



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

TEMA

Optimización de la alimentación en precrias de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con alimentadores automáticos: eficiencia, impacto ambiental y productividad.

AUTOR

Lic. Marlon Javier Avelino Armijos

**TRABAJO DE TITULACIÓN
Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA**

TUTOR

PhD. César Molina Poveda

La Libertad – Ecuador

2026



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

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

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

PhD. César Molina Poveda
TUTOR

MSc. Jorge Blacio Game
ESPECIALISTA 1

PhD. Carlos Raúl Carpio Freire
ESPECIALISTA 2

Ab. María Rivera González. Mgtr.
**SECRETARIA GENERAL
UPSE**



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

CERTIFICACIÓN

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

Atentamente,

PhD. Cesar Molina Poveda
TUTOR



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Marlon Javier Avelino Armijos

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Optimización de la alimentación en precrias de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con alimentadores automáticos: eficiencia, impacto ambiental y productividad, previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Santa Elena, a los 31 días del mes de marzo de 2026.

Lic. Marlon Javier Avelino Armijos
AUTOR



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

AUTORIZACIÓN

Yo, Marlon Javier Avelino Armijos

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Santa Elena, a los 31 días del mes de marzo de 2026.

Lic. Marlon Javier Avelino Armijos
AUTOR



UPSE

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

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **Optimización de la alimentación en precrías de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con alimentadores automáticos: eficiencia, impacto ambiental y productividad**, presentado por el estudiante, Marlon Javier Avelino Armijos fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

INFORME DE ANÁLISIS magister		
Tesis final Avelino Armijo		<p>6% Textos sospechosos</p> <p>0% Similitudes 0% similitudes entre comillas 0% entre las fuentes mencionadas</p> <p>1% Idiomas no reconocidos</p> <p>5% Textos potencialmente generados por IA</p>
<p>Nombre del documento: Tesis final Avelino Armijo.docx ID del documento: 61781c10d58f51e9f8e5b0480e096d8e82e7398b Tamaño del documento original: 94,81 kB</p>	<p>Depositante: SONNYA PATRICIA MENDOZA LOMBANA Fecha de depósito: 22/2/2026 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 22/2/2026</p>	<p>Número de palabras: 17.441 Número de caracteres: 113.897</p>
Ubicación de las similitudes en el documento:		

PhD. Cesar Molina Poveda
TUTOR

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo constante fue fundamental para la culminación de esta etapa académica.

A mi esposa Emily Cedeño, por su amor, paciencia y acompañamiento incondicional a lo largo de este proceso. Gracias por comprender los sacrificios, las largas jornadas y los momentos de ausencia que este objetivo demandó. A mis hijos Abel Avelino, Yuuna Avelino y Sasha Avelino, por ser mi mayor inspiración y la principal motivación para perseverar; cada esfuerzo realizado tuvo como propósito construir un mejor futuro para ustedes.

A mis padres, Vicente Avelino y Ligia Armijos, por los valores inculcados, el respaldo permanente y la confianza depositada en mí desde siempre. Su ejemplo ha sido una base sólida en mi formación personal y profesional.

Un agradecimiento muy especial a Yuri Cedeño, quien me brindó su apoyo y me introdujo en el mundo de la acuicultura, compartiendo su experiencia y conocimientos, y orientándome en los primeros pasos dentro de esta disciplina, lo cual fue determinante para el desarrollo de este camino profesional.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, Dr. César Molina Poveda, por su guía académica, su disposición constante y sus valiosos aportes científicos. Su acompañamiento y criterio fueron claves para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en especial a la Facultad de Ciencias del Mar, por la formación académica brindada y por proporcionar el entorno institucional que hizo posible el desarrollo de esta maestría en Acuicultura.

Marlon Javier Avelino Armijos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis hijos Abel Avelino, Yuuna Avelino y Sasha Avelino, quienes son la razón más profunda de cada esfuerzo realizado. Ustedes han sido mi mayor motivación para seguir adelante, incluso en los momentos de cansancio y duda. Todo sacrificio ha valido la pena por el ejemplo que deseo dejarles.

A mi esposa Emily Cedeño, por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí, por sostenerme cuando las fuerzas flaqueaban y por caminar a mi lado en cada etapa de este proceso. Este logro también es tuyo.

A mis padres, Vicente Avelino y Ligia Armijos, por los valores, la educación y el apoyo constante que me brindaron desde siempre. Su esfuerzo y ejemplo han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Y de manera muy especial, a Yuri Cedeño, mi suegro, quien me dio la mano para ingresar al mundo de la acuicultura y despertó en mí el interés y la pasión por esta área. Su guía y confianza marcaron el inicio de este camino profesional que hoy se consolida.

Marlon Javier Avelino Armijos

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Camarón blanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>): aspectos biológicos y productivos.....	7
1.1.1. Fisiología del crecimiento y requerimientos nutricionales en etapas tempranas.....	7
1.1.2. Comportamiento alimenticio y ritmos de ingesta.....	8
1.2. La etapa de precría en camaronicultura.....	9
1.2.1. Definición, objetivos productivos y ventanas PL.....	10
1.2.2. Importancia de la precría en el desempeño del engorde.....	10
1.2.3. Sistemas de precría en estanques de tierra: manejo operativo	11
1.3. Alimentación en precrías: fundamentos y problemáticas del método tradicional.....	11
1.3.1. Alimentación al voleo: características, ventajas y limitaciones	11
1.3.2. Sub/sobrealimentación y su impacto en costos y desempeño productivo	12
1.3.3. Estimación de raciones: biomasa, tablas de alimentación, bandejas/platos, observación del tracto.....	13
1.4. Alimentadores automáticos en acuicultura.....	14
1.4.1. Concepto, tipos y funcionamiento de los alimentadores automáticos.....	14
1.4.2. Estrategias de multidosis y curvas de alimentación	15
1.4.3. Ventajas y retos de adopción en precría.....	15
1.5. Eficiencia alimenticia e indicadores productivos.....	16
1.5.1. Crecimiento y peso final	16
1.5.2. Supervivencia: factores que la afectan en precría	17
1.5.3. Factor de conversión alimenticia (FCA): concepto, cálculo e interpretación	17
1.6. Impacto ambiental del manejo de alimento en precría.....	18
1.6.1. Desperdicio de alimento y carga orgánica del sistema.....	18
1.6.2. Materia orgánica en sedimento: formación, medición e implicaciones	18
1.6.3. Sólidos suspendidos totales (SST)	19

1.6.4. Amonio (NH ₄ ⁺ /NH ₃), pH y toxicidad: dinámica e impacto fisiológico	19
1.7. Indicadores fisiológicos/nutricionales complementarios	19
1.7.1. Hepatopáncreas como indicador de condición nutricional.....	20
1.8. Antecedentes investigativos	21
1.8.1. Evidencia sobre alimentación automática en engorde vs precría	21
1.8.2. Estudios comparativos sobre eficiencia, calidad de agua e indicadores productivos.....	22
1.8.3. Vacíos de conocimiento y aporte del presente estudio (posición crítica del autor).....	22
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1. Enfoque de investigación y tipo de estudio.....	24
2.2. Área de estudio y unidades experimentales	24
2.3. Diseño experimental.....	25
2.3.1. Tratamientos.....	25
2.3.2. Número de ciclos, réplicas y criterios de homogeneidad.....	26
2.3.3. Densidad de siembra y origen de postlarvas	26
2.4. Preparación y manejo de estanques.....	27
2.4.1. Preparación previa a la siembra.....	27
2.4.2. Manejo durante el ciclo de precría	28
2.5. Protocolo de alimentación.....	29
2.5.1. Cálculo de ración diaria.....	29
2.5.2. Tratamiento Alimentación Automática	30
2.5.3. Tratamiento Alimentación Tradicional al voleo	30
2.6. Instrumentos y técnicas de medición / recolección de datos.....	31
2.6.1. Cuantificación de sobrantes (triángulo de arrastre).....	31
2.6.2. Muestreos biométricos (peso, crecimiento).....	33
2.6.3. Medición de calidad de agua	34
2.6.4. Muestreo de sedimento y determinación de materia orgánica (MO)	34
2.6.5. Evaluación de lípidos en hepatopáncreas (condición nutricional)	35
2.7. Variables del estudio y operacionalización.....	35
2.7.1. Variables productivas	36
2.7.2. Variables ambientales	37
2.7.3. Variables fisiológicas	37
2.8. Análisis estadístico.....	37
2.8.1. Estadística descriptiva	38
2.8.2. Verificación de supuestos estadísticos	38
2.8.3. Prueba inferencial.....	38
2.8.4. Nivel de significancia y software utilizado	39
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39

3.1. Resultados productivos por sistema de alimentación.....	39
3.1.1. Peso final de postlarvas	40
3.1.2. Tasa de crecimiento diario	40
3.1.3. Supervivencia	41
3.1.4. Factor de conversión alimenticia (FCA)	41
3.2. Resultados ambientales por sistema de alimentación.....	43
3.2.1. Materia orgánica del sedimento	43
3.2.2. Oxígeno disuelto y temperatura como variables de control ambiental	44
3.3. Resultados fisiológicos y nutricionales	47
3.3.1. Contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad y final del ciclo.....	47
3.3.2. Contenido lipídico del hepatopáncreas al final del experimento.....	48
3.3.3. Consideraciones metodológicas del análisis fisiológico	49
3.3.4. Síntesis estadística de los indicadores evaluados	49
3.4. Discusión.....	50
3.4.1. Comparación de los resultados productivos con estudios recientes	51
3.4.2. Implicaciones del manejo alimenticio sobre la eficiencia productiva y el sedimento....	52
3.4.3. Relación entre alimentación automática y condición fisiológica	54
3.4.4. Interpretación de resultados no significativos	55
3.4.5. Limitaciones del estudio y oportunidades de mejora	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos nutricionales generales del camarón blanco (<i>L. vannamei</i>) en etapa de precría.....	8
Tabla 2. Ventanas de precría y objetivos productivos en el cultivo de camarón blanco	10
Tabla 3. Efectos productivos y ambientales asociados a la subalimentación y sobrealimentación en precrías	13
Tabla 4. Protocolo de mantenimiento aplicado durante el ciclo de precría.....	28
Tabla 5. Operacionalización de las variables del estudio	36
Tabla 6. Peso final promedio de postlarvas según el sistema de alimentación	40
Tabla 7. Tasa de crecimiento diario según el sistema de alimentación	40
Tabla 8. Supervivencia promedio de postlarvas según el sistema de alimentación	41
Tabla 9. Factor de conversión alimenticia (FCA) en precrías con alimentación automática	42
Tabla 10. Factor de conversión alimenticia (FCA) en precrías con alimentación tradicional al voleo	42
Tabla 11. Contenido de materia orgánica (%) en el sedimento según el sistema de alimentación.....	43
Tabla 12. Resumen estadístico de temperatura por tratamiento	44
Tabla 13. Resumen estadístico de oxígeno disuelto por tratamiento	45
Tabla 14. Contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad del ciclo(MC), final del ciclo (FC) y variables ambientales asociadas.....	47
Tabla 15. Variación del contenido lipídico del hepatopáncreas al final del experimento..	48
Tabla 16. Resumen comparativo de indicadores productivos, ambientales y fisiológicos según el sistema de alimentación.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual del comportamiento alimenticio del camarón bajo alimentación tradicional y alimentación fraccionada	9
Figura 2. Monitoreo de sobrantes de alimento mediante triángulo de arrastre en estanques de precría	33
Figura 3. Variación de la temperatura diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio de las 6 precrías que fueron suministrados el alimento mediante alimentadores automáticos.	45
Figura 4. Variación de la temperatura diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio de las 6 precrías que fueron suministrados el alimento mediante voleo.	45
Figura 5. Variación diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio del oxígeno disuelto de los seis estanques de precría con alimentación automática.....	46
Figura 6. Variación diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio del oxígeno disuelto de los seis estanques de precría con alimentación al voleo.....	46

RESUMEN

La investigación evaluó la eficiencia productiva de la alimentación automática frente al método tradicional al voleo en el cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei*. El objetivo fue determinar su efecto sobre el crecimiento, sobrevivencia, conversión alimenticia y acumulación de materia orgánica en el sedimento. Se empleó un diseño experimental con comparación de tratamientos bajo condiciones controladas, analizando parámetros productivos y ambientales mediante pruebas estadísticas con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados mostraron tendencias favorables en crecimiento y eficiencia alimenticia en el sistema automático; sin embargo, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Asimismo, se registró una menor acumulación de materia orgánica en el sedimento bajo el esquema de alimentación fraccionada. Estos resultados deben interpretarse como tendencias observadas bajo las condiciones del ensayo. Estos resultados muestran tendencias numéricas favorables en crecimiento y una menor acumulación de materia orgánica en sedimento bajo alimentación automática, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Los hallazgos son coherentes con evidencia previa sobre el potencial de la alimentación fraccionada, pero requieren confirmación en estudios con mayor potencia estadística.

Palabras clave: alimentación automática, eficiencia productiva, *Litopenaeus vannamei*.

ABSTRACT

The research evaluated the effects of automatic feeding compared to traditional broadcast feeding in the nursery stage of *Litopenaeus vannamei* under commercial pond conditions. The objective was to assess impacts on growth, survival, and organic matter accumulation in sediment. An experimental design with treatments under field conditions was used, analyzing productive and environmental parameters through statistical tests at a 0.05 significance level. Results showed numerically higher values for final weight, daily growth rate, and survival in the automatic feeding treatment, along with lower average organic matter in sediment, although differences were not statistically significant ($p > 0.05$). These findings indicate trends consistent with previous evidence on fractional feeding, but require confirmation in studies with greater statistical power.

Keywords: automatic feeding, productive efficiency, *Litopenaeus vannamei*.

INTRODUCCIÓN

Contexto y relevancia de la camaricultura

La camaricultura constituye una de las actividades acuícolas de mayor relevancia a nivel mundial, tanto por su aporte a la seguridad alimentaria como por su impacto económico en los países productores (Pazmiño & Santamarta, 2025). Dentro de este contexto, el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) se ha consolidado como la principal especie cultivada, debido a su alta adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, rápido crecimiento, buena eficiencia alimenticia y elevada aceptación en los mercados internacionales (Valdés, 2024).

En el caso de Ecuador, la producción de camarón blanco representa uno de los pilares fundamentales del sector acuícola y de la economía nacional, posicionándose como el segundo producto de exportación no petrolero del país (Armijos, 2023). La expansión sostenida del cultivo, particularmente en las provincias de Guayas, El Oro, Manabí, Esmeraldas y Santa Elena, ha permitido incrementar significativamente los volúmenes de producción y fortalecer la competitividad del sector en mercados estratégicos como Estados Unidos, China y la Unión Europea (Pulgarín, 2022). Este crecimiento, sin embargo, ha venido acompañado de mayores exigencias en términos de eficiencia productiva, sostenibilidad ambiental y control de costos operativos.

El desarrollo tecnológico aplicado a la camaricultura ha permitido optimizar diversas etapas del ciclo productivo, desde la producción larvaria hasta el engorde. No obstante, la etapa de precría continúa siendo un eslabón crítico, ya que de ella depende en gran medida el desempeño posterior del camarón durante la fase de engorde (Eras, 2021). Aspectos como el peso de transferencia, la uniformidad de tallas, la supervivencia y la condición fisiológica de los organismos al final de la precría influyen directamente en la duración del ciclo productivo, el factor de conversión alimenticia y la rentabilidad final del cultivo (Reyes & Tomalá, 2023).

En este escenario, el manejo de la alimentación adquiere una importancia estratégica. El alimento balanceado constituye el principal costo operativo del cultivo y, al mismo tiempo, una de las principales fuentes de impacto ambiental cuando no es gestionado adecuadamente. Por ello, la adopción de tecnologías que permitan mejorar la eficiencia en la entrega y aprovechamiento del alimento resulta fundamental para avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles y competitivos, especialmente en fases tempranas como la

precría, donde los márgenes de error son reducidos y los efectos acumulativos pueden comprometer el rendimiento global del sistema.

Planteamiento del problema

En los sistemas de precría de camarón blanco, el manejo inadecuado de la alimentación constituye uno de los principales factores que limitan el desempeño productivo y la sostenibilidad ambiental del cultivo. Tradicionalmente, la alimentación en esta etapa se realiza mediante el método manual al voleo, basado en tablas de alimentación, observación del tracto intestinal, uso de bandejas o criterios empíricos desarrollados a partir de la experiencia operativa de cada finca. Si bien estas prácticas han permitido sostener la producción, presentan limitaciones importantes en cuanto a la precisión y el control real del consumo del alimento.

La falta de un control preciso sobre la cantidad de alimento efectivamente ingerido por las postlarvas conduce frecuentemente a escenarios de sobrealimentación. El alimento no consumido se deposita en el fondo del estanque, donde se degrada y contribuye al aumento de la carga orgánica del sistema. Este proceso genera acumulación de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, altera la calidad del agua y favorece la formación de compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos, como el amonio, que afectan negativamente la fisiología, el crecimiento, la muda y la respuesta inmune de los organismos en cultivo.

Estas condiciones adversas se traducen en una disminución de la supervivencia, un crecimiento menos eficiente y un incremento del factor de conversión alimenticia, comprometiendo la rentabilidad del sistema productivo. Adicionalmente, el deterioro de la calidad del agua incrementa la vulnerabilidad del cultivo frente a enfermedades y reduce la capacidad de carga de los estanques de precría, generando riesgos operativos y ambientales.

En los últimos años, la alimentación automática ha sido ampliamente adoptada en la fase de engorde del camarón, demostrando beneficios en términos de eficiencia alimenticia, uniformidad de crecimiento y reducción del desperdicio. Sin embargo, su aplicación en la etapa de precría aún es limitada y poco documentada, especialmente en condiciones comerciales de campo. La ausencia de evaluaciones comparativas sistemáticas entre sistemas de alimentación automática y métodos tradicionales en precría dificulta la toma de decisiones técnicas fundamentadas y limita la adopción de tecnologías que podrían mejorar significativamente el desempeño productivo y ambiental del cultivo.

Justificación productiva

Desde el punto de vista productivo, la etapa de precría es determinante para establecer las bases del rendimiento del camarón durante el engorde. Un manejo eficiente de la alimentación en esta fase permite mejorar el crecimiento inicial, aumentar la supervivencia y obtener organismos más homogéneos y fisiológicamente robustos al momento de la transferencia. La implementación de alimentadores automáticos ofrece la posibilidad de suministrar el alimento de forma fraccionada y continua, alineándose con los patrones naturales de alimentación del camarón y favoreciendo un mayor aprovechamiento de los nutrientes. Evaluar su desempeño en precría resulta fundamental para optimizar los indicadores productivos clave del sistema.

Justificación ambiental

La sostenibilidad ambiental de la camaronicultura depende en gran medida del control de los residuos orgánicos generados durante el cultivo. El alimento no consumido representa una de las principales fuentes de contaminación interna del estanque, afectando la calidad del agua y del sedimento. La reducción del desperdicio de alimento mediante estrategias de alimentación más precisas contribuye a disminuir la acumulación de materia orgánica, estabilizar los parámetros fisicoquímicos y reducir el riesgo de toxicidad por compuestos nitrogenados. En este sentido, el uso de alimentadores automáticos se presenta como una alternativa tecnológica con potencial para mitigar el impacto ambiental asociado a la precría.

Justificación técnica

A nivel técnico, existe una brecha de conocimiento en relación con la aplicación de sistemas de alimentación automática en precrías de camarón blanco, particularmente en estanques de tierra y bajo condiciones comerciales reales. La mayoría de los estudios y experiencias documentadas se concentran en la fase de engorde, mientras que la precría ha recibido menor atención. Este trabajo busca generar información técnica confiable sobre el desempeño de los alimentadores automáticos en esta etapa crítica, aportando criterios operativos que puedan ser replicados y adaptados por el sector productivo.

Justificación económica

Desde una perspectiva económica, el alimento balanceado representa el mayor costo directo del cultivo de camarón. La mejora en la eficiencia de su uso tiene un impacto directo en la rentabilidad del sistema. La reducción del factor de conversión alimenticia, el acortamiento

del ciclo productivo y la disminución de pérdidas asociadas a mortalidad y deterioro de la calidad del agua pueden traducirse en ahorros significativos y en una mayor competitividad de las unidades productivas. Evaluar el uso de alimentadores automáticos en precría permite analizar su viabilidad como inversión tecnológica orientada a optimizar costos y maximizar beneficios económicos.

Formulación del problema / Preguntas de investigación

A pesar del crecimiento sostenido de la camaricultura y de los avances tecnológicos incorporados en las fases de engorde, el manejo de la alimentación en la etapa de precría continúa presentando limitaciones técnicas que afectan tanto el desempeño productivo como la sostenibilidad ambiental del sistema. En particular, el uso predominante de la alimentación manual al voleo dificulta el control preciso del consumo real del alimento, favoreciendo el desperdicio, la acumulación de residuos orgánicos y el deterioro de la calidad del agua.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas que permitan optimizar los procesos de alimentación en precrías de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), especialmente bajo condiciones comerciales de campo. Si bien los alimentadores automáticos han mostrado resultados favorables en la fase de engorde, su aplicación en precría requiere ser analizada de manera sistemática, considerando no solo los indicadores productivos, sino también su impacto ambiental.

A partir de esta problemática, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿La implementación de alimentadores automáticos en precrías de camarón blanco reduce el desperdicio de alimento balanceado en comparación con la alimentación tradicional al voleo?
- ¿El uso de alimentación automática influye positivamente en los indicadores productivos de crecimiento, supervivencia y factor de conversión alimenticia durante la etapa de precría?
- ¿La alimentación automática contribuye a mejorar las condiciones ambientales del sistema de precría, particularmente en términos de acumulación de materia orgánica en el sedimento?

Objetivo general

Optimizar los procesos de alimentación en precrías de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* mediante la implementación de alimentación automática, con el fin de reducir el desperdicio de alimento, mitigar el impacto ambiental y mejorar los indicadores productivos de supervivencia, crecimiento y conversión alimenticia.

Objetivos específicos

- Desarrollar un protocolo de manejo de alimentación utilizando alimentadores automáticos en precrías de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.
- Evaluar la eficiencia de los alimentadores automáticos en la reducción del desperdicio de alimento balanceado en los sistemas de precría de camarón blanco.
- Medir los efectos de la alimentación automática sobre los indicadores productivos, tales como crecimiento, supervivencia y factor de conversión alimenticia, en comparación con sistemas de alimentación tradicionales.

Hipótesis nula (H₀)

La implementación de alimentadores automáticos en precrías de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* no genera diferencias significativas en la reducción del desperdicio de alimento balanceado, en la calidad del agua ni en los indicadores productivos, tales como el factor de conversión alimenticia, la supervivencia y el crecimiento, en comparación con los métodos tradicionales de alimentación.

Hipótesis alternativa (H_a)

La implementación de alimentadores automáticos en precrías de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* reduce significativamente el desperdicio de alimento balanceado, mejora las condiciones ambientales del sistema y optimiza los indicadores productivos, tales como el factor de conversión alimenticia, la supervivencia y el crecimiento, en comparación con los métodos tradicionales de alimentación.

Resultados esperados / Aportes del estudio

Se espera que la implementación de alimentadores automáticos en la etapa de precría permita una distribución más eficiente del alimento, reflejada en una reducción del desperdicio y en una menor acumulación de materia orgánica en el sedimento de los estanques. Asimismo, se anticipa una posible mejora en los indicadores productivos, evidenciada por mayores tasas

de crecimiento, mejores porcentajes de supervivencia y una tendencia a la optimización del factor de conversión alimenticia.

Desde el punto de vista técnico, el estudio aportará información aplicada sobre el diseño y manejo de protocolos de alimentación automática en precría, generando criterios operativos que puedan ser replicados o ajustados por otras unidades productivas. Adicionalmente, los resultados contribuirán a fortalecer el conocimiento existente sobre la relación entre estrategias de alimentación, desempeño zootécnico y calidad ambiental en etapas tempranas del cultivo de camarón blanco.

Alcance y limitaciones del estudio

El presente estudio se desarrolló bajo condiciones comerciales reales en estanques de tierra destinados a la precría de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, evaluando dos estrategias de alimentación: alimentación automática y alimentación tradicional al voleo. El análisis se centró en indicadores productivos (crecimiento, supervivencia y factor de conversión alimenticia), ambientales (materia orgánica en sedimento) y fisiológicos (contenido lipídico en hepatopáncreas), durante ciclos de precría de corta duración.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran la variabilidad inherente a los sistemas acuícolas en campo abierto, las condiciones ambientales propias de la época de evaluación y el tamaño muestral asociado al número de ciclos productivos analizados, factores que pueden influir en la significancia estadística de los resultados. No obstante, estas condiciones reflejan el entorno real de producción, lo que confiere validez práctica a los hallazgos obtenidos y permite interpretar los resultados desde una perspectiva aplicada al sector camaronero.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*): aspectos biológicos y productivos

El camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) es la especie más utilizada en la camaronicultura a nivel mundial debido a su alta plasticidad fisiológica, rápido crecimiento, tolerancia a amplios rangos de salinidad y buena respuesta a dietas balanceadas. Estas características lo convierten en un organismo particularmente adecuado para sistemas de cultivo intensivos y semiintensivos, así como para esquemas productivos que incorporan tecnologías de manejo, como la alimentación automatizada (Briones & Vargas, 2025).

Desde el punto de vista productivo, el desempeño del camarón está estrechamente ligado a factores biológicos como la eficiencia en el uso del alimento, la capacidad de crecimiento durante las primeras etapas de vida y la adaptación a las condiciones ambientales del estanque (Maldonado & Bazán, 2024). En este sentido, las fases tempranas del cultivo, especialmente la precría, representan un periodo crítico donde se definen gran parte de los resultados productivos posteriores, incluyendo la supervivencia, el peso de transferencia y la uniformidad de tallas.

1.1.1. Fisiología del crecimiento y requerimientos nutricionales en etapas tempranas

El crecimiento del camarón blanco durante las etapas tempranas se caracteriza por una alta tasa metabólica y una elevada demanda energética, asociada a procesos fisiológicos como la muda, la diferenciación de tejidos y el desarrollo del sistema digestivo (Maldonado & Bazán, 2024). Durante la fase de postlarva y precría, los organismos presentan una eficiencia limitada en el almacenamiento de reservas energéticas, lo que los hace altamente dependientes de una alimentación constante y adecuada.

Los requerimientos nutricionales en estas etapas incluyen un adecuado aporte de proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas, siendo la proteína el componente más relevante para sostener el crecimiento estructural. Dietas con niveles proteicos inadecuados o con baja disponibilidad nutricional pueden generar retrasos en el crecimiento, mayor variabilidad de tallas y debilitamiento fisiológico (Lemos & Weissman, 2020). La Tabla 1 presenta de forma sintética los principales requerimientos nutricionales del camarón blanco durante la fase de precría, de acuerdo con la literatura técnica reciente.

Tabla 1. *Requerimientos nutricionales generales del camarón blanco (*L. vannamei*) en etapa de precría*

Componente nutricional	Requerimiento aproximado	Función principal
Proteína (%)	35 – 40	Crecimiento y formación de tejidos
Lípidos (%)	6 – 8	Fuente energética y metabolismo
Carbohidratos (%)	20 – 25	Energía rápida
Minerales	Adecuado balance	Muda y osmorregulación
Vitaminas	Niveles traza	Funciones metabólicas

Fuente: Información obtenida de (Lemos & Weissman, 2020)

El equilibrio nutricional es clave para garantizar un crecimiento eficiente. No obstante, tan importante como la composición de la dieta es la forma en que el alimento es suministrado. Una entrega inadecuada, aun con dietas balanceadas de alta calidad, puede traducirse en bajo aprovechamiento nutricional y mayores pérdidas por desperdicio.

1.1.2. Comportamiento alimenticio y ritmos de ingesta

El camarón blanco presenta un comportamiento alimenticio bentónico y oportunista, con mayor actividad de ingesta durante periodos en los que las condiciones ambientales, especialmente el oxígeno disuelto y la temperatura, son favorables. En etapas tempranas, este comportamiento se intensifica debido a la necesidad constante de energía para sostener el crecimiento y la muda (Guacho, 2022).

Estudios como el de Nunes & Dragoy (2021), han demostrado que el camarón no consume grandes cantidades de alimento en una sola ingesta, sino que responde mejor a múltiples raciones pequeñas distribuidas a lo largo del día. Este patrón natural de alimentación contrasta con los esquemas tradicionales de suministro al voleo, que suelen concentrar la ración diaria en dos o tres eventos, generando periodos prolongados en los que el alimento permanece sin consumir en el fondo del estanque.

La Figura 1 ilustra de manera conceptual la diferencia entre un esquema de alimentación tradicional y un esquema de alimentación fraccionada, destacando la mayor sincronización entre la oferta de alimento y el comportamiento natural de ingesta del camarón.

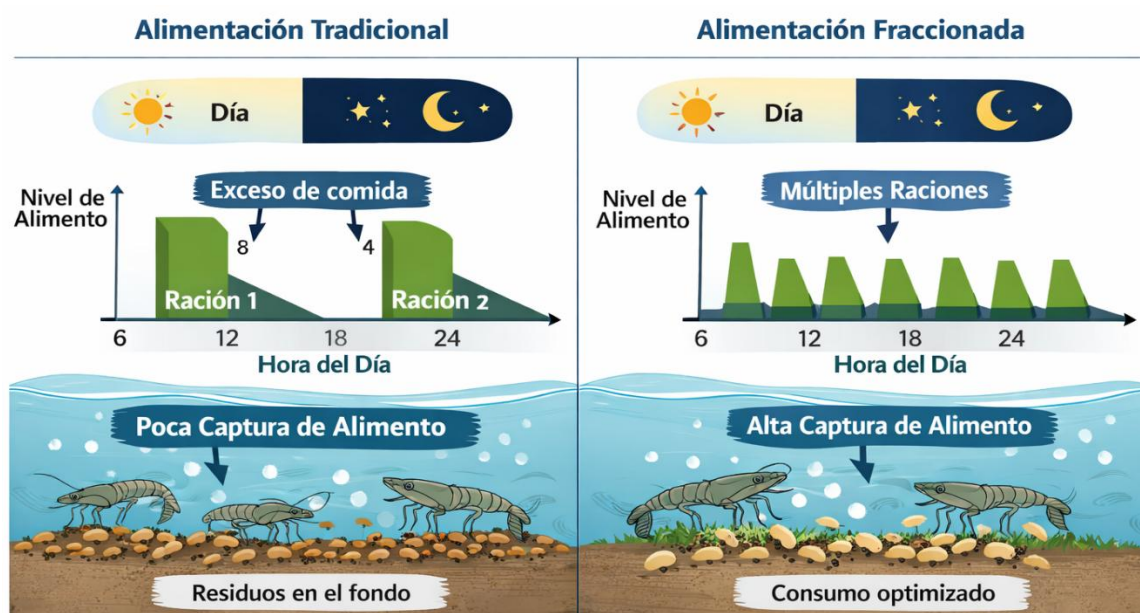


Figura 1. Esquema conceptual del comportamiento alimenticio del camarón bajo alimentación tradicional y alimentación fraccionada

Nota: Elaboración propia en base a información de (Nunes & Dragoy, 2021).

Este desajuste entre oferta y demanda alimenticia en sistemas tradicionales favorece la acumulación de residuos orgánicos y reduce la eficiencia de aprovechamiento del alimento. Por el contrario, los sistemas de alimentación automática permiten adaptar la frecuencia y la dosificación a los ritmos naturales de ingesta, mejorando la eficiencia alimenticia y reduciendo el impacto ambiental.

1.2. La etapa de precría en camaronicultura

La precría constituye una fase intermedia entre la producción larvaria y el engorde, cuyo objetivo principal es fortalecer fisiológicamente a las postlarvas y prepararlas para un desempeño óptimo en la siguiente etapa productiva. Durante este periodo, los organismos experimentan un rápido crecimiento, acompañado de cambios morfológicos y metabólicos que determinan su capacidad de adaptación al sistema de engorde.

Desde una perspectiva productiva, la precría permite reducir la duración del ciclo de engorde, mejorar la supervivencia inicial y aumentar la uniformidad de tallas, aspectos que impactan directamente en la eficiencia operativa y económica del cultivo (Hoyos & Cobo, 2023).

1.2.1. Definición, objetivos productivos y ventanas PL

La precría se define como la fase de cultivo en la cual las postlarvas, generalmente entre los estadios PL5 y PL20 (o según el protocolo específico de cada finca), son mantenidas bajo condiciones controladas hasta alcanzar un tamaño adecuado para su transferencia a los estanques de engorde (Espinoza, 2025). Los objetivos productivos de esta etapa incluyen:

- Incrementar el peso inicial de los organismos.
- Mejorar la supervivencia temprana.
- Reducir el estrés asociado a la siembra directa en engorde.
- Obtener poblaciones más uniformes.

La Tabla 2 presenta las principales ventanas de precría y sus objetivos productivos asociados.

Tabla 2. *Ventanas de precría y objetivos productivos en el cultivo de camarón blanco*

Ventana PL	Duración aproximada	Objetivo principal
PL5 – PL10	Corto plazo	Aclimatación y supervivencia
PL10 – PL15	Intermedia	Inicio de crecimiento acelerado
PL15 – PL20+	Extendida	Peso de transferencia y uniformidad

Fuente: Información obtenida de (Hoyos & Cobo, 2023)

1.2.2. Importancia de la precría en el desempeño del engorde

El éxito del engorde está estrechamente vinculado a la calidad de los organismos transferidos desde la precría. Postlarvas con mayor peso inicial, buena condición nutricional y alta supervivencia presentan una mejor adaptación al sistema de engorde, menor mortalidad temprana y un crecimiento más homogéneo.

Asimismo, una precría bien manejada permite reducir la duración total del ciclo productivo, lo que se traduce en una mayor rotación de los estanques y una disminución de los costos operativos. En este sentido, la optimización de la alimentación durante la precría se convierte en un factor estratégico para maximizar el rendimiento global del sistema (Tran & Nguyen, 2021).

1.2.3. Sistemas de precría en estanques de tierra: manejo operativo

Los sistemas de precría en estanques de tierra son ampliamente utilizados en regiones tropicales debido a su versatilidad y bajo costo relativo. Estos sistemas requieren un manejo operativo cuidadoso que incluya la preparación del estanque, el control de la calidad del agua, la aplicación de enmiendas y el manejo eficiente de la alimentación (Del Castillo & Velásquez, 2021).

El uso de estanques de tierra implica una interacción directa entre el alimento no consumido, el sedimento y la columna de agua. Por ello, el manejo de la alimentación adquiere un rol central en la prevención de la acumulación excesiva de materia orgánica y en el mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo del camarón (Palma, 2023).

En este contexto, la incorporación de tecnologías de alimentación automática representa una herramienta con alto potencial para mejorar el control del proceso alimenticio, reducir los residuos orgánicos y optimizar el desempeño productivo durante la etapa de precría, sentando las bases para un engorde más eficiente y sostenible.

1.3. Alimentación en precrías: fundamentos y problemáticas del método tradicional

La alimentación constituye el eje central del manejo productivo en la etapa de precría del camarón blanco, ya que de ella depende no solo el crecimiento y la supervivencia de las postlarvas, sino también la estabilidad ambiental del sistema de cultivo. En esta fase temprana, los organismos presentan altas demandas metabólicas y una capacidad limitada para compensar deficiencias nutricionales, por lo que cualquier ineficiencia en el suministro del alimento puede traducirse en impactos negativos acumulativos sobre el desempeño productivo.

Históricamente, la alimentación en precrías se ha manejado mediante esquemas tradicionales basados en la dispersión manual del alimento, principalmente al voleo, apoyados en criterios empíricos y herramientas indirectas de control. Si bien estos métodos han permitido sostener la producción, presentan limitaciones importantes en términos de precisión, eficiencia y control ambiental (Cevallos B. , 2023).

1.3.1. Alimentación al voleo: características, ventajas y limitaciones

La alimentación al voleo consiste en la dispersión manual del alimento balanceado sobre la superficie del estanque o a lo largo de su perímetro, siguiendo recorridos definidos por el

personal operativo. Este método se caracteriza por su simplicidad, bajo requerimiento tecnológico y facilidad de implementación, razones por las cuales ha sido ampliamente adoptado en sistemas de precría y engorde_(Torres & Franco, 2020).

Entre sus principales ventajas se encuentra la flexibilidad operativa, ya que permite realizar ajustes rápidos en la cantidad de alimento suministrado en función de observaciones directas del cultivo. Además, no requiere inversiones iniciales elevadas ni infraestructura especializada, lo que lo hace accesible para una amplia gama de productores.

No obstante, la alimentación al voleo presenta limitaciones estructurales que afectan su eficiencia. La dispersión del alimento no garantiza una distribución homogénea en toda el área del estanque, generando zonas de sobreoferta y suboferta. Asimismo, la concentración de la ración diaria en pocos eventos alimenticios incrementa la probabilidad de que una fracción significativa del alimento no sea consumida inmediatamente, permaneciendo en el fondo del estanque y contribuyendo a la acumulación de residuos orgánicos (Narvaez & Romero, 2022).

Estas limitaciones se acentúan en la etapa de precría, donde las postlarvas presentan un comportamiento alimenticio más selectivo y una menor capacidad para aprovechar grandes volúmenes de alimento suministrados en periodos cortos.

1.3.2. Sub/sobrealimentación y su impacto en costos y desempeño productivo

Una de las principales consecuencias del manejo tradicional de la alimentación es la dificultad para ajustar con precisión la ración diaria a las necesidades reales de los organismos, lo que puede conducir tanto a escenarios de subalimentación como de sobrealimentación (Carrión & Galarza, 2023).

La subalimentación limita el crecimiento, prolonga el tiempo necesario para alcanzar el peso de transferencia y puede generar poblaciones desuniformes, incrementando la competencia intraespecífica y la susceptibilidad al estrés. Por el contrario, la sobrealimentación incrementa los costos directos asociados al uso del alimento balanceado y genera efectos adversos sobre la calidad del agua, debido a la acumulación de alimento no consumido y su posterior degradación (Araujo, 2021).

Desde una perspectiva económica, el alimento representa el mayor costo operativo del cultivo de camarón, por lo que incluso pequeñas ineficiencias en su uso pueden tener un impacto significativo en la rentabilidad del sistema. Desde el punto de vista productivo y

ambiental, el exceso de alimento favorece la acumulación de materia orgánica, el aumento de sólidos suspendidos y la generación de compuestos nitrogenados, afectando negativamente el crecimiento, la supervivencia y el factor de conversión alimenticia. La Tabla 3 resume los principales efectos asociados a la subalimentación y sobrealimentación en la etapa de precría.

Tabla 3. Efectos productivos y ambientales asociados a la subalimentación y sobrealimentación en precrías

Tipo de manejo	Impacto productivo	Impacto ambiental	Impacto económico
Subalimentación	Bajo crecimiento, desuniformidad, menor supervivencia	Bajo impacto directo	Prolongación del ciclo
Sobrealimentación	Crecimiento ineficiente, estrés	Aumento de MO y SST	Mayor costo por desperdicio

Fuente: Información obtenida de (Briones & Vargas, 2025).

1.3.3. Estimación de raciones: biomasa, tablas de alimentación, bandejas/platos, observación del tracto

La estimación de la ración diaria en precrías se realiza tradicionalmente a partir de la biomasa estimada del cultivo, utilizando tablas de alimentación desarrolladas por las fincas o por fabricantes de alimento balanceado. Estas tablas consideran variables como la edad, el peso promedio y la densidad de siembra, proporcionando una guía general para el suministro del alimento (Lecaro & Lozada, 2022).

Como herramientas complementarias, se emplean bandejas o platos de alimentación, así como la observación del tracto intestinal de los organismos durante los muestreos. Estos métodos permiten inferir de manera indirecta el nivel de consumo y ajustar las raciones en función de la presencia de alimento no consumido o del llenado intestinal (Lecaro & Lozada, 2022).

Sin embargo, estas técnicas presentan limitaciones importantes en precría. Las bandejas reflejan el consumo únicamente en puntos específicos del estanque y no representan necesariamente el comportamiento alimenticio de toda la población. De igual manera, la

observación del tracto intestinal ofrece información puntual y subjetiva, dependiente de la experiencia del evaluador y del momento del muestreo (Lecaro & Lozada, 2022).

Estas limitaciones dificultan la cuantificación precisa del consumo real del alimento y refuerzan la necesidad de sistemas que permitan una dosificación más controlada y continua, reduciendo la dependencia de métodos indirectos y empíricos.

1.4. Alimentadores automáticos en acuicultura

El desarrollo e implementación de alimentadores automáticos en acuicultura surge como una respuesta tecnológica a las limitaciones de los métodos tradicionales de alimentación. Estos sistemas han sido diseñados para mejorar la precisión, la frecuencia y la cobertura del suministro de alimento, optimizando su aprovechamiento por parte de los organismos cultivados.

En camaronicultura, los alimentadores automáticos han sido ampliamente adoptados en la fase de engorde, demostrando mejoras en eficiencia alimenticia, uniformidad de crecimiento y control ambiental (Palacios, 2023). Su aplicación en precría, aunque menos difundida, representa una oportunidad estratégica para optimizar una de las etapas más sensibles del ciclo productivo (Palacios, 2023).

1.4.1. Concepto, tipos y funcionamiento de los alimentadores automáticos

Los alimentadores automáticos son dispositivos diseñados para dispensar alimento balanceado de manera programada, controlando variables como la cantidad, la frecuencia y el área de dispersión. Su funcionamiento se basa en mecanismos mecánicos o electrónicos que permiten liberar pequeñas porciones de alimento a intervalos definidos, ajustándose a las necesidades del cultivo (Cevallos & Plúas, 2024).

Existen diversos tipos de alimentadores automáticos, que pueden clasificarse según su capacidad, método de dispersión y sistema de control. Algunos equipos utilizan temporizadores simples, mientras que otros incorporan plataformas digitales que permiten programar curvas de alimentación más complejas y adaptativas.

El principio común de estos sistemas es la entrega fraccionada del alimento, lo que reduce la permanencia del balanceado en el medio acuático y mejora la sincronización entre la oferta de alimento y el comportamiento alimenticio del camarón (Cevallos & Plúas, 2024).

1.4.2. Estrategias de multidosis y curvas de alimentación

Una de las principales ventajas de los alimentadores automáticos es la posibilidad de aplicar estrategias de multidosis, en las cuales la ración diaria se divide en múltiples entregas a lo largo del día. Este enfoque permite diseñar curvas de alimentación que responden a las variaciones diarias en la actividad metabólica del camarón.

Entre las estrategias más utilizadas se encuentra la curva de alimentación tipo “campana”, en la cual la mayor proporción del alimento se suministra durante las horas del día en las que las condiciones ambientales, como el oxígeno disuelto y la temperatura, son más favorables. Este patrón busca maximizar la eficiencia de captura y consumo del alimento, minimizando las pérdidas por lixiviación y sedimentación (Pereira, 2024).

La aplicación de multidosis resulta especialmente relevante en la etapa de precría, donde los organismos presentan una alta demanda energética y una limitada capacidad de almacenamiento, beneficiándose de una oferta constante y controlada de alimento.

1.4.3. Ventajas y retos de adopción en precría

La adopción de alimentadores automáticos en precría ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia alimenticia, reducción del desperdicio y mejora del control ambiental. Al permitir una dosificación precisa y frecuente, estos sistemas favorecen un mayor aprovechamiento del alimento, contribuyen a la disminución de la carga orgánica del estanque y apoyan un crecimiento más uniforme de las postlarvas.

No obstante, su implementación en precría también presenta retos específicos. A diferencia del engorde, donde los organismos tienen mayor capacidad de desplazamiento y consumo, en precría es necesario ajustar cuidadosamente la cantidad de alimento por evento, la cobertura del equipo y la densidad de alimentadores por unidad de superficie. Además, la falta de protocolos estandarizados y de información técnica específica para esta etapa ha limitado su adopción a gran escala (Bohórquez & Vaca, 2025).

Estas brechas entre la aplicación en engorde y en precría justifican la necesidad de estudios comparativos bajo condiciones reales de campo, que permitan evaluar de manera objetiva los beneficios y limitaciones de la alimentación automática en esta fase crítica del cultivo.

1.5. Eficiencia alimenticia e indicadores productivos

La eficiencia alimenticia constituye uno de los principales indicadores de desempeño en los sistemas de cultivo de camarón, ya que integra de forma directa la relación entre el alimento suministrado y la respuesta productiva del organismo. En la etapa de precría, esta eficiencia adquiere una relevancia particular, debido a que los organismos se encuentran en una fase de rápido crecimiento y alta sensibilidad a variaciones en la oferta nutricional y en las condiciones ambientales.

Los indicadores zootécnicos más utilizados para evaluar la eficiencia del manejo alimenticio en precrías incluyen el crecimiento, la supervivencia, el factor de conversión alimenticia y la uniformidad de talla. Estos parámetros permiten cuantificar el efecto de las estrategias de alimentación sobre el desempeño productivo y establecer comparaciones objetivas entre diferentes sistemas de manejo (Carrion, 2022).

1.5.1. Crecimiento y peso final

El crecimiento del camarón blanco durante la precría se expresa comúnmente a través del peso final alcanzado al término del ciclo y de la tasa de crecimiento, medida como el incremento de peso por unidad de tiempo. Estos indicadores reflejan la capacidad del organismo para aprovechar los nutrientes suministrados y transformar el alimento en biomasa.

Un adecuado crecimiento en precría es fundamental para alcanzar un peso de transferencia óptimo, lo que facilita una mejor adaptación al sistema de engorde y reduce el tiempo necesario para alcanzar el tamaño comercial. La tasa de crecimiento está influenciada por múltiples factores, entre ellos la calidad y cantidad del alimento, la frecuencia de suministro, la densidad de siembra y la estabilidad de las condiciones ambientales (Castillo & Leal, 2020).

Las estrategias de alimentación que favorecen una oferta constante y fraccionada de alimento tienden a promover un crecimiento más eficiente, al reducir los periodos de ayuno y minimizar la competencia por el recurso alimenticio. Por el contrario, esquemas de alimentación concentrados en pocos eventos diarios pueden limitar el crecimiento, especialmente en organismos pequeños con capacidades digestivas reducidas (Bohórquez & Vaca, 2025).

1.5.2. Supervivencia: factores que la afectan en precría

La supervivencia es uno de los indicadores más sensibles durante la etapa de precría, ya que refleja de manera integrada el efecto del manejo alimenticio, la calidad del agua y el estado fisiológico de los organismos. Altas tasas de supervivencia en esta fase son determinantes para garantizar la viabilidad económica del cultivo y para maximizar el número de individuos transferidos al engorde (Briones & Vargas, 2025).

Entre los principales factores que afectan la supervivencia en precría se encuentran el estrés asociado a variaciones bruscas en la calidad del agua, la competencia intraespecífica por el alimento, la acumulación de residuos orgánicos y la presencia de compuestos tóxicos derivados de la degradación del alimento no consumido. La sobrealimentación, en particular, puede generar ambientes desfavorables que incrementan la susceptibilidad a enfermedades y elevan la mortalidad (Hernández & Timaná, 2022).

Una estrategia de alimentación bien ajustada contribuye a reducir estos riesgos, al mejorar la estabilidad del sistema y favorecer un consumo más homogéneo del alimento. De esta manera, la supervivencia no solo depende de la cantidad de alimento suministrado, sino también de la forma y frecuencia con que este es ofrecido.

1.5.3. Factor de conversión alimenticia (FCA): concepto, cálculo e interpretación

El factor de conversión alimenticia (FCA) es uno de los indicadores más utilizados para evaluar la eficiencia del uso del alimento en acuicultura. Se define como la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la biomasa producida, expresándose generalmente como:

$$\text{FCA} = \text{Alimento suministrado (kg)} / \text{Biomasa producida (kg)}$$

Valores bajos de FCA indican una mayor eficiencia alimenticia, es decir, una mejor capacidad del sistema para convertir el alimento en biomasa. En precrías, el FCA puede presentar una mayor variabilidad que en engorde, debido a las altas tasas metabólicas y a la sensibilidad de los organismos a cambios en el manejo (Chuya, 2021).

La interpretación del FCA debe realizarse de manera integrada con otros indicadores productivos y ambientales. Un FCA elevado puede ser indicativo de sobrealimentación, baja calidad del alimento, estrés ambiental o problemas sanitarios. Por el contrario, una mejora en el FCA suele estar asociada a estrategias de alimentación más precisas, reducción del desperdicio y mejores condiciones de cultivo (Chuya, 2021).

1.6. Impacto ambiental del manejo de alimento en precría

El manejo del alimento en la etapa de precría no solo influye en el desempeño productivo, sino también en la calidad ambiental del sistema de cultivo. El alimento no consumido y los residuos metabólicos derivados de su degradación representan las principales fuentes de carga orgánica en los estanques, afectando tanto la columna de agua como el sedimento.

La comprensión del impacto ambiental asociado a las estrategias de alimentación resulta fundamental para desarrollar sistemas de precría más sostenibles y con menor riesgo operativo (Boyd & Davis, 2021).

1.6.1. Desperdicio de alimento y carga orgánica del sistema

El desperdicio de alimento ocurre cuando una fracción del balanceado suministrado no es consumida por los organismos y se deposita en el fondo del estanque. Este material orgánico se degrada mediante procesos biológicos, incrementando la demanda de oxígeno y favoreciendo la acumulación de compuestos potencialmente tóxicos (Briones & Vargas, 2025).

En precrías, el riesgo de desperdicio es elevado debido al pequeño tamaño de las postlarvas y a su limitada capacidad de ingesta en eventos alimenticios concentrados. La reducción del desperdicio constituye, por tanto, un objetivo prioritario para mejorar tanto la eficiencia productiva como la estabilidad ambiental del sistema (Arias, 2022).

1.6.2. Materia orgánica en sedimento: formación, medición e implicaciones

La materia orgánica en el sedimento se forma principalmente a partir del alimento no consumido, las heces de los organismos y la biomasa microbiana asociada a la degradación de estos residuos. Su acumulación excesiva puede generar condiciones anóxicas en el fondo del estanque, afectar la calidad del agua y favorecer la proliferación de patógenos (Arias, 2022).

La medición del contenido de materia orgánica en sedimento se utiliza como un indicador ambiental clave para evaluar la eficiencia del manejo alimenticio. Valores elevados de materia orgánica reflejan un desequilibrio entre la oferta de alimento y la capacidad de consumo del sistema, mientras que niveles controlados indican un manejo más eficiente y sostenible (Arias, 2022).

1.6.3. Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales (SST) incluyen partículas orgánicas e inorgánicas presentes en la columna de agua, provenientes de la resuspensión del sedimento, del alimento no consumido y de la actividad biológica del estanque. Niveles elevados de SST reducen la penetración de la luz, afectan la fotosíntesis y pueden interferir con la respiración de los organismos (Mora & Delgado, 2025).

En precrías, el control de los SST es esencial para mantener condiciones ambientales adecuadas. La acumulación excesiva de sólidos está estrechamente relacionada con prácticas de sobrealimentación y con una distribución ineficiente del alimento, lo que refuerza la importancia de estrategias de manejo alimenticio orientadas a minimizar estos residuos (Mora & Delgado, 2025).

1.6.4. Amonio ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$), pH y toxicidad: dinámica e impacto fisiológico

El amonio es uno de los principales compuestos nitrogenados generados en los sistemas acuícolas, producto de la excreción de los organismos y de la descomposición del alimento no consumido. Su toxicidad depende del equilibrio entre sus formas ionizada (NH_4^+) y no ionizada (NH_3), el cual está influenciado por el pH y la temperatura del agua (Rivera, 2024).

En condiciones de pH elevado, una mayor proporción del amonio se transforma en amoníaco no ionizado (NH_3), altamente tóxico para el camarón. La exposición a concentraciones elevadas de amoníaco puede provocar reducción del apetito, alteraciones en la muda, estrés fisiológico y aumento de la mortalidad.

Un manejo adecuado de la alimentación, orientado a reducir el desperdicio y la carga orgánica, contribuye de manera directa al control de los niveles de amonio y a la estabilidad del sistema de precría, protegiendo la salud y el desempeño productivo de los organismos (Rivera, 2024).

1.7. Indicadores fisiológicos/nutricionales complementarios

Además de los indicadores productivos y ambientales, la evaluación del estado fisiológico de los organismos durante la etapa de precría permite una comprensión más profunda de la eficiencia del manejo alimenticio. En este contexto, el análisis del hepatopáncreas y de las reservas lipídicas constituye una herramienta complementaria para interpretar el aprovechamiento nutricional y la condición general de las postlarvas.

Estos indicadores fisiológicos resultan especialmente útiles en precría, donde los cambios metabólicos son rápidos y las respuestas a la oferta de alimento pueden no reflejarse de inmediato en variables como el crecimiento o la supervivencia (Carrión & Galarza, 2023).

1.7.1. Hepatopáncreas como indicador de condición nutricional

El hepatopáncreas es un órgano clave en la fisiología del camarón blanco, ya que cumple funciones esenciales relacionadas con la digestión, absorción, almacenamiento y movilización de nutrientes. En etapas tempranas del desarrollo, este órgano desempeña un papel central en la regulación energética del organismo, actuando como reserva metabólica frente a fluctuaciones en la disponibilidad de alimento (Fonseca, 2023).

La condición del hepatopáncreas ha sido ampliamente utilizada como indicador de la calidad nutricional y del estado fisiológico del camarón. Un hepatopáncreas bien desarrollado, con adecuada coloración y estructura celular, suele asociarse con un suministro nutricional suficiente y con un manejo alimenticio eficiente. Por el contrario, alteraciones en su morfología o en su contenido energético pueden reflejar deficiencias nutricionales, estrés ambiental o desequilibrios en la oferta de alimento (Fonseca, 2023).

En la etapa de precría, la evaluación del hepatopáncreas permite detectar de manera temprana problemas asociados al manejo de la alimentación, incluso antes de que estos se manifiesten en una reducción del crecimiento o de la supervivencia. Por ello, su análisis constituye un complemento valioso para interpretar los efectos de diferentes estrategias de alimentación sobre la condición fisiológica de las postlarvas.

Las vacuolas lipídicas presentes en el hepatopáncreas representan una forma de almacenamiento energético fundamental para el camarón blanco, especialmente durante etapas de alta demanda metabólica como la precría. La cantidad y distribución de estas vacuolas reflejan el balance entre la energía ingerida y la utilizada por el organismo para procesos como el crecimiento, la muda y la respuesta al estrés (Liu, 2025).

La evaluación de las vacuolas lipídicas se realiza comúnmente mediante análisis histológico o mediante observación microscópica directa, utilizando escalas semicuantitativas que clasifican el contenido lipídico en diferentes niveles. Estas escalas permiten comparar de forma práctica la condición nutricional entre diferentes tratamientos o momentos del ciclo productivo. En precría, el análisis de vacuolas lipídicas resulta particularmente útil para:

- Evaluar la efectividad de las estrategias de alimentación.

- Detectar escenarios de subalimentación o sobrealimentación.
- Interpretar la estabilidad nutricional del sistema a lo largo del ciclo.

Un contenido lipídico adecuado en el hepatopáncreas indica que los organismos están recibiendo una oferta de alimento acorde a sus necesidades y que la frecuencia de suministro permite una asimilación eficiente de los nutrientes. En contraste, niveles bajos de reservas lipídicas pueden evidenciar deficiencias en la oferta alimenticia o una elevada competencia intraespecífica, mientras que una acumulación excesiva puede asociarse a sobrealimentación.

1.8. Antecedentes investigativos

1.8.1. Evidencia sobre alimentación automática en engorde vs precría

En los últimos años, la investigación sobre alimentación automática en *L. vannamei* se ha concentrado principalmente en sistemas de engorde, donde los organismos presentan mayor capacidad de desplazamiento y captura del alimento, lo cual facilita la evaluación del efecto de la frecuencia y del control de la oferta. En este marco, se han reportado mejoras asociadas a la automatización, incluyendo eficiencia de uso del alimento, desempeño productivo y rentabilidad, especialmente cuando se compara con esquemas manuales tradicionales.

No obstante, existe evidencia reciente que integra etapas tempranas. Krummenauer et al. (2024) evaluaron el uso de alimentadores automáticos tipo banda en un sistema de producción superintensivo de camarón *L. vannamei* que considera el ciclo completo (precría y engorde) bajo biofloc, reportando una tendencia consistente hacia mejoras en calidad de agua y desempeño productivo, junto con reducción del uso de alimento y beneficios económicos.

La diferencia clave entre engorde y precría es que, en precría, el tamaño reducido y el patrón de ingesta “por pulsos” obligan a ajustar finamente dosis por evento, cobertura y frecuencia, lo que hace que resultados del engorde no se puedan extrapolar linealmente a postlarvas. Por ello, aunque la automatización muestra potencial, su adopción en precría requiere validación específica bajo condiciones reales de manejo y densidad.

1.8.2. Estudios comparativos sobre eficiencia, calidad de agua e indicadores

productivos

Los estudios comparativos recientes coinciden en que la automatización puede generar beneficios cuando se acompaña de una estrategia de frecuencia adecuada. Por ejemplo, Liang et al. (2025) evaluaron diferentes frecuencias con alimentadores automáticos y reportaron que ciertos rangos de frecuencia (en su caso, varias entregas por día) se asocian con mejor crecimiento y utilización del alimento frente a un control manual, destacando que la “frecuencia” es un determinante tan importante como la cantidad total diaria.

En paralelo, se han estudiado esquemas de alimentación con retroalimentación (por ejemplo, enfoques “*on-demand*” o sistemas que ajustan la entrega a la respuesta del animal). Un trabajo en producción semi-intensiva exploró alimentación “*on demand*” vinculada a respuestas de consumo, mostrando que el control del suministro puede modificar el desempeño productivo y se vuelve especialmente relevante al interactuar con variables del alimento (p. ej., nivel proteico).

Desde el punto de vista ambiental (que es parte central de tu tema), hay evidencia que vincula automatización con cambios medibles en sedimento/suelo. En Ecuador, Méndez-Macias et al. (2024) evaluaron el impacto de la alimentación automática sobre calidad de suelo en piscinas de cultivo de *L. vannamei*, aportando soporte empírico a la relación entre manejo alimenticio y condición del fondo.

Además, investigaciones y reportes técnicos han señalado que el uso de alimentadores puede modificar patrones de acumulación de materia orgánica y variables del entorno, aunque la magnitud del efecto depende de diseño de aplicación, ciclo y condiciones del sistema.

En conjunto, la literatura reciente respalda que la automatización puede aportar ventajas, pero no como “solución automática”: los resultados dependen de frecuencia, patrón de entrega, cobertura y ajuste fino según biomasa y respuesta del organismo.

1.8.3. Vacíos de conocimiento y aporte del presente estudio (posición crítica del autor)

A pesar del avance, persisten tres vacíos relevantes:

- Desbalance de evidencia entre las fases de engorde y precría. La mayor parte de estudios con rigor experimental se concentra en engorde, mientras que la precría aparece con menor cobertura o en condiciones no totalmente comparables.

- Integración incompleta de variables productivas + ambientales + fisiológicas. Muchos estudios reportan crecimiento/FCA, pero no siempre integran indicadores de sedimento/suelo o condición fisiológica, dificultando concluir si la mejora productiva se acompaña de menor carga orgánica o de mejor condición nutricional.
- Dependencia del “cómo se programa” el sistema. Estudios de frecuencia y estrategias controladas muestran que el desempeño depende de la programación (multidosis, horarios, respuesta del consumo), por lo que comparar “automático vs manual” sin estandarizar estrategia puede subestimar o sobreestimar efectos.

En este marco, el aporte del presente estudio se fundamenta en evaluar la alimentación automática en precría comercial con comparación frente a un esquema tradicional, integrando:

- Indicadores productivos (crecimiento y supervivencia).
- Variables ambientales asociadas al desperdicio (materia orgánica del sedimento y, si corresponde en tu capítulo de resultados, calidad de agua).
- Un indicador fisiológico/nutricional complementario (hepatopáncreas/lípidos), lo que permite discutir no solo “si crecen más”, sino por qué y con qué costo ambiental.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Enfoque de investigación y tipo de estudio

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dado que se fundamenta en la medición objetiva de variables productivas, ambientales y fisiológicas asociadas al manejo de la alimentación en la etapa de precría del camarón blanco (*L. vannamei*). Las variables analizadas fueron expresadas mediante indicadores numéricos y sometidas a análisis estadístico para evaluar diferencias entre tratamientos.

El estudio corresponde a una investigación de tipo experimental aplicada, con un diseño comparativo en condiciones de campo, ejecutada en unidades productivas comerciales. Se compararon dos estrategias de alimentación (automática y tradicional al voleo), manteniendo condiciones operativas homogéneas entre tratamientos, con el propósito de evaluar el efecto del manejo alimenticio sobre el desempeño productivo y ambiental de las precrías.

La investigación se caracteriza además por ser longitudinal, ya que las variables fueron evaluadas a lo largo de seis ciclos productivos consecutivos, permitiendo analizar la consistencia de los resultados en el tiempo bajo condiciones reales de producción.

2.2. Área de estudio y unidades experimentales

El estudio se llevó a cabo en unidades de precría ubicadas en una camaronera de producción comercial, localizada en la isla Quiñonez del golfo de Guayaquil empleando estanques de tierra destinados exclusivamente a la etapa de levantamiento de postlarvas previo a la transferencia al engorde.

Las unidades experimentales correspondieron a estanques de tierra en forma rectangular, con una superficie promedio de 1,0 hectárea y una profundidad media de 0,80 m. Los estanques contaron con sistemas convencionales de ingreso y salida de agua, filtros en las compuertas de entrada y manejo hidráulico acorde a los protocolos operativos de la finca.

Las condiciones de manejo, tales como preparación del estanque, fertilización, aplicación de correctores químicos, bacterias para biorremediación y recambios de agua, se mantuvieron constantes para todas las unidades experimentales, con el fin de minimizar la influencia de factores externos sobre las variables evaluadas y asegurar la comparabilidad entre tratamientos.

2.3. Diseño experimental

El diseño experimental consistió en la comparación de dos tratamientos de alimentación durante la etapa de precría, aplicados en estanques independientes y evaluados a lo largo de seis ciclos productivos consecutivos.

Cada estanque de precría fue considerado como una unidad experimental independiente. Los tratamientos de alimentación automática y alimentación tradicional al voleo se aplicaron en estanques separados durante seis ciclos productivos consecutivos. De esta manera, cada ciclo representó una réplica temporal del experimento, permitiendo evaluar la consistencia de los resultados bajo condiciones operativas similares

2.3.1. Tratamientos

Se evaluaron dos estrategias de alimentación durante la fase de precría:

Tratamiento 1 (T1): Alimentación automática

- Este tratamiento consistió en la aplicación de un sistema de alimentación automatizada mediante equipos programables, complementado con una fracción de alimentación manual. El 60 % de la ración diaria fue suministrado de forma automatizada mediante dosificaciones múltiples (multidosis), programadas para operar entre las 10:00 y 19:00 horas, liberando porciones de 400 a 600 g cada 12 a 15 minutos, lo que representó entre 36 y 52 dosificaciones automáticas por día.
- El 40 % restante de la ración diaria se aplicó de manera manual mediante dispersión al voleo, en una única aplicación diaria, realizada dentro de la franja horaria de 07:00 a 09:00 horas (ventana operativa de aplicación), utilizada principalmente como vehículo para la aplicación de los protocolos de fertilización y biorremediación establecidos por la finca.

Tratamiento 2 (T2): Alimentación tradicional al voleo

- En este tratamiento, la totalidad de la ración diaria fue suministrada manualmente mediante dispersión al voleo, siguiendo el esquema operativo convencional de la finca. Durante los primeros 12 a 15 días de cultivo, la alimentación se realizó en tres aplicaciones diarias: 50 % de la ración entre las 07:00 y 10:00 horas, 30 % a las 13:00 horas y 20 % a las 16:00 horas. A partir del día 16 hasta la transferencia, la ración se

distribuyó en dos aplicaciones diarias, con el 60 % en horario matutino (07:00–10:00) y el 40 % restante a las 13:00 horas.

2.3.2. Número de ciclos, réplicas y criterios de homogeneidad

El experimento se desarrolló durante seis ciclos productivos consecutivos, con una duración promedio de 22 días por ciclo, correspondientes a la fase completa de precría.

Se consideraron seis réplicas independientes por tratamiento, correspondientes a estanques individuales sin intercambio de agua ni manejo cruzado. Cada estanque funcionó como unidad experimental autónoma. Los ciclos se realizaron en una época estacional similar (relativamente fría), sin emparejamiento estricto por limitaciones operativas de la finca. El análisis comparativo entre tratamientos se realizó mediante prueba t de Student para muestras independientes con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Cada ciclo incluyó estanques asignados a ambos tratamientos, los cuales se manejaron bajo condiciones homogéneas de preparación, densidad de siembra, origen del material biológico, dieta, manejo sanitario y control ambiental. La asignación de los tratamientos se realizó de manera aleatoria entre ciclos, con el objetivo de reducir sesgos asociados a factores temporales o operativos.

Los criterios de homogeneidad considerados incluyeron:

- Uso de estanques con dimensiones similares.
- Aplicación de los mismos protocolos de preparación y mantenimiento.
- Igual densidad de siembra entre tratamientos.
- Origen común de las postlarvas.
- Condiciones ambientales comparables durante cada ciclo.

2.3.3. Densidad de siembra y origen de postlarvas

La siembra se realizó utilizando postlarvas avanzadas de camarón blanco, con un peso inicial aproximado de 5 mg. La densidad de siembra fue de aproximadamente 1,6 millones de organismos por hectárea en todos los estanques evaluados, tanto para el tratamiento con alimentación automática como para el tratamiento tradicional.

Para garantizar la homogeneidad genética y reducir la variabilidad biológica entre tratamientos, las postlarvas utilizadas en cada ciclo provinieron del mismo lote de

producción y del mismo laboratorio larvario, perteneciente al grupo productivo donde se ejecutó el estudio.

2.4. Preparación y manejo de estanques

La preparación y manejo de los estanques de precría se realizó siguiendo los protocolos operativos estándar de la finca, los cuales han sido diseñados para optimizar las condiciones físicas, químicas y biológicas del sistema previo y durante el ciclo de cultivo. Estos protocolos fueron aplicados de manera uniforme en todos los tratamientos, con el fin de minimizar la influencia de variables externas y asegurar la comparabilidad de los resultados.

2.4.1. Preparación previa a la siembra

La preparación de los estanques se inició cuatro días antes de la siembra, e incluyó las siguientes etapas secuenciales:

- Mantenimiento estructural
 - Revisión y mantenimiento de compuertas.
 - Achicado de pozas residuales.
 - Instalación de filtros en los ductos de entrada de agua.
- Llenado del estanque
 - El llenado se realizó con agua estuarina bombeada hacia un canal reservorio.
 - Durante el ingreso del agua se aplicó saponina (14 kg/ha) para la eliminación de organismos competidores, práctica ampliamente utilizada en precrías para reducir la presión biológica inicial.
- Acondicionamiento químico y biológico
 - Día 2 (50 % del volumen):
 - Carbonato de calcio: 3 sacos de 45 kg/ha
 - Silicato: 1 saco de 25 kg/ha
 - Día 3:
 - Compost orgánico: 3 sacos de 35 kg/ha
 - Bacterias combinadas:

- Heterótrofas (control de lodos)
- Nitrificantes (control de amonio)
- Dosis total: 500 g/ha
- Recambio de agua
 - Se estableció un régimen de recambio parcial entre los días 10 y 12 del ciclo, con un volumen promedio del 30 %, acorde con prácticas recomendadas para estabilizar la calidad del agua en etapas tempranas del cultivo.

Este manejo previo busca promover el desarrollo de una microbiota funcional y reducir la acumulación temprana de compuestos nitrogenados, estrategia recomendada en sistemas de precría intensiva (Del Castillo & Velásquez, 2021).

2.4.2. Manejo durante el ciclo de precría

Durante el desarrollo del cultivo, se aplicó un protocolo periódico de mantenimiento, consistente en la adición programada de correctores alcalinos y bacterias beneficiosas, tal como se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. *Protocolo de mantenimiento aplicado durante el ciclo de precría*

Día del ciclo	Producto aplicado	Dosis
3	Bacterias	100 g/ha
6	Carbonato	2 sacos (45 kg) / ha
6	Silicato	1 saco (25 kg) / ha
7	Bacterias	100 g/ha
10	Cal	3 sacos (25 kg) / ha
12	Carbonato	2 sacos / ha
12	Silicato	1 saco / ha
13	Bacterias	100 g/ha
18	Bacterias	100 g/ha
20	Carbonato	3 sacos / ha

Nota: Los productos fueron aplicados directamente al agua o incorporados al alimento, de acuerdo con los protocolos de la finca. Este manejo fue idéntico para ambos tratamientos. Elaboración propia

2.5. Protocolo de alimentación

El protocolo de alimentación fue diseñado para cumplir con los requerimientos nutricionales de las postlarvas durante la etapa de precría y, al mismo tiempo, permitir una comparación objetiva entre los dos sistemas de suministro evaluados.

Se utilizó un alimento balanceado iniciador con tamaño de partícula 0,8 mm y un contenido proteico del 35%, formulación comúnmente empleada en precrías comerciales de *L. vannamei*.

2.5.1. Cálculo de ración diaria

La ración diaria de alimento se determinó en función de la biomasa estimada, siguiendo la tabla de alimentación estándar de la finca. El cálculo se basó en la siguiente relación:

$$\text{Ración diaria (kg)} = (7 + 3 \times d) \times \frac{N}{1000000}$$

Donde:

- 7 = ración base recomendada por la finca, equivalente a 7 kg de balanceado por cada 1 000 000 de postlarvas al inicio del cultivo.
- 3 = incremento diario de la ración, equivalente a 3 kg adicionales de balanceado por cada 1 000 000 de postlarvas por cada día de cultivo.
- d = día de cultivo
- N = número de postlarvas sembradas
- 1 000 000 = factor de conversión para expresar la ración en función de “por millón de postlarvas”.

Según Briones & Vargas (2025), este esquema permite un incremento progresivo del alimento conforme avanza el desarrollo de los organismos, práctica recomendada para evitar subalimentación en etapas críticas de crecimiento temprano. La ración diaria total calculada fue idéntica para ambos tratamientos, variando únicamente la forma de distribución del alimento.

2.5.2. Tratamiento Alimentación Automática

En el tratamiento con alimentación automática se utilizaron seis equipos por estanque, equivalentes a una cobertura aproximada de 270.000 postlarvas por equipo, relación obtenida a partir de una equivalencia de capacidad de dispersión con alimentadores de mayor volumen reportados en la literatura (Palacios, 2023).

a) Programación y estrategia de dosificación

- El 60 % de la ración diaria fue suministrado de forma automatizada.
- Horario de operación: 10:00 a 19:00 h.
- Dosificaciones múltiples, con intervalos de 12 a 15 minutos.
- Cantidad por evento: 400–600 g, según la ración diaria asignada.

La programación siguió un patrón tipo “campana”, donde la mayor proporción del alimento se suministró durante las horas de mayor actividad metabólica del camarón, asociadas a condiciones óptimas de oxígeno disuelto y temperatura. Este enfoque ha sido recomendado por Yucra (2021) como una estrategia eficiente para mejorar la asimilación del alimento.

b) Racionamiento mixto

El 40 % restante de la ración diaria se aplicó manualmente al voleo, entre las 07:00 y 09:00 h, principalmente como vehículo para la incorporación de productos utilizados en los protocolos de fertilización y biorremediación de la finca. La cantidad de alimento asignada por equipo varió entre 4 y 10 kg, ajustándose progresivamente conforme avanzó el ciclo de precría.

2.5.3. Tratamiento Alimentación Tradicional al voleo

En el tratamiento tradicional, el 100 % de la ración diaria fue suministrado manualmente mediante dispersión al voleo, siguiendo el esquema operativo convencional de la finca.

a) Frecuencia y distribución espacial

- Días 1–10: distribución perimetral del alimento, concentrada en los bordes del estanque.
- Días 11–15: distribución progresiva hacia el centro del estanque.

- Días 16 hasta la transferencia: distribución en patrón zigzag, cubriendo de manera más homogénea la superficie del estanque.

b) Distribución temporal de la ración

Durante los primeros días del cultivo, la alimentación se realizó mediante tres eventos diarios, distribuidos en ventanas horarias específicas, de la siguiente manera:

- **Primer evento:** 50 % de la ración diaria, aplicado una sola vez dentro de la ventana horaria comprendida entre 07:00 y 10:00 h, según condiciones operativas y disponibilidad del personal.
- **Segundo evento:** 30 % de la ración diaria, aplicado a las 13:00 h.
- **Tercer evento:** 20 % de la ración diaria, aplicado a las 16:00 h

A partir del día 16 del cultivo, el esquema se ajustó a dos aplicaciones diarias, en concordancia con la práctica operativa de la finca:

- 60 % de la ración diaria en la mañana, aplicada dentro de la ventana horaria 07:00–10:00 h.
- 40 % de la ración diaria en la tarde, aplicada alrededor de las 13:00 h.

Este esquema refleja la práctica común en precrías comerciales y sirve como referencia para comparar el desempeño frente al sistema automatizado.

2.6. Instrumentos y técnicas de medición / recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante instrumentos y técnicas aplicadas de forma sistemática durante cada uno de los seis ciclos productivos, con el objetivo de evaluar el desempeño productivo, ambiental y fisiológico de las precrías bajo los dos sistemas de alimentación. Los procedimientos se aplicaron de manera uniforme en todos los tratamientos para garantizar la comparabilidad de la información obtenida.

2.6.1. Cuantificación de sobrantes (triángulo de arrastre)

La cuantificación del alimento no consumido se realizó mediante el uso de un triángulo de arrastre, instrumento ampliamente utilizado en sistemas de cultivo de camarón para evaluar la presencia de sobrantes en el fondo del estanque (Figura 2).

El procedimiento consistió en:

- Realizar arrastres diarios en las zonas de alimentación.
- Los arrastres se efectuaron principalmente entre las 08:00 y 10:00 h, antes del inicio del programa de alimentación automatizada.
- El triángulo se desplazó por el fondo del estanque, recolectando restos de alimento no consumido y material particulado.

Criterio utilizado para ajustar la ración

El ajuste de la ración diaria se realizó con base en la presencia y magnitud de sobrantes detectados en el arrastre, siguiendo una regla operativa de decisión:

- **Sin sobrantes o sobrantes mínimos (solo partículas finas, sin pellets evidentes):** se mantuvo la ración programada.
- **Sobrantes moderados (presencia visible de pellets, pero en baja cantidad y sin acumulación localizada):** se mantuvo o redujo ligeramente la ración del siguiente turno y se revisó la distribución espacial del alimento.
- **Sobrantes altos (acumulación evidente de pellets en el fondo o concentración marcada en un punto):** se redujo la ración del siguiente turno y/o se reprogramó la dosificación en el tratamiento automático, además de reubicar los puntos de alimentación para evitar sobrecarga en la misma zona.

La información obtenida fue utilizada para:

- Ajustar la ubicación de los puntos de alimentación.
- Corregir la programación de las dosis en el tratamiento automático.
- Optimizar la eficiencia del uso del alimento y prevenir la acumulación excesiva de residuos orgánicos.



Figura 2. Monitoreo de sobrantes de alimento mediante triángulo de arrastre en estanques de precría

Nota: Elaboración propia

2.6.2. Muestras biométricos (peso, crecimiento)

Los muestreos biométricos se realizaron con el fin de determinar el crecimiento y la evolución del peso promedio de las postlarvas durante el ciclo de precría.

- Se efectuaron dos muestreos por ciclo:
 - Mitad del ciclo (día 12 ± 1).
 - Final del ciclo, previo a la transferencia (día 16–18).
- En cada estanque se realizaron 2 a 3 lances con atarraya (“challo”) en zonas aleatorias.
- Se recolectaron aproximadamente 30 organismos por lance.

El peso individual fue determinado mediante:

- Balanza de precisión.

- Registro y procesamiento de datos a través de una aplicación de análisis biométrico, que permitió estimar el peso promedio y la tasa de crecimiento diario (mg/día).

2.6.3. Medición de calidad de agua

El monitoreo de la calidad del agua se realizó para asegurar condiciones ambientales adecuadas durante el experimento y descartar efectos externos que pudieran influir en el desempeño productivo. Los parámetros evaluados fueron:

- Oxígeno disuelto (OD).
- Temperatura del agua.

Las mediciones se realizaron:

- Dos veces al día:
 - Madrugada (= 04:00 h).
 - Tarde (= 18:00 h).
- Utilizando un oxigenómetro multiparámetro portátil.

Adicionalmente:

- La salinidad y la alcalinidad se monitorearon de forma semanal a nivel general de la finca, mediante refractómetro y métodos estándar de laboratorio de campo.

2.6.4. Muestreo de sedimento y determinación de materia orgánica (MO)

Al final de cada ciclo productivo se realizó el muestreo de sedimento para determinar el contenido de MO, como indicador del impacto ambiental del manejo alimenticio.

- Se recolectaron tres muestras de sedimento por estanque, de forma aleatoria.
- En el tratamiento automático, las muestras se tomaron en zonas próximas a las tolvas.
- En el tratamiento tradicional, las muestras se obtuvieron en las áreas de mayor recorrido del voleo.

Las muestras fueron enviadas a laboratorios externos especializados, donde se determinó el porcentaje de materia orgánica mediante el método de combustión, técnica comúnmente utilizada para evaluar acumulación de residuos orgánicos en sistemas acuícolas.

2.6.5. Evaluación de lípidos en hepatopáncreas (condición nutricional)

La evaluación del estado nutricional de las postlarvas se realizó a través del análisis del contenido lipídico del hepatopáncreas, considerado un indicador fisiológico sensible al manejo alimenticio.

- Se realizaron muestreos:
 - A mitad del ciclo (día 10–12).
 - Al final del ciclo, previo a la transferencia.
- Se recolectaron 8 a 10 organismos por estanque.

El análisis consistió en:

- Extracción del hepatopáncreas.
- Observación microscópica del tejido.
- Evaluación visual del grado de vacuolización lipídica.

La condición nutricional se clasificó mediante una escala ordinal de cuatro niveles, donde:

- Nivel 1: = 25 % de vacuolización lipídica.
- Nivel 2: = 50 %.
- Nivel 3: = 75 %.
- Nivel 4: = 100 % (condición óptima).

El valor final por estanque se obtuvo como el promedio de las observaciones individuales.

2.7. Variables del estudio y operacionalización

Las variables del estudio se definieron en función de los objetivos planteados y de la información efectivamente recolectada durante los ciclos productivos. Estas se agruparon en variables productivas, ambientales y fisiológicas, considerando únicamente aquellas que contaron con mediciones sistemáticas y comparables entre tratamientos. La Tabla 5 presenta la operacionalización de las variables analizadas en el estudio.

Tabla 5. Operacionalización de las variables del estudio

Tipo de variable	Variable	Definición operacional	Unidad / escala	Método de medición
Productiva	Peso final	Peso promedio individual de las postlarvas al final del ciclo de precría	mg	Muestreo biométrico
Productiva	Tasa de crecimiento	Incremento promedio de peso por día durante el ciclo	mg/día	Cálculo biométrico
Productiva	Supervivencia	Porcentaje de organismos vivos al final del ciclo respecto a los sembrados	%	Conteo estimado operativo
Productiva	Factor de Conversión Alimenticia	Relación entre el alimento suministrado y la biomasa producida	Adimensional	Cálculo indirecto
Ambiental	Materia orgánica	Contenido de materia orgánica en el sedimento del estanque al final del ciclo	%	Método de combustión en laboratorio
Fisiológica	Lípidos MC	Grado de vacuolización lipídica del hepatopáncreas a mitad del ciclo	Escala 1–4	Análisis patológico
Fisiológica	Lípidos FC	Grado de vacuolización lipídica del hepatopáncreas al final del ciclo	Escala 1–4	Análisis patológico

Nota: Elaboración propia. MC: Mitad de ciclo FC: Final de ciclo.

2.7.1. Variables productivas

Las variables productivas permitieron evaluar el desempeño zootécnico de las postlarvas bajo los dos tratamientos de alimentación durante la fase de precría.

El peso final se determinó mediante muestreos biométricos realizados previo a la transferencia, mientras que la tasa de crecimiento se calculó como el incremento promedio de peso diario a partir de los registros de peso inicial y final del ciclo.

La supervivencia se estimó como el porcentaje de organismos vivos al final del ciclo respecto al número de postlarvas sembradas. El FCA se utilizó como indicador de eficiencia del uso del alimento, calculándose como la relación entre el total de alimento suministrado y la biomasa producida durante el ciclo.

2.7.2. Variables ambientales

Dentro de las variables ambientales, únicamente la MO fue considerada como variable de análisis, debido a su relación directa con el desperdicio de alimento y la acumulación de residuos orgánicos en el fondo del estanque.

La MO se determinó al final de cada ciclo mediante el muestreo de sedimento en las zonas de alimentación y su posterior análisis en laboratorio externo utilizando el método de combustión.

El oxígeno disuelto y la temperatura fueron monitoreados de forma rutinaria durante el cultivo con el objetivo de verificar la estabilidad ambiental del sistema; sin embargo, estos parámetros se utilizaron exclusivamente como variables de control y no formaron parte del análisis estadístico comparativo entre tratamientos, ya que no se registraron eventos críticos ni variaciones relevantes durante los ensayos.

2.7.3. Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas se emplearon como indicadores complementarios del estado nutricional de las postlarvas durante la fase de precría. El contenido lipídico del hepatopáncreas se evaluó tanto a mitad de ciclo (Lípidos MC) como al final del ciclo (Lípidos FC) mediante observación patológica y clasificación en una escala ordinal de cuatro niveles (1 a 4), donde valores mayores indican una mayor reserva lipídica. Para cada estanque se evaluaron entre 8 y 10 organismos, y el valor promedio obtenido fue utilizado para el análisis comparativo entre tratamientos.

2.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos recolectados se realizó con el objetivo de describir el comportamiento de las variables evaluadas y determinar la existencia de diferencias significativas entre los sistemas de alimentación automática y tradicional al voleo durante la etapa de precría del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Las variables productivas, ambientales y fisiológicas fueron analizadas de manera independiente para cada tratamiento, considerando los seis ciclos productivos evaluados.

2.8.1. Estadística descriptiva

Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva para caracterizar el comportamiento general de cada variable evaluada en ambos tratamientos. Para ello, se calcularon los siguientes estadísticos:

- Media aritmética
- Desviación estándar
- Varianza muestral
- Número de observaciones (n)

Estos parámetros permitieron resumir la tendencia central y la dispersión de los datos correspondientes a las variables productivas (peso final, tasa de crecimiento, supervivencia y FCA), ambientales (materia orgánica en sedimento) y fisiológicas (contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad y final del ciclo).

2.8.2. Verificación de supuestos estadísticos

Antes de aplicar las pruebas de comparación entre tratamientos, se verificó el cumplimiento de los supuestos necesarios para el uso de pruebas paramétricas, específicamente normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas.

- Normalidad: Se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, aplicada a cada variable dentro de cada tratamiento. Esta prueba es adecuada para tamaños muestrales pequeños y permite determinar si los datos provienen de una distribución normal.
- Homocedasticidad: La igualdad de varianzas entre tratamientos se verificó mediante la prueba de Levene, considerando un nivel de significancia del 5 %.

El cumplimiento de estos supuestos permitió definir el tipo de prueba inferencial a utilizar para la comparación entre tratamientos.

2.8.3. Prueba inferencial

Para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de alimentación automática y tradicional, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes, siempre que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

En los casos en que alguno de los supuestos no fue cumplido, se consideró el uso de una prueba no paramétrica alternativa, específicamente la prueba de Mann–Whitney U, la cual no requiere que los datos sigan una distribución normal y es adecuada para comparar dos grupos independientes. La selección de la prueba estadística se realizó de manera individual para cada variable analizada, garantizando la validez de las inferencias realizadas.

2.8.4. Nivel de significancia y software utilizado

En todas las pruebas estadísticas se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, criterio comúnmente aceptado en estudios experimentales en acuicultura. Los valores de p obtenidos fueron utilizados para determinar la aceptación o rechazo de la hipótesis nula planteada en el estudio.

El procesamiento de los datos, así como la ejecución de las pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales, se realizó utilizando software estadístico especializado, complementado con hojas de cálculo para la organización y validación de los datos primarios.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados productivos por sistema de alimentación

En este apartado se presentan y analizan los resultados productivos obtenidos durante los ciclos de precría evaluados bajo dos sistemas de alimentación: alimentación automática (AA) y alimentación por voleo. La información analizada proviene de los registros de los ciclos de cultivo desarrollados, los cuales incluyen variables productivas clave como peso final, tasa de crecimiento diario, supervivencia y, el factor de conversión alimenticia (FCA), el cual se estimó con fines referenciales, debido a las limitaciones metodológicas para cuantificar con precisión el consumo real de alimento en condiciones de campo durante la etapa de precría. En sistemas abiertos de cultivo, parte del alimento suministrado puede no ser consumido directamente o dispersarse en el estanque, lo que introduce un grado de incertidumbre en la estimación exacta del FCA.

Los resultados se presentan mediante estadística descriptiva (promedios y desviaciones estándar) y comparaciones estadísticas entre sistemas, con el objetivo de identificar posibles diferencias asociadas al tipo de manejo alimenticio implementado.

3.1.1. Peso final de postlarvas

El peso final constituye uno de los principales indicadores del desempeño productivo en la fase de precría, ya que refleja la eficiencia del aprovechamiento del alimento y las condiciones ambientales durante el cultivo. En la Tabla 6 se presenta el peso final promedio alcanzado por las postlarvas bajo ambos sistemas de alimentación, así como la comparación estadística entre tratamientos.

Tabla 6. *Peso final promedio de postlarvas según el sistema de alimentación*

Sistema de alimentación	Peso final promedio (mg)
Alimentación automática	480
Alimentación al voleo	340
Diferencia (%)	40,89
p-valor	0,2232

Nota: Elaboración propia.

Como se observa, las postlarvas alimentadas mediante sistemas automáticos alcanzaron un peso final promedio 40,89 % superior en comparación con aquellas alimentadas por voleo. Sin embargo, el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos, lo cual sugiere que, si bien existe una tendencia favorable hacia la alimentación automática, esta no puede considerarse estadísticamente concluyente bajo las condiciones evaluadas.

3.1.2. Tasa de crecimiento diario

La tasa de crecimiento diario permite evaluar la velocidad de incremento de peso corporal durante el ciclo de precría y constituye un indicador sensible a la frecuencia, distribución y oportunidad del suministro de alimento. La Tabla 7 resume los valores promedio de crecimiento diario obtenidos en ambos tratamientos.

Tabla 7. *Tasa de crecimiento diario según el sistema de alimentación*

Sistema de alimentación	Crecimiento diario (mg/día)
Alimentación automática	20,4
Alimentación al voleo	16,1
Diferencia (%)	26,88
p-valor	0,2524

Nota: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la alimentación automática permitió un incremento del 26,88 % en la tasa de crecimiento diario respecto al sistema de voleo. No obstante, al igual que en el peso final, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$). A pesar de ello, la mayor tasa de crecimiento observada sugiere que la distribución fraccionada y continua del alimento podría favorecer un mejor aprovechamiento nutricional durante la precría.

3.1.3. Supervivencia

La supervivencia es un indicador crítico en la fase de precría, ya que refleja tanto la calidad del manejo alimenticio como la estabilidad del ambiente de cultivo. En la Tabla 8 se presentan los porcentajes promedio de supervivencia obtenidos en ambos tratamientos.

Tabla 8. *Supervivencia promedio de postlarvas según el sistema de alimentación*

Sistema de alimentación	Supervivencia (%)
Alimentación automática	67,7
Alimentación al voleo	62,1
Diferencia (%)	8,92
p-valor	0,2116

Nota: Elaboración propia.

La supervivencia fue 8,92 % mayor en los estanques manejados con alimentación automática en comparación con el voleo. Aunque esta diferencia tampoco alcanzó significancia estadística ($p > 0,05$), el resultado sugiere una tendencia de mayor supervivencia en los estanques manejados con alimentación automática, posiblemente asociada a una menor competencia por alimento y una distribución más homogénea de las raciones.

3.1.4. Factor de conversión alimenticia (FCA)

El FCA constituye uno de los indicadores más relevantes para evaluar la eficiencia del uso del alimento en sistemas acuícolas, por que relaciona la cantidad de alimento suministrado con la biomasa producida durante el ciclo de cultivo. En la fase de precría, este indicador adquiere especial importancia debido a que pequeñas variaciones en el manejo alimenticio pueden traducirse en diferencias significativas en costos operativos y carga orgánica del sistema.

El factor de conversión alimenticia (FCA) se calculó de forma referencial a partir de los registros operativos de alimento suministrado y biomasa producida por estanque. Sin

embargo, debido a las siguientes limitaciones metodológicas: (i) dificultad para estimar con precisión la biomasa inicial en postlarvas de bajo peso, (ii) imposibilidad de cuantificar el consumo real de alimento en precría (ausencia de métodos directos de medición de ingestión), y (iii) número limitado de unidades experimentales por tratamiento, no fue posible obtener un cálculo consolidado con suficiente robustez para someterlo a pruebas inferenciales.

Por consiguiente, los valores presentados en las Tablas 9 y 10 son solo indicativos y descriptivos. No se realizaron comparaciones estadísticas ni se incluyeron en la síntesis de resultados (Tabla 16). Esta limitación se considera en la discusión de los resultados y en las conclusiones finales. En la Tabla 9 se presentan los valores de FCA obtenidos en las piscinas manejadas con alimentación automática, mientras que la Tabla 10 resume los resultados correspondientes al sistema de alimentación al voleo.

Tabla 9. *Factor de conversión alimenticia (FCA) en precrías con alimentación automática*

Piscinas	FCA
PC05F25	1,68
PC25D25	1,53
PC17E25	1,25
PC17F25	1,34
PC26G25	1,09
PC17G25	1,21
Promedio	1,35

Nota: Elaboración propia.

Tabla 10. *Factor de conversión alimenticia (FCA) en precrías con alimentación tradicional al voleo*

Piscinas	FCA
PC47D25	1,44
PC14F25	1,27
PC03E25	1,62
PC24F25	1,10
PC21E25	1,59
PC29D25	1,90

Promedio	1,49
-----------------	-------------

Nota: Elaboración propia.

3.2. Resultados ambientales por sistema de alimentación

El manejo alimenticio durante la fase de precría no solo influye en el desempeño productivo de los organismos, sino también en las condiciones ambientales del sistema, particularmente en la acumulación de residuos orgánicos en el fondo del estanque. En este sentido, la MO del sedimento se considera un indicador clave del impacto ambiental asociado a la eficiencia del uso del alimento.

En el presente estudio, la evaluación ambiental se centró en la MO del sedimento al final del ciclo de precría, mientras que parámetros como oxígeno disuelto (OD) y temperatura fueron monitoreados como variables de control ambiental, con el fin de verificar la estabilidad del sistema y descartar eventos de estrés que pudieran sesgar la interpretación de los resultados productivos.

3.2.1. Materia orgánica del sedimento

En la Tabla 11 se presentan los valores promedio de materia orgánica en el sedimento de los estanques manejados con alimentación automática y alimentación al voleo, así como la comparación estadística entre ambos sistemas.

Tabla 11. *Contenido de materia orgánica (%) en el sedimento según el sistema de alimentación*

Sistema de alimentación	Materia orgánica (%)
Alimentación automática	2,61
Alimentación al voleo	3,23
Diferencia (%)	-19,24
p-valor	0,4340

Nota: Elaboración propia.

Los resultados evidencian que los estanques manejados con alimentación automática presentaron un 19,24 % menos de materia orgánica en el sedimento en comparación con aquellos alimentados por voleo. Esta reducción sugiere una mejor eficiencia en el aprovechamiento del alimento, lo que se traduce en una menor deposición de residuos no consumidos en el fondo del estanque.

No obstante, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), lo cual indica que, bajo las condiciones evaluadas, la disminución observada corresponde a una tendencia ambiental favorable, pero no concluyente desde el punto de vista estadístico.

3.2.2. Oxígeno disuelto y temperatura como variables de control ambiental

Durante los ciclos evaluados se realizó el monitoreo diario de temperatura y oxígeno disuelto en dos momentos del día (05:00 y 17:00 horas), registrándose para cada jornada el valor mínimo, máximo y promedio diario por tratamiento.

En relación con la temperatura del agua, los resultados consolidados se presentan en la Tabla 12. En el tratamiento con alimentación automática (A.A.), la temperatura osciló entre 24,29 °C y 28,91 °C, con un promedio general de 26,73 °C. Por su parte, en el tratamiento al voleo, los valores fluctuaron entre 24,23 °C y 28,29 °C, con un promedio general de 26,35 °C.

Tabla 12. *Resumen estadístico de temperatura por tratamiento*

Tratamiento	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Promedio general (°C)
A.A.	24,29	28,91	26,73
Voleo	24,23	28,29	26,35

Nota: Valores obtenidos a partir de registros diarios de 05:00 y 17:00 horas.

El comportamiento diario de estas variables se muestra en las Figuras 3 y 4, donde se representan las tres curvas correspondientes al valor mínimo, máximo y promedio diario para cada tratamiento. Se observa una variabilidad térmica moderada, con descensos matutinos y aumentos vespertinos típicos de la dinámica diaria, sin evidenciarse fluctuaciones extremas que pudieran comprometer la estabilidad fisiológica del camarón.

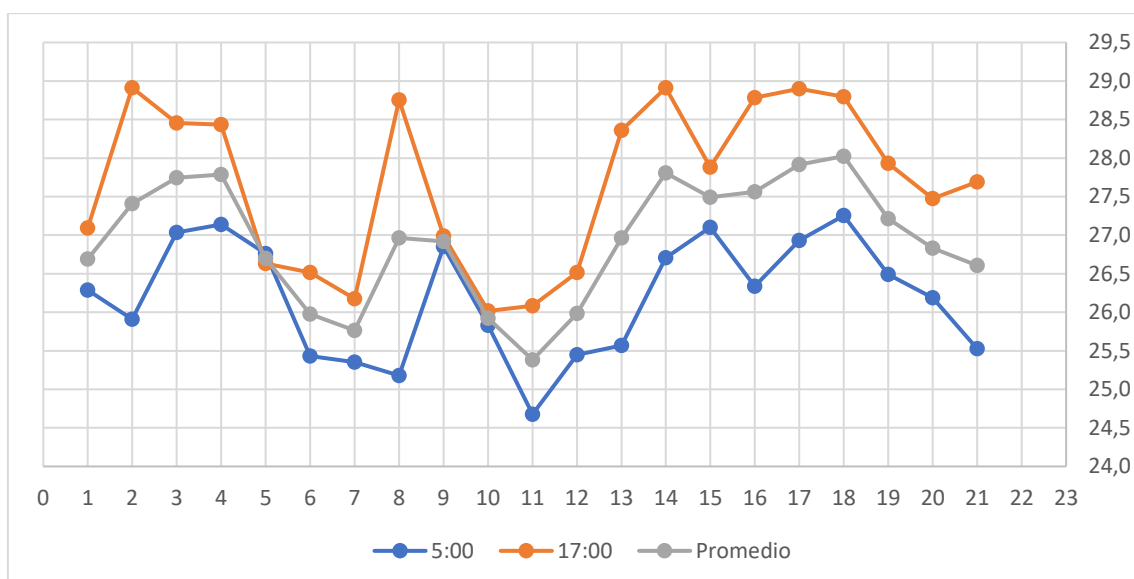


Figura 3. Variación de la temperatura diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio de las 6 precrías que fueron suministrados el alimento mediante alimentadores automáticos.

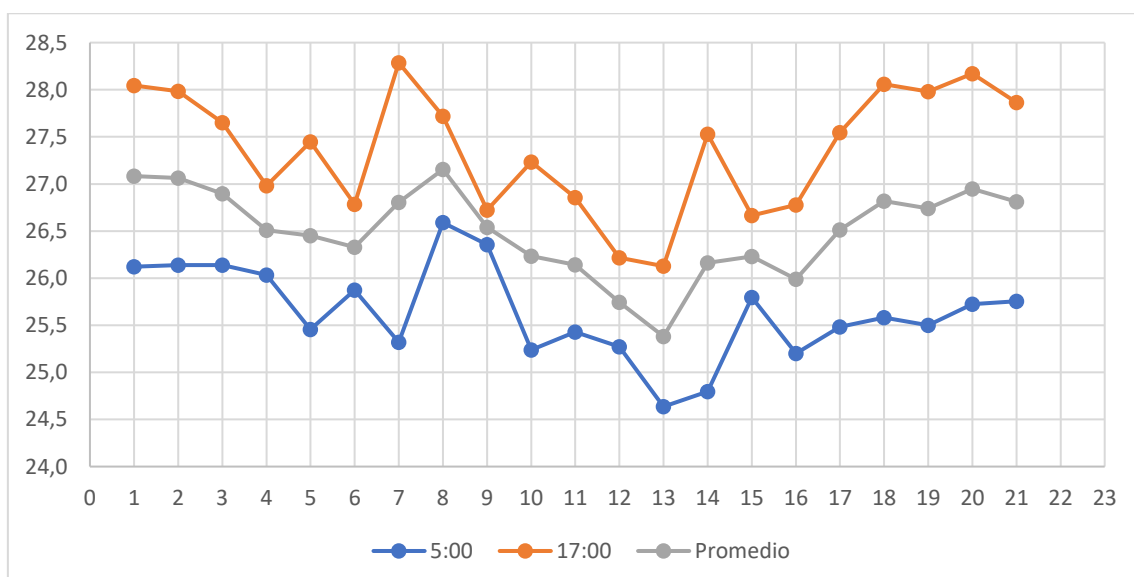


Figura 4. Variación de la temperatura diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio de las 6 precrías que fueron suministrados el alimento mediante voleo.

En cuanto al oxígeno disuelto, los valores resumen se presentan en la Tabla 1. En el tratamiento AA, el OD registró mínimos de 3,90 mg/L y máximos de 14,20 mg/L, con un promedio general cercano a 7,50 mg/L. En el tratamiento al voleo, el valor mínimo alcanzó 2,90 mg/L y el máximo 10,70 mg/L, con un promedio general de 6,70 mg/L.

Tabla 13. Resumen estadístico de oxígeno disuelto por tratamiento

Tratamiento	OD mínimo (mg/L)	OD máximo (mg/L)	Promedio general (mg/L)
A.A.	3,90	14,20	7,50

Voleo	2,90	10,70	6,70
-------	------	-------	------

Nota: Valores obtenidos a partir de registros diarios de 05:00 y 17:00 horas.

Las Figuras 5 y 6 muestran la dinámica diaria del oxígeno disuelto para ambos tratamientos, incorporando las curvas de mínimo, máximo y promedio diario. Aunque se identificaron algunos valores matutinos bajos, no se registraron episodios prolongados de hipoxia crítica (<2 mg/L). En términos generales, las condiciones de oxigenación se mantuvieron dentro de rangos operativos adecuados para sistemas de precría.

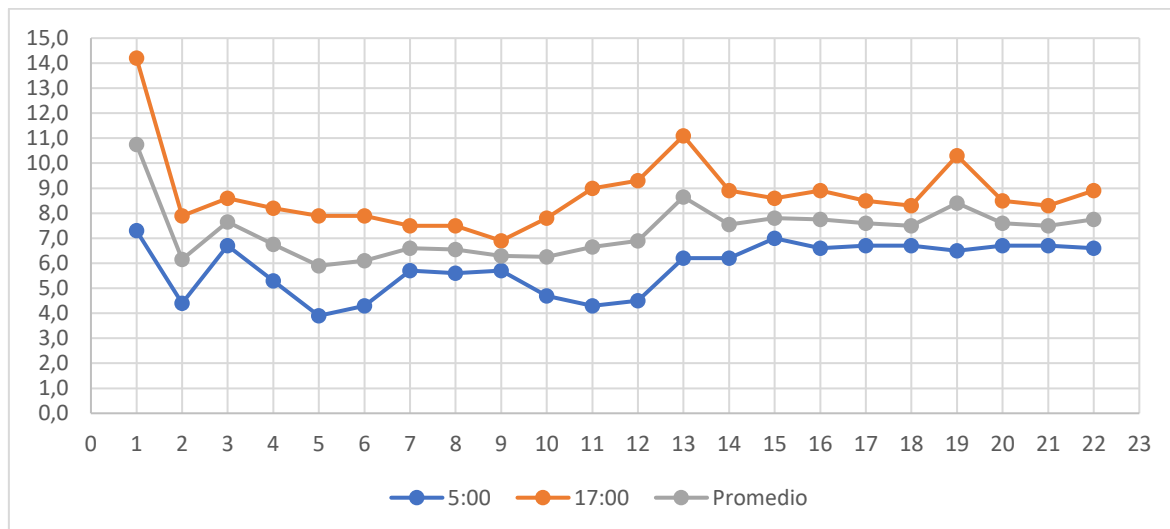


Figura 5. Variación diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio del oxígeno disuelto de los seis estanques de precría con alimentación automática.

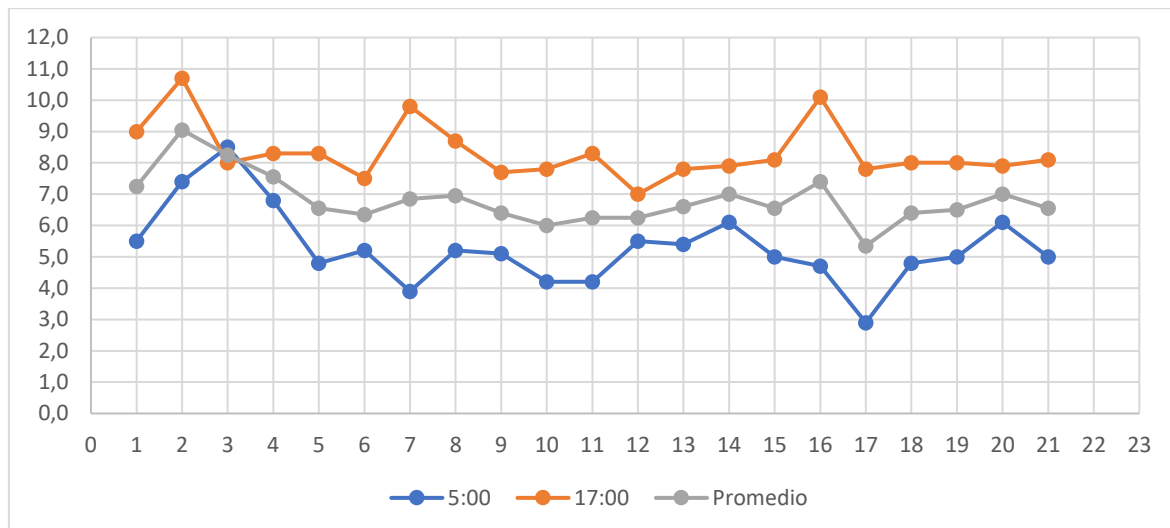


Figura 6. Variación diaria (05:00 y 17:00 h) y promedio del oxígeno disuelto de los seis estanques de precría con alimentación al voleo.

El periodo experimental coincidió con una época relativamente fría, lo cual explica las temperaturas promedio ligeramente inferiores a las registradas en estaciones cálidas. Esta condición puede influir en la actividad metabólica y en la tasa de consumo del camarón,

limitando parcialmente la expresión del crecimiento. No obstante, dado que ambos tratamientos estuvieron expuestos a condiciones ambientales similares, lo que sugiere que las diferencias observadas en materia orgánica y desempeño productivo podrían estar asociadas principalmente al manejo del alimento.

3.3. Resultados fisiológicos y nutricionales

La evaluación de los resultados fisiológicos y nutricionales se realizó mediante la observación del contenido lipídico del hepatopáncreas de los organismos durante la fase de precría, considerando dos momentos del ciclo productivo: mitad del ciclo y final del ciclo.

El hepatopáncreas es un órgano clave en los crustáceos, ya que cumple funciones esenciales en la digestión, absorción y almacenamiento de lípidos, por lo que su condición se utiliza frecuentemente como un indicador indirecto del estado nutricional y energético del organismo.

En el presente estudio, el contenido lipídico fue evaluado mediante observación microscópica, expresada de forma semi-cuantitativa (porcentual), lo cual permite identificar tendencias fisiológicas, aunque no constituye una medición bioquímica directa.

3.3.1. Contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad y final del ciclo

En la Tabla 12 se presentan los valores observados de contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad y final del ciclo de precría, junto con la temperatura promedio registrada y la materia orgánica del sedimento, para ambos sistemas de alimentación.

Tabla 14. *Contenido lipídico del hepatopáncreas a mitad del ciclo (MC), final del ciclo (FC) y variables ambientales asociadas*

Alimentación automática (A.A.)				
Ciclos	Temperatura (°C)	Lípidos MC	Lípidos FC	Materia orgánica (%)
PC05F25	26,73	2,0	3,0	2,51
PC25D25	26,73	3,3	3,9	2,19
PC17E25	26,73	3,4	3,9	1,73
PC17F25	26,14	3,4	3,8	3,03
PC26G25	25,93	2,9	3,5	1,56
PC17G25	25,93	3,9	3,6	4,64
	Promedio	3,2	3,6	2,61
Alimentación al voleo				

Ciclos	Temperatura (°C)	Lípidos MC	Lípidos FC	Materia orgánica (%)
PC47D25	26,73	2,9	3,8	4,88
PC14F25	26,73	3,8	3,8	0,94
PC03E25	26,73	3,3	3,8	3,98
PC24F25	26,14	3,3	2,9	3,98
PC21E25	25,93	3,6	3,5	3,71
PC29D25	25,93	3,4	3,8	1,90
Promedio		3,4	3,6	3,23

Nota: Elaboración propia.

Los resultados muestran que, a mitad del ciclo, ambos sistemas de alimentación presentaron valores similares de lípidos observados en el hepatopáncreas, sin diferencias marcadas entre alimentación automática y voleo. Esta similitud sugiere que, durante la primera mitad del ciclo, y en su revisión a final de ciclo, los organismos lograron cubrir sus requerimientos energéticos básicos bajo ambos esquemas de alimentación.

La temperatura se mantuvo estable en torno a los 26 °C, lo que favorece una actividad metabólica relativamente constante y reduce la probabilidad de variaciones fisiológicas asociadas a estrés térmico.

3.3.2. Contenido lipídico del hepatopáncreas al final del experimento

La Tabla 13 presenta la variación del contenido lipídico del hepatopáncreas al final del experimento de precría, expresada como diferencia respecto a los valores observados previamente entre los tratamientos en alimentación automática y al voleo.

Tabla 15. Variación del contenido lipídico del hepatopáncreas al final del experimento.

Ciclos A.A.	Ciclos Voleo	Lípidos MC	Lípidos FC	Materia orgánica (%)
PC05F25	PC47D25	-0,9	-0,8	-2,37
PC25D25	PC14F25	-0,5	0,1	-1,25
PC17E25	PC03E25	0,1	0,1	-2,25
PC17F25	PC24F25	0,1	0,9	-0,95
PC26G25	PC21E25	-0,7	0,0	-2,15
PC17G25	PC29D25	0,5	-0,2	2,74
Promedio		-0,2	0,0	-0,62

Nota: Elaboración propia.

En términos generales, se observa una tendencia a la estabilidad o ligera mejora del contenido lipídico del hepatopáncreas hacia el final del experimento, al someter una diferencia entre cada ciclo correspondiente a la alimentación automática frente a los resultados de la alimentación al voleo, lo cual puede estar asociado a un mayor uso de reservas energéticas, especialmente bajo condiciones ambientales menos favorables, por lo que en promedio no se ve mayor relevancia al usar alimentación automática.

Este comportamiento es consistente con el contexto del estudio, desarrollado durante una época relativamente fría, en la cual el consumo puede verse reducido y los organismos recurren parcialmente a sus reservas energéticas para sostener el crecimiento.

3.3.3. Consideraciones metodológicas del análisis fisiológico

Es importante señalar que la evaluación del contenido lipídico se realizó mediante observación microscópica, sin un método analítico estandarizado (por ejemplo, extracción lipídica por solventes). Por tanto, los resultados deben interpretarse como indicadores fisiológicos de tendencia, mas no como valores absolutos de concentración lipídica.

No obstante, la consistencia de los valores observados entre tratamientos y su coherencia con los resultados productivos y ambientales refuerzan la utilidad de este análisis como herramienta complementaria para la interpretación del efecto del manejo alimenticio sobre la condición fisiológica de los organismos.

3.3.4. Síntesis estadística de los indicadores evaluados

Con el fin de integrar los resultados obtenidos en los análisis productivos, ambientales y fisiológicos, se elaboró una síntesis estadística que resume los principales indicadores evaluados bajo los dos sistemas de alimentación: alimentación automática y alimentación tradicional al voleo. Esta síntesis permite una visión global del comportamiento del sistema productivo y facilita la comparación conjunta de las variables analizadas a lo largo del experimento.

La Tabla 14 presenta los valores promedio por tratamiento, las diferencias porcentuales observadas, así como los principales estadísticos asociados a las pruebas de comparación (prueba t de Student), incluyendo varianza común, estadístico t, grados de libertad y valores p.

Tabla 16. Resumen comparativo de indicadores productivos, ambientales y fisiológicos según el sistema de alimentación

Tipo de alimentación	Peso final (mg)	Crecimiento (mg/día)	FCA	Supervivencia (%)	M.O. (%)	Lípidos MC	Lípidos FC
Automática	480	20,4	1,35	67,7	2,61	3,15	3,62
Voleo	340	16,1	1,49	62,1	3,23	3,38	3,60
Diferencia (%)	40,89	26,88	-9,19	8,92	-19,24	-6,90	0,46
Varianza común	0,03	38,07	0,06	51,70	1,75	0,26	0,12
<i>t</i> de Student	1,298 6	1,2148	-0,938 2	1,3346	-0,815 1	-0,798 2	0,0817
Grados de libertad	10	10	10	10	10	10	10
Alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Valor crítico ±	2,228 1	2,2281	2,2281	2,2281	2,2281	2,2281	2,2281
<i>p</i> -valor	0,223 2	0,2524	0,3702	0,2116	0,4340	0,4433	0,9365

Nota: Elaboración propia.

3.4. Discusión

En esta sección se integran e interpretan los hallazgos obtenidos durante la fase de precría bajo dos estrategias de alimentación: AA y alimentación tradicional al voleo. La discusión se enfoca en:

- Desempeño productivo.
- Implicaciones sobre el sedimento (materia orgánica).
- Condición fisiológica/nutricional estimada mediante evaluación del hepatopáncreas.
- Análisis crítico de la no significancia estadística observada en las comparaciones.

3.4.1. Comparación de los resultados productivos con estudios recientes

Los resultados productivos obtenidos en la fase de precría evidenciaron una tendencia consistente a favor de la AA frente al voleo. En el presente ensayo, el peso final promedio alcanzó 0,48 g en A.A. frente a 0,34 g en voleo (diferencia relativa +40,89%). De manera similar, la tasa de crecimiento fue mayor con A.A. (20,4 mg/día) respecto al voleo (16,1 mg/día), equivalente a un incremento de +26,88%. En supervivencia, A.A. registró 67,7% y voleo 62,1% (incremento relativo +8,92%). Aunque estas diferencias no alcanzaron significancia estadística en las pruebas aplicadas, el patrón observado es concordante con lo reportado en investigaciones donde el fraccionamiento del alimento y/o el uso de sistemas automáticos mejoran el desempeño zootécnico.

En un ensayo intensivo de engorde con tres técnicas de alimentación (manual, automático con temporizador y automático con detección de sonido), Napaumpaiporn et al. (2013), reportaron que el crecimiento diario fue mayor en los sistemas automáticos (0,21 y 0,24 g/día) en comparación con el método manual (0,18 g/día). Además, el peso final alcanzó 24,52 g con detección de sonido, mientras que el método manual registró 15,92 g. El FCA también fue más eficiente con automatización (manual 1,5, temporizador 1,4, detección de sonido 1,3). En supervivencia, el estudio indicó ausencia de diferencias significativas, lo que coincide con la idea de que, en muchos casos, la automatización mejora principalmente crecimiento y eficiencia del alimento, mientras que la supervivencia puede depender más de factores sanitarios y ambientales.

En una línea similar, Reis & Novriadi (2019), en un cultivo semi-intensivo con alimentadores automáticos por temporizador y un sistema acústico a demanda (AQ1), observaron supervivencias entre 75,2% y 81,4% sin diferencias estadísticas relevantes, y FCA entre 0,96 y 1,11 también sin diferencias significativas. Sin embargo, el sistema acústico ajustó la entrega de alimento en tiempo real y terminó ofreciendo mayores entradas de alimento, produciendo camarones de mayor tamaño y mayores rendimientos. Esto es relevante para interpretar que la automatización no solo depende de “ser automática”, sino del tipo de control (temporizador vs demanda) y de la capacidad de ajustar la ración a la respuesta de consumo.

Evidencia más reciente en condiciones intensivas también respalda el efecto del fraccionamiento. Liang et al. (2025), evaluaron frecuencias de alimentación usando alimentadores automáticos y reportaron que la alimentación automática mejoró el peso final

y la conversión alimenticia frente a alimentación manual con igual frecuencia diaria (6 veces/día). Entre los tratamientos automáticos, las frecuencias 6–8 veces/día lograron el mejor equilibrio productivo, identificándose un óptimo alrededor de 7,83 veces/día, y el grupo de 8 veces/día fue el de mayor rentabilidad. Estos resultados refuerzan que el beneficio suele asociarse a más eventos de alimentación mejor distribuidos, reduciendo picos de oferta y aumentando la probabilidad de consumo efectivo.

En Latinoamérica también se han reportado mejoras bajo alimentación automática en engorde, aunque con matices dependiendo del sistema. En Honduras, Ruiz & Torres (2018), documentaron diferencias significativas en densidad de cosecha, con valores promedio de 12,64 ind/m² para un sistema automático (Maof Madan), 9,10 ind/m² para AQ1 y 6,58 ind/m² para voleo. En supervivencia, el sistema Maof Madan alcanzó 52,70%, AQ1 44,08% y voleo 43,65%, mostrando ventaja del sistema automático más eficiente. En peso, AQ1 y voleo presentaron valores similares (18 g y 17 g), mientras que Maof Madan registró 14,27 g, diferencia atribuida por los autores a condiciones operativas del ciclo y duración de cultivo. Este punto es importante: la automatización puede mejorar ciertos indicadores (supervivencia, densidad, rendimiento), pero el peso final puede depender de decisiones de cosecha, duración del ciclo y otros factores de manejo.

3.4.2. Implicaciones del manejo alimenticio sobre la eficiencia productiva y el sedimento

Desde la perspectiva de eficiencia y sostenibilidad del sistema, el efecto más directo del manejo alimenticio se expresó en la MO del sedimento. En este estudio, la MO promedio fue menor bajo alimentación automática (2,61%) en comparación con el voleo (3,23%), lo que representa una reducción relativa de 19,24%. Este resultado es consistente con la lógica operacional de la multidosis: al distribuir el alimento en porciones pequeñas y más frecuentes, se reduce la probabilidad de acumulación puntual de balanceado no consumido, disminuyendo la fracción que termina depositándose en el fondo. Aunque estadísticamente no se detectó diferencia significativa, la magnitud del cambio observado es relevante porque la MO del sedimento es un indicador sensible del balance entre oferta de alimento, consumo real y degradación de residuos.

La literatura en sistemas de alimentación automatizada sostiene que el beneficio productivo frecuentemente se acompaña de desafíos ambientales cuando la automatización conduce a mayores entradas netas de nutrientes. En un estudio sobre prácticas de manejo de

alimentación y calidad de agua, Jescovitch et al. (2017), reportaron que un sistema acústico a demanda (AQ1) produjo el mayor rendimiento (4.568 kg/ha), pero también registró mayores niveles de amonio total (TAN) y nitrito hacia el final del ciclo. En particular, el TAN alcanzó valores de 1,79 mg/L y 2,35 mg/L en semanas avanzadas del cultivo. La interpretación de estos hallazgos es clara: la automatización puede aumentar producción, pero si incrementa el alimento efectivamente ingresado al sistema, puede elevar la carga nitrogenada, especialmente si la capacidad de asimilación y transformación de nutrientes del estanque (fitoplancton, microbiota, recambio, aireación, biorremediación) no acompaña ese incremento.

En engorde semi-intensivo, Reis & Novriadi (2019), aportan un matiz importante: al analizar eventos de oxígeno disuelto bajo umbrales críticos, reportaron ocurrencias de lecturas menores a 2,5 mg/L, mayormente al amanecer, pero sin relación lineal con la cantidad final de alimento (R^2 bajo). Esto sugiere que el riesgo de hipoxia no depende únicamente del alimento aplicado, sino de la interacción con dinámica diaria del estanque (respiración nocturna, biomasa algal, temperatura, aireación, mezcla). Esta evidencia se conecta con tu enfoque de control ambiental: aun cuando temperatura y OD se mantengan en rangos operativos, el manejo del alimento sigue siendo determinante en la acumulación de residuos y en la presión sobre el sedimento.

Desde la práctica productiva Ching (2020), enfatiza que la eficiencia de los alimentadores automáticos depende de condiciones de implementación: ubicación/altura de la boquilla, distribución espacial del pellet, disponibilidad de oxígeno en el área de alimentación y capacidad de biomasa por tolva. El autor advierte que exceder la biomasa recomendada por alimentador puede conducir a mayor materia orgánica, deterioro de agua y suelo, y reducción de crecimiento, precisamente porque se intensifica la congregación de organismos y la demanda localizada de oxígeno, generando zonas más propensas a acumulación de residuos. En consecuencia, el hecho de que en tu estudio A.A. muestre menor MO final es coherente con un escenario donde la multidosis, junto con el control operativo (por ejemplo, ajustes por sobrantes y manejo del fondo), logra reducir pérdidas al sedimento; no obstante, la literatura también indica que, si el sistema automático incrementa el alimento real sin un soporte equivalente de oxigenación y manejo del fondo, el efecto podría invertirse, aumentando la carga orgánica y metabolitos nitrogenados.

En conjunto, los resultados indican que el manejo alimenticio no solo impacta el crecimiento, sino la eficiencia ecológica del estanque. En este ensayo, A.A. se asoció con menor MO del sedimento, lo cual sugiere un aprovechamiento más ordenado del alimento y menor acumulación residual; al mismo tiempo, la evidencia de estudios de engorde muestra que los sistemas automáticos pueden maximizar producción, pero requieren que el sistema de cultivo esté preparado para procesar la carga de nutrientes, evitando incrementos de TAN, nitrito y demanda de oxígeno. Esto refuerza que la automatización debe interpretarse como un paquete tecnológico-operativo: no basta el equipo, sino su integración con oxigenación, control de sobrantes, y prácticas de manejo del fondo para sostener eficiencia productiva sin degradar el sedimento.

3.4.3. Relación entre alimentación automática y condición fisiológica

La condición fisiológica del camarón puede verse influenciada por la forma en que el alimento es distribuido en el estanque, particularmente por la frecuencia, el tamaño de la ración y la respuesta de consumo. En el presente estudio, aunque no se evaluaron enzimas digestivas ni marcadores antioxidantes, se observó que el tratamiento con alimentación automática presentó mayores valores de peso final (0,48 g frente a 0,34 g) y mayor tasa de crecimiento (20,4 mg/día frente a 16,1 mg/día), lo que sugiere un mejor aprovechamiento metabólico del alimento suministrado.

Investigaciones recientes han demostrado que el fraccionamiento del alimento puede mejorar no solo el crecimiento, sino también la condición fisiológica interna. Liang et al. (2025), en un sistema intensivo con alimentadores automáticos, reportaron que las frecuencias de 6 y 8 veces por día generaron mayores pesos finales, mejor conversión alimenticia y, además, incrementos significativos en enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx), junto con menores niveles de peroxidación lipídica (MDA). Estos hallazgos indican que una distribución más uniforme del alimento puede reducir el estrés oxidativo y favorecer un estado fisiológico más estable.

En precría, Mera et al. (2021) observaron que el uso de alimentación automática incrementó la supervivencia en 31%, el crecimiento en 17% y el peso de transferencia en 21% respecto al manejo manual. Además, al evaluar vacuolización lipídica en hepatopáncreas, encontraron que la dinámica de lípidos se ajustaba de forma más estable bajo alimentación automática, mientras que en el sistema manual se observaron variaciones asociadas probablemente a

déficit o irregularidad en la oferta alimenticia. Estos resultados sugieren que la frecuencia y regularidad en la entrega del alimento influyen en la homeostasis energética del organismo.

Desde el punto de vista del comportamiento alimenticio Peixoto & Soares (2020), demostraron que la actividad acústica asociada al consumo depende de la textura y dureza del pellet. Las dietas extruidas, con mayor dureza (26,19 N frente a 12,82 N en pelletizadas), generaron mayor intensidad acústica (213,33 unidades RMS frente a 174,15), lo que mejora la capacidad de los sistemas acústicos para detectar actividad de alimentación. Cuando el pellet fue remojado durante 1–2 horas, su dureza disminuyó drásticamente (hasta 0,43–0,64 N) y la intensidad acústica se redujo significativamente, lo que podría alterar la detección de consumo en sistemas a demanda. Esto evidencia que la eficiencia fisiológica no depende únicamente del equipo, sino también de la interacción entre alimento, comportamiento y tecnología.

En conjunto, la evidencia sugiere que la alimentación automática, cuando se implementa adecuadamente, puede favorecer una mayor estabilidad fisiológica mediante una oferta fraccionada y ajustada al patrón de consumo. En el presente estudio, aunque no se midieron variables bioquímicas, el mayor crecimiento observado bajo A.A. es coherente con la literatura que asocia el fraccionamiento del alimento con mejor utilización energética y menor variabilidad en la condición metabólica.

3.4.4. Interpretación de resultados no significativos

Si bien los tratamientos evaluados mostraron tendencias favorables hacia la alimentación automática en crecimiento, peso final y supervivencia, las diferencias no alcanzaron significancia estadística. Esta situación no implica ausencia de efecto biológico, sino que puede estar asociada a múltiples factores experimentales y contextuales.

En estudios de mayor escala y duración, se han observado escenarios similares. Napaumpaiporn et al. (2013), encontraron diferencias claras en crecimiento diario (0,24 g/día en sistema acústico frente a 0,18 g/día en manual) y en peso final (24,52 g frente a 15,92 g), pero no detectaron diferencias significativas en supervivencia entre tratamientos. De forma semejante Reis & Novriadi (2019), reportaron supervivencias entre 72,5% y 81,4% y FCR entre 0,96 y 1,11 sin diferencias estadísticas entre tratamientos, a pesar de que el sistema acústico produjo camarones de mayor tamaño y mayor rendimiento final. Esto demuestra que ciertos parámetros productivos pueden mostrar mejoras prácticas sin que todas las variables respondan con diferencias estadísticas robustas.

En sistemas semi-intensivos y de engorde Jescovitch et al. (2017), tampoco encontraron diferencias significativas en múltiples parámetros de calidad de agua entre tratamientos de alimentación manual y automática durante un ciclo de 16 semanas, aun cuando el sistema acústico produjo el mayor rendimiento (4.568 kg/ha). Esto refuerza la idea de que la ausencia de significancia estadística no necesariamente invalida la tendencia productiva observada.

En el presente estudio, la etapa evaluada fue precría, con pesos finales menores a 1 g y duración relativamente corta en comparación con ensayos de engorde de 90 a 120 días. Es posible que el tamaño muestral, la duración del ciclo o la variabilidad natural entre estanques hayan limitado la capacidad de detectar diferencias significativas. Además, ambos tratamientos estuvieron expuestos a condiciones ambientales similares (temperatura promedio cercana a 26 °C y oxígeno disuelto dentro de rangos operativos), lo que pudo reducir la magnitud del contraste entre métodos.

Desde un punto de vista biológico, incrementos relativos de 40,89% en peso y 26,88% en tasa de crecimiento representan magnitudes relevantes, especialmente en fases tempranas donde pequeñas diferencias pueden amplificarse en ciclos posteriores de engorde. Sin embargo, para que estas diferencias alcancen significancia estadística formal, podrían requerirse mayor número de réplicas, mayor duración experimental o evaluación bajo condiciones de mayor presión productiva (mayor densidad o biomasa).

En consecuencia, los resultados no significativos deben interpretarse con cautela: no evidencian ausencia de efecto, sino que sugieren que bajo las condiciones específicas del presente ensayo, la alimentación automática mostró una tendencia favorable que coincide con la literatura, aunque sin alcanzar el umbral estadístico convencional. Esta interpretación es coherente con múltiples estudios donde la automatización mejora el desempeño productivo, pero la respuesta estadística depende de la escala, intensidad del sistema y duración del cultivo.

3.4.5. Limitaciones del estudio y oportunidades de mejora

Entre las principales limitaciones, destaca la cobertura del área de alimentación: con un número limitado de alimentadores, resulta difícil alimentar de forma óptima las zonas de mayor consumo (áreas profundas, zonas con mejor circulación/oxígeno o entradas de agua), lo que puede disminuir la ventaja esperada de la multidosis.

Además, el estudio no reporta FCA final (por falta del dato consolidado), ya que los datos obtenidos, en base al número de replicas, no muestran significancias estadísticas fuertes, lo que restringe el análisis económico-productivo, ya que la eficiencia alimenticia es una de las variables más sensibles al tipo de entrega del alimento.

El estudio aporta evidencia aplicada de que la alimentación automática en precría puede mejorar el desempeño productivo y reducir la carga orgánica, pero su efecto depende de la capacidad de cobertura, del ajuste fino por consumo y de las condiciones ambientales del ciclo, especialmente temperatura.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de alimentación automática en la etapa de precría de *Litopenaeus vannamei* permitió estructurar y aplicar un protocolo de manejo alimenticio técnicamente consistente, el cual integró programación multidosis, racionamiento mixto, monitoreo de sobrantes y ajustes operativos basados en el consumo observado. Este protocolo resultó ser funcional en condiciones reales de producción, manteniendo estabilidad operativa durante todo el ciclo y sin generar alteraciones negativas en el desempeño productivo ni en la condición fisiológica de los organismos.

Los resultados obtenidos evidenciaron una tendencia a la reducción del desperdicio de alimento en los estanques manejados con alimentación automática, reflejada en menores valores promedio de materia orgánica en el sedimento en comparación con el sistema tradicional al voleo. Si bien estas diferencias no alcanzaron significancia estadística ($p = 0,4340$), el patrón observado sugiere una mejor sincronización entre la oferta y el consumo del alimento, asociada a la dosificación fraccionada y al monitoreo sistemático de sobrantes mediante el triángulo de arrastre.

En cuanto a los indicadores productivos, el sistema de alimentación automática presentó valores promedio superiores de peso final, tasa de crecimiento diario y supervivencia respecto al sistema tradicional. No obstante, las comparaciones estadísticas no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, lo cual puede atribuirse a la variabilidad entre ciclos, al tamaño muestral limitado y a la influencia de factores ambientales, particularmente la temperatura, que condiciona la actividad metabólica y el consumo en la etapa de precría. A pesar de ello, los resultados confirman que la alimentación automática no compromete el desempeño productivo y puede constituir una alternativa técnicamente viable frente al manejo convencional.

La evaluación del contenido lipídico del hepatopáncreas indicó una condición fisiológica y nutricional comparable entre ambos sistemas de alimentación, tanto a mitad como al final del ciclo. Esto sugiere que, bajo las condiciones evaluadas y con raciones diarias equivalentes, la forma de distribución del alimento no generó diferencias marcadas en el estado energético de los organismos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda incrementar la cobertura espacial del sistema de alimentación automática mediante un mayor número de equipos por estanque o mediante estrategias de redistribución periódica, al implementar alimentadores móviles o reposicionables como estrategia para replicar el recorrido del voleo, manteniendo multidosis y reduciendo acumulación puntual en el fondo, con el fin de reducir la competencia entre organismos y asegurar un acceso más homogéneo al alimento. Asimismo, es aconsejable mantener el uso del triángulo de arrastre como herramienta rutinaria de monitoreo, ya que permite ajustar oportunamente las dosis y prevenir la acumulación excesiva de residuos orgánicos en el fondo del estanque.

Para fortalecer la evaluación de la eficiencia alimenticia, se sugiere registrar de forma detallada el consumo real de alimento y consolidar el cálculo del factor de conversión alimenticia en futuros estudios, lo que permitiría un análisis más robusto del impacto económico del sistema automático. De igual manera, se recomienda desarrollar evaluaciones en ciclos con condiciones ambientales más favorables, especialmente temperaturas óptimas, a fin de analizar el potencial máximo del sistema de alimentación automática sobre el crecimiento y la supervivencia.

Desde el punto de vista metodológico, se recomienda ampliar el tamaño muestral y estandarizar los criterios de evaluación fisiológica del hepatopáncreas mediante protocolos validados o análisis bioquímicos complementarios, con el objetivo de mejorar la precisión y reproducibilidad de los resultados. Finalmente, se sugiere integrar variables ambientales adicionales, como compuestos nitrogenados y oxígeno disuelto, para fortalecer la evaluación del impacto ambiental asociado a los diferentes sistemas de alimentación en la etapa de precría.

BIBLIOGRAFÍA

- Araujo, A. (2021). *Efecto de un alimento elaborado a base de soya pre-digerida sobre el rendimiento y sobrevivencia de camarón blanco del pacífico (Litopenaeus vannamei) en su etapa de pre-cría*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2fcfbe41-5565-4d94-be70-4c2ab11bcd0b/content>
- Arias, F. (2022). *Evaluación del uso de un alimento balanceado con un tamaño de partícula de 0.5 mm durante los primeros 7 días en la fase de precría del camarón blanco Litopenaeus vannamei en una camaronera ubicada en el sector Los Farallones, Isla Puná*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/19189/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-193.pdf>
- Armijos, K. (2023). *Análisis de los factores que promueven las exportaciones del camarón de la provincia del Guayas, Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26568/1/UPS-GT004871.pdf>
- Bohórquez, A., & Vaca, G. (2025). *Cultivo de postlarvas de camarón blanco (Litopenaeus vannamei) en sistemas de recirculación y biofloc*. Revista Científica Ciencias Naturales Ambientales: <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/es/article/view/1975>
- Boyd, C., & Davis, R. (2021). *Uso de recursos en la cría de camarón blanco - Litopenaeus vannamei en Ecuador*. World Aquaculture Society: https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/traduccion_final.pdf
- Briones, R., & Vargas, C. (2025). *Evaluación productiva del camarón blanco Litopenaeus vannamei según su densidad de siembra y dieta alimenticia*. Journal Gestar: <https://journalgestar.org/index.php/gestar/article/download/241/427/1133>
- Carrion, J. (2022). *Efecto de alimentos balanceados comerciales y predigeridos con probióticos sobre el crecimiento y supervivencia del camarón blanco litopenaeus vannamei*. Universidad Técnica de Machala: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d481fa95-2355-4c25-86e0-9cce1d08875f/content>

- Carrión, J., & Galarza, W. (2023). *Efecto de alimentos balanceados comerciales y predigeridos con probióticos sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles del camarón blanco *Litopenaeus Vannamei**. Revista Polo de Conocimiento: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5924>
- Castillo, O., & Leal, Y. (2020). *Peso del camarón blanco (*Litopenaeus Vannamei*) con diferentes periodos alimenticios*. Universidad Rafael Urdaneta: <https://documentos.uru.edu/pdf/4201-17-11521.pdf>
- Cevallos, B. (2023). *Eficiencia de la alimentación automatizada robotilsa sobre la supervivencia y crecimiento del camarón (*Litopenaeus vannamei*) en cultivo-semi-intensivo en camaronera Marcor*. Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d1f4b0c9-dcfa-4df7-aa10-306ac117fe7c/content>
- Cevallos, M., & Plúas, F. (2024). *Desarrollo de un sistema de dispersión homogéneo de balanceado para camarón*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29298/1/UPS-GT005928.pdf>
- Ching, C. (2020). *Consideraciones para la alimentación automática en estanques de camarones*. Global Aquaculture Advocate: https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542103060_3EB095995C67164AA38D7B.pdf
- Chuya, D. (2021). *Criterios para el dimensionamiento de la aeración en la producción de un cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55412/1/T-76795%20Chuya%20Zhangallimbay.pdf>
- Del Castillo, B., & Velásquez, P. (2021). *Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador*. Revisas Sociedad y Tecnología: <https://institutojubones.edu.ec/ojs/index.php/societec/article/view/151>
- Eras, R. (2021). *Ecosistemas de producción camaroneros: Estudios y proyecciones para la gestión de costos*. Inniva Research Journal: <https://www.redalyc.org/pdf/7378/737880778003.pdf>
- Espinoza, N. (2025). *Evaluación de la producción de post larvas de *Penaeus vannamei* mediante la aplicación de dos tipos de alimentación con artemia sp. en condiciones*

- de laboratorio*. Universidad Estatal Península de Santa Elena:
<https://repositorio.upse.edu.ec/items/a4de8897-bb15-4e31-a3cf-c4c5c7f8d7ce>
- Fonseca, E. (2023). *Adición de diferentes niveles de harina de moringa en pollos de engorde en etapa de crecimiento y acabado*. Universidad Técnica de Babahoyo:
<https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/52d31831-4989-4dab-9e3e-7ce68a7abe61/content>
- Guacho, C. (2022). *Niveles de consumo de balanceado del camarón blanco, usado alimentadores automáticos en modo sónico, durante la estación cálida húmeda, camaronera isla Matorrillo*. Universidad Estatal Península de Santa Elena:
<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dd4c30b0-2ec4-43cd-baa8-3ef0fb3a15d1/content>
- Hernández, P., & Timaná, M. (2022). *Incremento de la supervivencia de camarón blanco (Litopenaeus vannamei) infectado con el virus de la mancha blanca y alimentado con una dieta suplementada con aceite de coco (Cocos nucifera)*. Scielo:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322022000100106
- Hoyos, S., & Cobo, L. (2023). *Evaluación de la aplicación “LarvIA” en la fase de pre cría de la camaronera GRABIOCA ubicada en el Golfo de Guayaquil-*. Food and Agriculture Organization of the United Nations:
<https://agris.fao.org/search/en/providers/125482/records/67bd85b7e27dfa125189a415>
- Jescovitch, L., Ullman, C., & Rhodes, M. (2017). *Effects of different feed management treatments on water quality for Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. Wiley Aquaculture Research: https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHnYtSAOWC3SI/1771542103799_3EB0710B9166683067704A.pdf
- Lecaro, K., & Lozada, V. (2022). *Optimización de la alimentación de camarón blanco Litopenaeus vannamei en un sistema de alto rendimiento a baja salinidad*. Repositorio Dspace:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/56118>

- Lemos, D., & Weissman, D. (2020). *Muda en el crecimiento de gambas de granja: una reseña*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/342500233_Moulting_in_the_grow-out_of_farmed_shrimp_a_review
- Liang, Q., Liu, G., & Luan, Y. (2025). *Impact of Feeding Frequency on Growth Performance and Antioxidant Capacity of Litopenaeus vannamei in Recirculating Aquaculture Systems*. MDPI: https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542104041_3EB0591AB23CEE603B7B0F.pdf
- Liu, B. (2025). *Cómo el fotoperiodo influencia la calidad nutricional de los músculos y el metabolismo lipídico del camarón blanco del Pacífico cultivado bajo techo*. Global Seafood: <https://www.globalseafood.org/advocate/como-el-fotoperiodo-influencia-la-calidad-nutricional-de-los-musculos-y-el-metabolismo-lipidico-del-camaron-blanco-del-pacifico-cultivado-bajo-techo/>
- Maldonado, S., & Bazán, S. (2024). *La Evolución de los Procesos de Elaboración de Alimento con Alto Valor Nutricional y su Relación para la Producción de Crustáceos Litopenaeus Vannamei*. Ciencia Latina Revista Multidisciplinar: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/12509>
- Marmolejo, J. (2025). *Evaluación del crecimiento del camarón blanco (litopenaeus vannamei) alimentado con (chaetoceros calcitrans y tetraselmis chuii) en acuicultura en Ecuador*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí: <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/9394>
- Méndez, E., & Parra, G. (2024). *mpacto de la alimentación automática sobre la calidad del suelo en cultivo de Litopenaeus vannamei*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/382006786_Impacto_de_la_alimentacion_automatica_sobre_la_calidad_del_suelo_en_cultivo_de_Litopenaeus_vannamei
- Mera, K., Haro, D., & Pazos, F. (2021). *Uso de alimentadores automáticos como una estrategia de alimentación más eficiente en la fase de precría del camarón*. Aquicultura: https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542103746_3EB07BC34CBB001653253B.pdf

- Mora, G., & Delgado, C. (2025). *White shrimp (Litopenaeus vannamei) production and its impact on the physicochemical components of water in the gulf of Guayaquil, Ecuador*. *Jorunal Scientific*:
<https://www.investigarmqr.com/2025/index.php/mqr/article/download/639/7617>
- Napaumpaiporn, T., Chuchird, N., & Taparhudee, W. (2013). *Study on the Efficiency of Three Different Feeding Techniques in the Culture of Pacific White Shrimp (Litopenaeus vannamei)*. *Kasetsart University*: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFE/article/view/80653>
- Narvaez, A., & Romero, G. (2022). *Efectos del uso de alimentadores automáticos sobre el consumo de alimento y el crecimiento del camarón (Litopenaeus vannamei) entre invierno y verano, en el Sector Guarumal - Provincia de El Oro*. *Universidad Técnica de Machala*:
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/914a4d55-6620-4aef-bb5e-3e5fe99b0373/content>
- Nunes, A., & Dragoy, R. (2021). *Abordando los desafíos de salud del camarón a través de la nutrición funcional*. *Revista Panorama Acuícola*:
<https://panoramaacuicola.com/2025/07/14/abordando-los-desafios-de-salud-del-camaron-a-traves-de-la-nutricion-funcional/>
- Palacios, J. (2023). *Uso eficiente de los alimentadores automáticos en el ciclo de cultivo del camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. *Universidad Técnica de Machala*:
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d718a257-550b-4524-97cf-22ea5afec08a/content>
- Palma, M. (2023). *Un mundo de opciones para la Acuicultura*.
<https://molinoschampion.com/los-diferentes-tipos-de-estanques-en-las-camaroneras/>
- Pazmiño, M., & Santamarta, L. (2025). *Environmental life cycle assessment and potential improvement measures in the shrimp and prawn aquaculture sector: A literature review*. *Science Direct*:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X24000856>
- Peixoto, S., & Soares, R. (2020). *Acoustic activity of Litopenaeus vannamei fed pelleted and extruded diets*. *ScienceDirect*: <https://storage.googleapis.com/stark->

media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542102266_3EB05B2AB1AB22E7916DB8.pdf

Pereira, E. (2024). *Efecto de alimentar camarón blanco del Pacífico con la macroalga verde fresca Chaetomorpha clavata*. <https://www.globalseafood.org/advocate/efecto-de-alimentar-camaron-blanco-del-pacifico-con-la-macroalga-verde-fresca-chaetomorpha-clavata/>

Pulgarín, R. (2022). *Comportamiento de las exportaciones de camarón y su incidencia en el crecimiento económico del Ecuador en el periodo 2011 – 2021*. Revista Polo de Conocimiento:
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3620/html>

Reis, J., & Novriadi, R. (2019). *Optimizing feed automation: improving timer-feeders and on demand systems in semi-intensive pond culture of shrimp Litopenaeus vannamei*. Journal Pre-proof: https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542103649_3EB0A12CFEB805FA3C953C.pdf

Reyes, R., & Tomalá, D. (2023). *Análisis y mejora del sistema de producción en un laboratorio de larvas de camarón ubicado en la provincia de Santa Elena*. Universidad Politécnica Salesiana:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24847/1/UPS-GT004332.pdf>

Rivera, R. (2024). *Amoniaco en estanques de producción camaronesa*. Foro de Acuicultura:
<https://ecuanoticias.com.ec/acuacultural.html>

Ruiz, D., & Torres, R. (2018). *Evaluación de eficiencia en dos sistemas de alimentación automática para engorde de camarón blanco (Litopenaeus vannamei) en Choluteca, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras:
https://storage.googleapis.com/stark-media/media/Rf1wXxGHNnYtSAOWC3SI/1771542103886_3EB09C3FE94A6D15BAE524.pdf

Saputra, A., & Purnama, S. (2024). *The Effect of Using an Autofeeder on Vannamei Shrimp (Litopenaeus vannamei) Growth in Intensive Ponds at Cv. Cemara Sewu Sumber Rejeki, Cilacap*. Journal of Artha Biological Engineering:
<https://arthagenlab.id/index.php/joabe/article/download/16/19>

- Torres, M., & Franco, J. (2020). *Diseño de un protocolo de manejo para una alimentación eficiente en piscinas intensivas de camarón blanco P. vannamei*. Escuela Superior Politécnica de Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51408/3/T-76694%20TORRES-FRANCO.pdf>
- Tran, K., & Nguyen, L. (2021). *Efecto de dietas de alto desempeño para precría de camarones*. Sociedad Venezolana de Acuicultura: <https://svacuicultura.org/noticia/efecto-de-dietas-de-alto-desempeno-para-precria-de-camarones/>
- Valdés, F. (2024). *Sostenibilidad de la camaronicultura en cuba*. Universidad de la Habana: https://accesoabierto.uh.cu/files/original/2180299/SOSTENIBILIDAD_DE_LA_CAMARONICULTURA_EN_CUBA.pdf
- Wang, Z., Qu1, Y., & Yan, M. (2020). *Physiological Responses of Pacific White Shrimp Litopenaeus vannamei to Temperature Fluctuation in Low-Salinity Water*. *Frontiers*: <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2019.01025/full>
- Yucra, M. (2021). *Efecto de la alimentación de truchas comerciales Oncorhynchus mykiss Walb con dietas de ensilados biológicos producidos a partir de víceras de trucha*. Universidad Nacional del Altiplano: <https://repositorio.unap.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8836d7f6-04ee-4ee7-886d-798fa043add1/content>
- Zhang, Y., Liu, J., & Zhuo, H. (2023). *Differential Toxicity Responses between Hepatopancreas and Gills in Litopenaeus vannamei under Chronic Ammonia-N Exposure*. MDPI: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/24/3799>