hembra	0,039	Wilcoxon pareada	566,0	< 0,001	Se rechazó H0

Variable	Shapiro-Wilk p	Prueba	Estadístico	p	Decisión ($\alpha = 0,05$)
Cópulas registradas	0,204	t pareada	6,271	< 0,001	Se rechazó H0
Desoves válidos	0,208	t pareada	6,298	< 0,001	Se rechazó H0
Náuplios despachables (millones)	0,523	t pareada	3,573	< 0,001	Se rechazó H0

Estadísticos descriptivos de larvicultura

Variable	n	Ablacionada: media $\pm$ DE	No ablacionada: media $\pm$ DE
Uniformidad del periodo de muda (%)	31	92,81 $\pm$ 18,70	91,10 $\pm$ 21,85
Deformidad larval (%)	31	1,31 $\pm$ 1,87	1,52 $\pm$ 1,78
Supervivencia hasta Zoea III (%)	4	85,65 $\pm$ 6,90	89,96 $\pm$ 3,68
Mortalidad real hasta Zoea III (%)	4	14,35 $\pm$ 6,90	10,04 $\pm$ 3,68

Pruebas de normalidad y comparación en larvicultura

Variable	Shapiro-Wilk p	Prueba	Estadístico	p	Decisión ($\alpha = 0,05$)
Uniformidad del periodo de muda (%)	< 0,001	Wilcoxon pareada	3,500	0,131	No se rechazó H0
Deformidad larval (%)	< 0,001	Wilcoxon pareada	142,0	0,103	No se rechazó H0
Supervivencia hasta Zoea III (%)	0,879	t pareada	-1,191	0,319	No se rechazó H0
Mortalidad real hasta Zoea III (%)	0,879	t pareada	1,191	0,319	No se rechazó H0

Nota. n = 67 para las variables absolutas de maduración; n = 69 para las relativas; n = 31 para uniformidad y deformidad, y n = 4 para supervivencia y mortalidad. DE = desviación estándar; H0 = hipótesis nula.

Anexo 4. Registro de calidad del agua y equipos utilizados

Parámetro	Unidad	Frecuencia de medición	Equipo utilizado
Temperatura	°C	Dos veces al día: 07:00 y 19:00 h	Multiparámetro YSI Pro2030
Salinidad	ppt	Dos veces al día: 07:00 y 19:00 h	Multiparámetro YSI Pro2030
Oxígeno disuelto	mg/L	Dos veces al día: 07:00 y 19:00 h	Multiparámetro YSI Pro2030
pH	Unidades de pH	Dos veces al día: 07:00 y 19:00 h	Medidor digital portátil genérico

Descripción. El control fisicoquímico se efectuó durante el monitoreo de maduración. En larvicultura, los parámetros del agua se registraron antes de las evaluaciones biológicas de las 08:00 y 20:00 h.

Anexo 5. Cronograma de actividades

Cronograma de operaciones

#	Actividad	Inicio	Fin
1	Análisis del área de maduración	07/04/2026	22/06/2026
3	Muestreo de larvicultura 1	12/06/2026	15/06/2026
4	Muestreo de larvicultura 2	13/06/2026	16/06/2026
5	Muestreo de larvicultura 3	15/06/2026	18/06/2026
6	Muestreo de larvicultura 4	16/06/2026	19/06/2026

Anexo 6. Resumen metodológico del flujo experimental

Etapas	Unidad o material	Procedimiento principal	Variables o registros generados
1. Selección y conformación de plantales	Reproductores adultos	Asignación a sistemas con ablación y sin ablación; organización por salas y tanques.	Población inicial, sexo, sala, sistema y biometría de reemplazos.
2. Acondicionamiento y maduración	Tanques de producción de 8 t	Manejo diario, alimentación equivalente al 30 % de la biomasa y control de calidad del agua.	Mortalidad, reemplazos, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH.
3. Evaluación reproductiva	Plantel de hembras	Observación de cópulas a las 17:00 h y traslado de hembras copuladas.	Cópulas registradas y porcentaje de cópulas ponderado.
4. Desove	Tanque de desove de 4 t	Concentración de las hembras copuladas por tratamiento y obtención de las puestas.	Desoves válidos y huevos recolectados.
5. Eclosión	Cuatro tanques cónicos de 1 t	Distribución de huevos, incubación y separación del material viable y no viable.	Fertilidad/eclosión, náuplios viables y huevos sobrantes.
6. Selección y despacho	Náuplios	Conteo volumétrico, verificación de actividad y despacho de organismos aptos.	Náuplios despachables y náuplio por hembra.
7. Siembra larval	Tanques larvicultura	Siembra aproximada de 850 000 náuplios/t; volumen inicial cercano a 19 t.	Náuplios sembrados y origen del sistema reproductivo.
8. Seguimiento Zoea III	N5– Cuatro pares de tanques	Evaluaciones a las 08:00 y 20:00 h; observación microscópica y control de <i>Thalassiosira weissflogii</i> .	Estadio predominante, uniformidad de muda y deformidad larval.
9. Evaluación final en Zoea III	Tanques de larvicultura hasta 30 t	Conteo de la población final y comparación entre réplicas pareadas.	Supervivencia y mortalidad real hasta Zoea III.

Anexo 7. *Datos de producción de maduración correspondientes a abril*

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
22	Ablacionada	9,79	84	9,96	78,50	98,53	81	9,648	23,26	119,11
22	No ablacionada	4,64	76	5,48	75,50	98,17	74	9,093	20,88	122,88
23	Ablacionada	8,53	77	8,67	75,50	98,44	76	7,788	22,41	102,47
23	No ablacionada	4,83	53	4,08	90,00	99,27	51	8,436	9,64	165,41
24	Ablacionada	10,89	80	9,93	94,00	99,70	78	7,239	5,85	92,81
24	No ablacionada	8,69	45	3,69	93,00	99,68	44	4,548	6,48	103,36
25	Ablacionada	13,11	75	8,46	95,50	99,78	73	7,540	4,38	103,29
25	No ablacionada	8,64	86	7,80	97,00	99,84	82	14,770	3,15	180,12
26	Ablacionada	15,95	81	9,59	87,50	99,19	76	9,492	10,60	124,89
26	No ablacionada	14,81	73	7,49	96,00	99,80	69	13,166	3,30	190,81
27	Ablacionada	12,78	43	6,34	83,00	98,77	43	5,910	19,92	137,44
27	No ablacionada	8,58	48	4,26	96,50	99,83	47	7,728	3,74	164,43
28	Ablacionada	10,55	68	10,54	91,50	99,53	64	8,213	8,52	128,33
28	No ablacionada	7,70	85	6,58	91,00	99,49	83	12,395	8,42	149,34
29	Ablacionada	10,20	52	5,83	63,50	97,19	52	4,866	35,69	93,58
29	No ablacionada	8,42	56	4,27	83,00	98,94	51	6,462	17,28	126,71
30	Ablacionada	9,18	51	6,30	92,50	99,61	49	6,651	7,70	135,73
30	No ablacionada	9,18	44	3,62	92,50	99,60	42	7,584	6,99	180,57

Anexo 8. Datos de producción de maduración correspondientes a mayo

Nota. El 20 de mayo correspondió a mantenimiento general; por este motivo, los campos productivos de ambos sistemas no presentan valores y la fecha fue excluida de los análisis inferenciales.

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
1	Ablacionada	9,77	62	7,77	85,00	99,30	61	6,354	15,89	104,16
1	No ablacionada	11,74	45	3,73	84,50	99,28	45	5,625	16,67	125,00
2	Ablacionada	9,50	73	7,56	92,00	99,58	72	8,610	8,11	119,58
2	No ablacionada	20,97	56	7,14	90,50	99,51	54	8,102	9,24	150,04
3	Ablacionada	7,27	129	14,27	90,00	99,50	126	14,264	9,77	113,21
3	No ablacionada	17,38	58	6,29	93,00	99,63	55	8,615	6,97	156,64
4	Ablacionada	12,90	128	15,33	63,00	97,88	127	11,997	37,16	94,46
4	No ablacionada	11,89	55	6,17	78,50	98,81	52	7,056	14,53	135,69
5	Ablacionada	13,34	125	11,98	89,50	99,10	119	13,772	16,39	115,73
5	No ablacionada	12,54	58	6,23	78,50	98,87	58	7,125	20,17	122,84
6	Ablacionada	7,62	96	8,87	94,50	99,73	91	12,597	5,19	138,43
6	No ablacionada	7,75	57	5,07	94,50	99,75	54	6,120	5,12	113,33
7	Ablacionada	17,32	89	8,09	94,50	99,71	84	13,173	5,49	156,82
7	No ablacionada	18,74	45	4,70	88,50	99,44	45	7,255	11,36	161,22
8	Ablacionada	18,25	72	11,21	91,00	99,53	70	9,022	8,20	128,89
8	No ablacionada	16,90	34	4,55	94,50	99,75	33	5,379	4,29	163,00
9	Ablacionada	11,52	84	10,04	88,00	99,37	82	11,506	6,57	140,32
9	No ablacionada	17,24	51	4,50	84,00	99,11	51	6,344	15,92	124,39
10	Ablacionada	18,39	48	8,19	92,00	99,60	48	8,153	7,93	169,85
10	No ablacionada	18,81	64	7,64	92,00	99,62	64	9,543	7,54	149,11
11	Ablacionada	16,23	27	4,67	95,50	99,75	27	4,593	4,79	170,11
11	No ablacionada	16,24	55	5,52	94,00	99,71	55	9,002	5,73	163,67
12	Ablacionada	14,65	41	6,02	96,00	99,83	39	6,958	3,01	178,41

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
12	No ablacionada	18,18	63	7,71	96,50	99,83	61	10,949	3,15	179,49
13	Ablacionada	16,07	33	5,79	96,00	99,79	31	4,562	4,04	147,16
13	No ablacionada	13,20	49	4,92	96,00	99,78	47	7,381	4,12	157,04
14	Ablacionada	11,73	51	7,14	96,00	99,79	51	7,913	4,27	155,16
14	No ablacionada	14,64	48	5,53	95,50	99,75	45	5,866	4,60	130,36
15	Ablacionada	17,08	62	10,23	95,50	99,77	61	9,253	2,51	151,69
15	No ablacionada	17,03	37	3,81	96,00	99,81	37	5,380	3,64	145,41
16	Ablacionada	15,44	54	10,06	56,00	97,28	54	4,305	44,18	79,72
16	No ablacionada	18,39	35	3,12	98,50	99,94	34	6,051	1,06	177,97
17	Ablacionada	13,41	32	6,69	78,00	99,06	27	3,934	22,01	145,70
17	No ablacionada	20,50	14	1,56	80,00	98,97	14	1,856	19,83	132,57
18	Ablacionada	11,54	25	4,62	97,00	99,83	25	5,468	2,93	218,72
18	No ablacionada	31,04	14	2,19	97,00	99,85	14	2,756	2,82	196,86
19	Ablacionada	18,02	36	8,43	93,00	99,39	34	3,480	10,77	102,35
19	No ablacionada	20,29	26	2,81	92,50	99,81	25	3,879	3,51	155,16
20	Ablacionada	6,49	-	-	-	-	-	-	-	-
20	No ablacionada	17,43	-	-	-	-	-	-	-	-
21	Ablacionada	13,95	45	7,81	63,50	98,24	43	4,280	36,36	99,53
21	No ablacionada	21,92	46	5,86	80,50	98,45	44	5,220	20,18	118,64
22	Ablacionada	8,90	65	10,00	94,00	99,66	63	9,116	6,32	144,70
22	No ablacionada	18,43	38	4,44	92,50	99,61	37	5,233	7,82	141,43
23	Ablacionada	10,87	74	11,31	91,00	99,51	70	5,654	8,94	80,77
23	No ablacionada	16,47	39	5,41	94,50	99,69	36	4,748	4,96	131,89
24	Ablacionada	11,20	72	10,39	93,00	99,61	72	8,727	7,18	121,21
24	No ablacionada	14,88	35	6,11	89,00	99,42	33	4,802	11,30	145,52
25	Ablacionada	13,03	59	7,32	90,00	99,50	57	8,572	9,50	150,39
25	No ablacionada	11,85	34	3,74	95,00	99,74	32	4,878	4,78	152,44
26	Ablacionada	10,25	58	8,25	68,00	98,35	56	6,201	31,83	110,73

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
26	No ablacionada	7,80	71	8,64	86,00	99,30	68	10,131	12,15	148,99
27	Ablacionada	10,63	73	8,52	93,50	99,67	73	8,253	6,56	113,05
27	No ablacionada	9,26	37	5,12	85,00	99,19	37	4,185	14,33	113,11
28	Ablacionada	22,28	78	11,64	86,00	99,24	76	11,018	16,36	144,97
28	No ablacionada	13,87	47	7,07	90,50	99,48	45	6,912	10,06	153,60
29	Ablacionada	20,18	63	8,40	77,50	98,66	61	7,009	18,38	114,90
29	No ablacionada	7,10	43	4,27	77,00	98,81	43	4,891	22,88	113,74
30	Ablacionada	21,90	71	8,94	96,00	99,80	69	8,619	4,24	124,91
30	No ablacionada	13,35	37	5,43	96,50	99,80	36	5,524	3,68	153,44
31	Ablacionada	18,92	44	7,48	89,00	99,41	44	5,902	10,77	134,14
31	No ablacionada	22,67	34	6,27	95,00	99,73	34	4,442	4,37	130,65

Anexo 9. Datos de producción de maduración correspondientes a junio

Nota. Los días 16 y 18 de junio conservaron los registros porcentuales y relativos disponibles. Las variables absolutas de esas fechas fueron excluidas del análisis inferencial debido al mantenimiento de la Sala 3 y al criterio de pares operativos completos.

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
1	Ablacionada	16,82	79	6,05	86,65	99,21	75	10,602	11,96	141,36
1	No ablacionada	19,20	100	6,87	78,37	98,53	96	8,988	22,20	93,62
2	Ablacionada	15,67	98	7,12	88,16	99,30	96	13,843	9,00	144,20
2	No ablacionada	12,47	93	6,73	84,26	99,05	91	12,129	14,70	133,29
3	Ablacionada	11,80	106	6,87	90,45	99,47	105	13,860	8,88	132,00
3	No ablacionada	9,85	112	6,65	91,61	99,56	112	16,695	8,12	149,06
4	Ablacionada	9,63	89	5,07	88,66	99,38	89	11,307	11,40	127,04
4	No ablacionada	9,38	89	5,26	86,35	99,19	88	10,475	14,01	119,03
5	Ablacionada	14,86	138	7,62	85,55	99,15	135	16,035	14,41	118,78
5	No ablacionada	13,20	111	7,36	86,05	99,22	107	13,406	13,99	125,29
6	Ablacionada	12,88	180	9,66	96,77	99,84	174	21,120	3,10	121,38
6	No ablacionada	10,71	92	6,88	91,17	99,52	90	10,851	9,32	120,57
7	Ablacionada	13,54	179	10,26	72,99	98,20	177	20,436	27,16	115,46
7	No ablacionada	10,31	99	7,12	73,63	98,05	95	9,546	25,25	100,48
8	Ablacionada	20,11	125	8,57	78,06	98,40	125	13,170	25,47	105,36
8	No ablacionada	13,85	91	6,74	90,77	99,50	91	14,085	8,83	154,78
9	Ablacionada	18,55	122	9,59	77,35	98,44	119	14,875	18,31	125,00
9	No ablacionada	11,75	75	5,92	87,74	99,30	72	11,474	10,53	159,36
10	Ablacionada	16,68	105	8,11	92,87	99,62	104	14,625	7,11	140,62
10	No ablacionada	12,78	67	4,85	83,15	99,02	67	10,059	15,87	150,13
11	Ablacionada	11,64	117	10,22	82,71	98,91	114	12,103	17,32	106,17
11	No ablacionada	15,10	60	4,87	85,32	99,16	60	8,154	14,70	135,90
12	Ablacionada	15,29	113	9,24	84,49	99,00	110	13,958	19,82	126,89

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registradas	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/eclosión (%)	Náuplios viables (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
12	No ablacionada	16,42	54	4,90	89,76	99,43	54	8,920	7,32	165,19
13	Ablacionada	13,08	118	7,79	94,67	99,73	114	15,576	5,38	136,63
13	No ablacionada	15,27	41	4,18	87,74	99,32	41	7,035	12,50	171,59
14	Ablacionada	12,20	104	7,90	68,51	97,48	104	10,916	32,10	104,96
14	No ablacionada	9,21	56	4,79	88,56	99,34	56	9,846	12,61	175,82
15	Ablacionada	17,04	111	9,58	76,65	98,36	103	11,478	24,48	111,44
15	No ablacionada	10,77	63	4,06	72,86	98,03	58	7,644	28,18	131,79
16	Ablacionada	15,22	98	7,18	94,21	99,70	96	14,228	6,14	148,21
16	No ablacionada	14,68	20	4,94	94,26	99,68	20	3,692	5,74	184,60
17	Ablacionada	11,25	109	7,93	80,28	98,80	109	12,063	20,71	110,67
17	No ablacionada	12,23	66	4,84	72,96	98,05	66	7,488	20,80	113,45
18	Ablacionada	17,78	138	8,07	96,59	99,84	132	18,840	2,89	142,73
18	No ablacionada	12,19	68	10,85	98,68	99,93	65	11,212	1,32	172,49
19	Ablacionada	17,43	98	6,98	78,27	98,63	97	15,206	21,03	156,76
19	No ablacionada	9,13	92	7,40	89,74	99,42	90	13,704	13,12	152,27
20	Ablacionada	11,37	119	9,23	64,31	97,19	118	6,281	28,63	53,23
20	No ablacionada	12,55	78	5,50	88,96	99,38	77	9,122	11,81	118,47
21	Ablacionada	13,02	139	11,44	79,97	98,77	103	10,796	20,01	104,82
21	No ablacionada	10,26	84	5,42	89,61	99,44	91	12,369	9,18	135,92
22	Ablacionada	15,05	107	8,41	68,83	97,08	137	14,861	30,75	108,47
22	No ablacionada	10,31	92	5,14	70,52	98,05	84	9,184	29,69	109,33
23	Ablacionada	10,67	103	7,26	84,33	99,09	100	12,030	15,76	120,30
23	No ablacionada	10,66	92	5,80	88,01	99,33	89	11,724	14,73	131,73
24	Ablacionada	10,63	85	6,30	91,70	99,55	82	12,700	7,23	154,88
24	No ablacionada	8,80	80	5,05	90,38	99,46	79	9,754	8,70	123,47
25	Ablacionada	7,94	106	6,96	85,61	99,12	105	10,608	14,85	101,03
25	No ablacionada	6,96	87	5,50	88,63	99,32	86	10,992	12,18	127,81
26	Ablacionada	8,34	73	5,22	68,89	97,50	72	7,893	28,23	109,62

Día	Sistema	Mortalidad de hembras (%)	Cópulas registrada s	Porcentaje de cópulas ponderado (%)	Fertilidad/ec losión (%)	Náuplios viabiles (%)	Desoves válidos	Náuplios despachables (millones)	Huevos sobrantes (%)	Náuplio por hembra
26	No ablacionada	6,36	86	5,84	85,75	99,12	86	11,214	15,49	130,40
27	Ablacionada	10,29	98	7,48	87,33	99,27	97	13,653	12,75	140,75
27	No ablacionada	8,74	117	6,95	89,40	99,42	115	16,260	11,15	141,39
28	Ablacionada	11,47	109	8,34	73,12	98,19	106	11,779	26,63	111,12
28	No ablacionada	9,01	121	7,86	93,63	99,66	113	15,915	6,18	140,84
29	Ablacionada	14,05	97	7,60	95,17	99,75	97	17,919	4,78	184,73
29	No ablacionada	11,46	87	6,20	86,43	99,40	87	11,055	9,03	127,07
30	Ablacionada	14,29	108	8,79	97,49	99,90	103	17,715	2,48	171,99
30	No ablacionada	13,78	117	8,88	79,43	99,01	112	6,762	21,11	60,38

Anexo 10. Datos de larvicultura

Nota. DPS = días posteriores a la siembra. Los datos de náuplios sembrados, población final en Zoea III, supervivencia y mortalidad se presentan una sola vez, en la última observación de cada tanque, para evitar su repetición dentro de la tabla.

Fecha	Hora	DPS	Tanque	Origen	Estadío predominante	Uniformidad (%)	Deformidad (%)	Náuplios sembrados	Población final Z3	Supervivencia (%)	Mortalidad (%)
12/06/2026	08:00	0	31	No ablacionada	N5	100	6,329				
12/06/2026	08:00	0	32	Ablacionada	N5	100	3,770				
12/06/2026	20:00	0	31	No ablacionada	Z1	100	6,830				
12/06/2026	20:00	0	32	Ablacionada	Z1	100	8,640				
13/06/2026	08:00	1	31	No ablacionada	Z1	100	0,420				
13/06/2026	08:00	1	32	Ablacionada	Z1	100	0,810				
13/06/2026	20:00	1	31	No ablacionada	Z2	55	0,670				
13/06/2026	20:00	1	32	Ablacionada	Z2	60	0,350				
14/06/2026	08:00	2	31	No ablacionada	Z2	100	1,030				
14/06/2026	08:00	2	32	Ablacionada	Z2	100	0,980				
14/06/2026	20:00	2	31	No ablacionada	Z3	22	0,740				
14/06/2026	20:00	2	32	Ablacionada	Z3	25	0,810				
15/06/2026	08:00	3	31	No ablacionada	Z3	93	0,500				
15/06/2026	08:00	3	32	Ablacionada	Z3	88	0,000				

Fecha	Hora	DPS	Tan que	Origen	Estadio predominante	Uniformidad (%)	Deformidad (%)	Náuplios sembrados	Población final Z3	Supervivencia (%)	Mortalidad (%)
15/06/2026	20:00	3	31	No ablacionada	Z3	100	0,340	15 714 285	14 000 000	89,09	10,91
15/06/2026	20:00	3	32	Ablacionada	Z3	100	0,190	15 714 285	14 500 000	92,27	7,73
13/06/2026	08:00	0	15	Ablacionada	N5	100	3,280				
13/06/2026	08:00	0	16	No ablacionada	N5	100	2,910				
13/06/2026	20:00	0	15	Ablacionada	Z1	100	3,740				
13/06/2026	20:00	0	16	No ablacionada	Z1	100	3,120				
14/06/2026	08:00	1	15	Ablacionada	Z1	100	3,080				
14/06/2026	08:00	1	16	No ablacionada	Z1	100	2,950				
14/06/2026	20:00	1	15	Ablacionada	Z2	100	0,920				
14/06/2026	20:00	1	16	No ablacionada	Z2	100	0,870				
15/06/2026	08:00	2	15	Ablacionada	Z2	100	0,410				
15/06/2026	08:00	2	16	No ablacionada	Z2	100	1,230				
15/06/2026	20:00	2	15	Ablacionada	Z3	35	0,720				
15/06/2026	20:00	2	16	No ablacionada	Z3	30	0,560				
16/06/2026	08:00	3	15	Ablacionada	Z3	100	0,300				
16/06/2026	08:00	3	16	No ablacionada	Z3	100	0,300				
16/06/2026	20:00	3	15	Ablacionada	Z3	100	0,960	20 121 429	18 300 000	90,95	9,05

Fecha	Hora	DPS	Tan que	Origen	Estadío predomina nte	Uniformi dad (%)	Deformi dad (%)	Náuplios sembrados	Población final Z3	Supervive ncia (%)	Mortalidad (%)
16/06/2026	20:00	3	16	No ablacionada	Z3	100	0,880	20 121 429	18 500 000	91,94	8,06
15/06/2026	08:00	0	18	Ablacionada	N5	100	0,030				
15/06/2026	08:00	0	19	No ablacionada	N5	100	0,070				
15/06/2026	20:00	0	18	Ablacionada	Z1	99	1,380				
15/06/2026	20:00	0	19	No ablacionada	Z1	99	1,640				
16/06/2026	08:00	1	18	Ablacionada	Z1	100	1,000				
16/06/2026	08:00	1	19	No ablacionada	Z1	100	1,600				
16/06/2026	20:00	1	18	Ablacionada	Z2	80	0,580				
16/06/2026	20:00	1	19	No ablacionada	Z2	40	0,630				
17/06/2026	08:00	2	18	Ablacionada	Z2	100	0,660				
17/06/2026	08:00	2	19	No ablacionada	Z2	100	1,000				
17/06/2026	20:00	2	18	Ablacionada	Z3	90	0,420				
17/06/2026	20:00	2	19	No ablacionada	Z3	90	0,920				
18/06/2026	08:00	3	18	Ablacionada	Z3	100	0,000				
18/06/2026	08:00	3	19	No ablacionada	Z3	100	0,860				
18/06/2026	20:00	3	18	Ablacionada	Z3	100	0,120	10 571 429	8 400 000	79,46	20,54
18/06/2026	20:00	3	19	No ablacionada	Z3	100	0,740	15 142 857	12 900 000	85,19	14,81

Fecha	Hora	DPS	Tan que	Origen	Estadio predomina nte	Uniformi dad (%)	Deformi dad (%)	Náuplios sembrados	Población final Z3	Supervive ncia (%)	Mortalidad (%)
16/06/202 6	08:00	0	21	Ablacionada	N5	100	5,000				
16/06/202 6	08:00	0	22	No ablacionada	N5	100	5,340				
16/06/202 6	20:00	0	21	Ablacionada	Z1	100	0,600				
16/06/202 6	20:00	0	22	No ablacionada	Z1	100	0,530				
17/06/202 6	08:00	1	21	Ablacionada	Z1	100	1,000				
17/06/202 6	08:00	1	22	No ablacionada	Z1	100	3,000				
17/06/202 6	20:00	1	21	Ablacionada	Z2	100	0,330				
17/06/202 6	20:00	1	22	No ablacionada	Z2	100	0,740				
18/06/202 6	08:00	2	21	Ablacionada	Z2	100	0,000				
18/06/202 6	08:00	2	22	No ablacionada	Z2	100	0,000				
18/06/202 6	20:00	2	21	Ablacionada	Z3	100	0,080				
18/06/202 6	20:00	2	22	No ablacionada	Z3	95	0,150				
19/06/202 6	08:00	3	21	Ablacionada	Z3	100	0,570	7 381 429	5 900 000	79,93	20,07
19/06/202 6	08:00	3	22	No ablacionada	Z3	100	0,260	16 307 143	15 264 000	93,60	6,40

Anexo 11. *Tanques y reproductores utilizados durante la investigación*



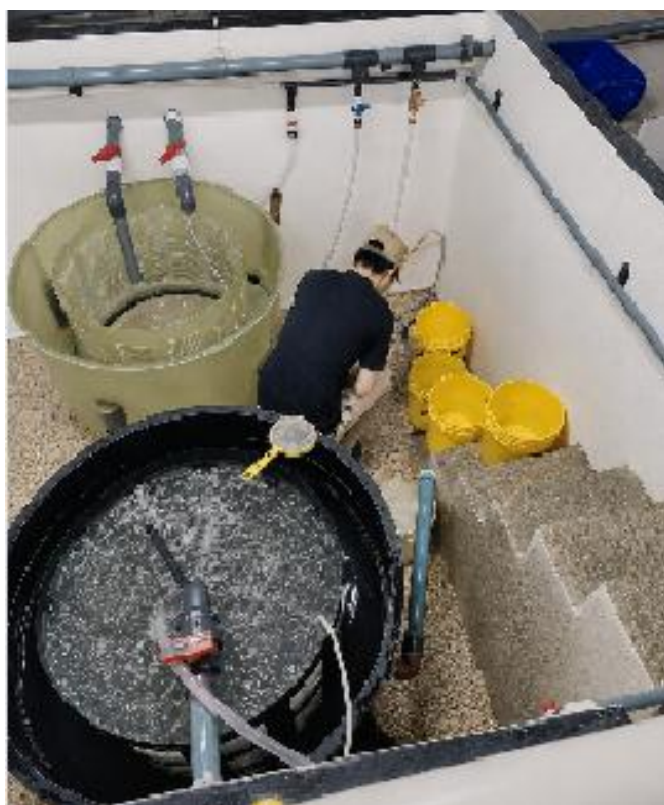
Anexo 12. *Proceso de ablación y manejo de los reproductores*



Anexo 13. *Larvas observadas mediante microscopía*



Anexo 14. *Colección de huevos*



Anexo 15. *Hembras en tanques de desove*



Anexo 16. Toma de parámetros con YSI Pro 2030





TESIS BIRKETT POST COMPILATIO

ID : 16d2ff2500d1172b16a73e3abd43bb6987f3de6c



8%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS BIRKETT POST COMPILATIO.txt
Tamaño del archivo original : 16,98 MB
Número de palabras : 39.828

Depositante : WILLIAM JAMIL SANTOS SANCHEZ
Fecha de depósito : 5 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 5 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 3%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA 3%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos 2%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas <1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.



La libertad, 4 de agosto de 2026

Ingeniero

Jimmy Villón Moreno, MSc.

Director Carrera Biología

COMISIÓN DE TITULACIÓN

En su despacho. –

De mi consideración

Por medio del presente informo a usted que el estudiante **KENNETH ALEXANDER BIRKETT TAMARIZ**, con cédula de identidad N°**0926365362**, ha realizado las correcciones y concluido con la propuesta del Trabajo de Titulación cuyo tema es “**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ABLACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO REPRODUCTIVO EN *Penaeus vannamei***”, por tal motivo extendiendo al aval y puede continuar con el respectivo proceso para optar al título de Biólogo.

Particular que comunico para los fines pertinentes.



Validar únicamente en FirmadoSC.
Firmado electrónicamente por:
**WILLIAM JAMIL
SANTOS SANCHEZ**

Blgo. William Santos Sánchez M.Sc

Somos lo que el mundo necesita