



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO ECONÓMICO Y NIVEL DE
RIESGO BIOECONÓMICO DEL CULTIVO SEMI-INTENSIVO DE
CORTA DURACIÓN DEL CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus*
vannamei.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Bioeconomía Pesquera y Acuícola
(Línea general de aplicación del conocimiento en Biología y Ecología de
la Producción Pesquera y Acuícola)

P r e s e n t a

Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga

La Paz, Baja California Sur, noviembre de 2024.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 08 del Mes de octubre del 2024, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"ANÁLISIS DE RENDIMIENTO ECONÓMICO Y EL NIVEL DE RIESGO BIOECONÓMICO DEL CULTIVO SEMI-INTENSIVO DE CORTA DURACIÓN DEL CAMARON BLANCO *Litopenaeus vannamei*"



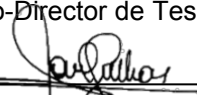
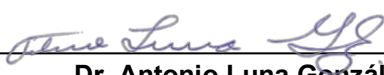
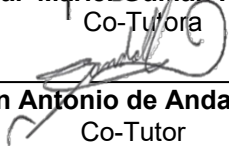

Presentada por el alumno:

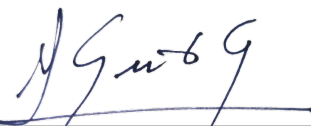
Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOECONOMÍA PESQUERA Y ACUÍCOLA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

 _____	 _____
Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez Co-Director de Tesis	Dra. Elizabeth Monreal Escalante Co-Directora de Tesis
 _____	 _____
Dra. Mariel Gullian Klanian Co-Tutora	Dr. Antonio Luna González
 _____	 _____
Dr. Juan Antonio de Anda Montañez Co-Tutor	Dr. Marcelo Eduardo Araneda Padilla Co-Tutor



Dra. Alejandra Nieto Garibay
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 8 de Octubre del 2024.

Los miembros del comité de tesis del estudiante Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga del Programa del Doctorado en Ciencias en Bioeconomía Pesquera y Acuícola, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio: Ithenticate.
- Filtros utilizados:
Citas excluidas.
Bibliografía excluida.
- Porcentajes de similitud
Máximo 20% para tesis
Posgrado.

Se muestra captura de pantalla.

DEL CULTIVO		Citas excluidas	14%
		Bibliografía excluida	SIMILAR
Resumen de Coincidencias			
1	Internet 596 palabras Copiado el 17-Oct-2022 cibnor.repositorioinstitucional.mx		4%
2	Internet 138 palabras Copiado el 12-Jul-2015 www.researchgate.net		1%
3	Internet 120 palabras Copiado el 14-Dic-2022 dspace.uan.mx:8080		1%
4	Internet 64 palabras Copiado el 29-Ago-2022 www.fao.org		<1%
5	Internet 58 palabras Copiado el 21-Oct-2022 www.was.org		<1%
6	Internet 49 palabras Copiado el 21-Oct-2020 www.ciad.mx		<1%
7	Crossref 46 palabras "El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022", Fo ... d and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)		<1%
8	Internet 39 palabras Copiado el 26-May-2024 tpacifico.mx		<1%

Firmas del comité :



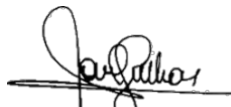
Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez
Co-Director de Tesis



Dra. Elizabeth Monreal Escalante
Co-Directora de tesis



Dr. Marcelo E. Araneda Padilla
Co-Tutor



Dra. Maribel Gullian Klanian
Co-Tutora



Dr. Antonio Luna González
Co-Tutor



Dr. Juan Antonio de Anda Montañez
Co-Tutor

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
Co-Director de Tesis

Dra. Elizabeth Monreal Escalante
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
Co-Directora de Tesis

Dra. Mariel Gullian Klanian
Universidad Marista de Mérida
Co-Tutora de Tesis

Dr. Antonio Luna González
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Juan Antonio de Anda Montañez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Marcelo Eduardo Araneda Padilla
Benchmark Genetics Chile. Aqualnovo S.A.
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dra Elizabeth Monreal Escalante
Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez
Dra. Mariel Gullian Klanian
Dr. Antonio Luna González
Dr. Juan Antonio de Anda Montañez
Dr. Marcelo Eduardo Araneda Padilla

Jurado de Examen

Dra. Elizabeth Monreal Escalante
Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez
Dra. Mariel Gullian Klanian
Dr. Antonio Luna González
Dr. Juan Antonio de Anda Montañez

Suplentes

Dr. Fernando Aranceta Garza
Dr. Leonardo Huato Soberanis

Resumen

La acuicultura de camarón se presenta como un sistema agroalimentario de rápido crecimiento a nivel mundial, impulsado por mercados accesibles y una demanda creciente. En el contexto nacional, el país está dotado de extensas costas y mano de obra costera disponible, por lo que el potencial de crecimiento en su industria acuícola, especialmente en la producción de camarón blanco del Pacífico mexicano (*Litopenaeus vannamei*), es sustancial. A pesar de la tendencia global hacia la intensificación, los sistemas semi-intensivos siguen siendo prevalentes en México debido a los desafíos para adoptar métodos intensivos, en particular debido a las grandes inversiones requeridas. Este estudio se centra en una granja de camarones semi-intensiva localizada en Guasave, Sinaloa, México, durante el ciclo de producción de 2021. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad y rentabilidad de una cosecha a corto plazo de nueve semanas para el camarón blanco en una granja semi-intensiva. En este estudio, se siguieron meticulosamente variables biológicas durante el período de cosecha de 9 semanas, revelando un peso promedio final de camarón de 8.09 g y una tasa de crecimiento de 0.79 ± 0.56 g/semana. Los ingresos netos para el ciclo alcanzaron \$145,213.46 USD, con una relación beneficio-costo de 2.07. Como pronóstico negativo, el análisis de riesgo indicó una alta probabilidad de superar los puntos de referencia límite (PRL) para el crecimiento, supervivencia y biomasa, mientras que los puntos de referencia objetivo (PRO) mostraron una probabilidad nula. Si bien el análisis económico destacó una favorable relación beneficio-costo en esta granja camaronícola, el estudio subraya la vulnerabilidad del sistema de producción a impactos fisicoquímicos, lo que hace necesario contar con herramientas económicas dinámicas para evaluaciones de rentabilidad. Los hallazgos enfatizan vías de mejora, especialmente en la optimización de la calidad del agua, estrategias de alimentación y exploración de enfoques innovadores como inmunoestimulantes naturales para mejorar las tasas de supervivencia y los ingresos netos generales en la acuicultura semi-intensiva de camarones en el noroeste de México.

Palabras clave: crustáceos, sistemas de producción acuícola, análisis bioeconómico.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5236-1436>

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez



Dra. Elizabeth Monreal Escalante

Summary

Shrimp aquaculture stands as a rapidly growing agri-food system globally, driven by accessible markets and burgeoning demand. In the Mexican context, endowed with extensive coastlines and available coastal labor, the potential for growth in its aquaculture industry, particularly in the production of Mexican whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*), is substantial. Despite the global trend towards intensification, semi-intensive systems remain prevalent in Mexico due to challenges in adopting intensive methods, particularly the substantial investments required. This study focuses on a semi-intensive shrimp farm in Guasave, Sinaloa, Mexico, during the 2021 production cycle. The objective of this study was to evaluate the feasibility and profitability of a short-term harvest lasting nine weeks for white leg shrimp within a semi-intensive farm. In this study, biological variables were meticulously tracked during the 9-week harvest period, revealing an average final shrimp weight of 8.09 g and a growth rate of 0.79 ± 0.56 g/week. The net revenue for the cycle reached \$145,213.46 USD, with a benefit-cost ratio of 2.07. As a negative forecast, risk analysis indicated a high certainty of exceeding Limit reference points (PRL) for growth, survival and biomass, whereas target reference points (PRO) showed a certainty of 0% to be exceeded. While the economic analysis showcased a favorable benefit-cost ratio, the study underscores the vulnerability of semi-intensive systems to physicochemical impacts, necessitating dynamic economic tools for profitability assessments. The findings emphasize avenues for improvement, particularly in optimizing water quality, feed strategies, and exploring innovative approaches like natural immunostimulants to enhance survival rates and overall net revenue in semi-intensive shrimp farming in northwestern Mexico.

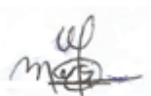
Keywords: Crustacean, aquatic production systems, bioeconomic analysis.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5236-1436>

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez



Dra. Elizabeth Monreal Escalante

Dedicatoria

A mis profesores, tutores y directores, quienes con generosidad y paciencia han compartido sus conocimientos, impulsándome a crecer tanto en el ámbito académico como en el personal. Gracias a su guía y compromiso, hoy soy una mejor persona y un mejor académico.

A Boris, mi mejor amigo, que en paz descanse. A Makoto, Camila y Lola por su amistad incondicional.

Agradecimientos

Agradezco al CONAHCYT por la generosa beca otorgada con el número 565382, la cual fue fundamental para mi sustento vital y, por consiguiente, el desarrollo de mi investigación académica.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. por brindar sus instalaciones, particularmente a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, y extendiendo mi reconocimiento al valioso personal de la institución, cuyo apoyo fue crucial para llevar a cabo de manera óptima mi programa de posgrado.

Quiero expresar un agradecimiento especial a mis Co-Directores de tesis, cuya inquebrantable guía y apoyo fueron esenciales a lo largo de todo el periodo de doctorado. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para mi formación académica. Además, agradezco sinceramente a los miembros de mi comité tutorial por su generosa disposición y amable colaboración. Su valioso aporte y orientación en el área de bioeconomía han sido clave para mi crecimiento académico.

Agradezco de manera especial al Dr. Antonio Luna González, a la Dra. Ruth Escamilla Montes y al Dr. Genaro Diarte Plata, distinguidos investigadores del CIIDIR, por su generosa disposición al brindar tanto su atención como su espacio de trabajo, permitiéndome llevar a cabo la experimentación vinculada a mi tema de tesis.

Asimismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Finca Doña Luisa, por proporcionar valiosos datos de producción de su granja acuícola, así como información crucial que ha sido fundamental para el desarrollo de mi investigación. Este logro no hubiera sido posible sin el respaldo constante de todas estas instituciones y personas. Estoy profundamente agradecido por la oportunidad de aprender y crecer en este entorno académico y profesional.

Contenido

Resumen.....	i
Summary.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	v
Lista de figuras.....	vi
Lista de tablas.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Acuicultura de camarón.....	3
2.2 Bioeconomía aplicada al cultivo de camarón.....	3
2.2.1 Conceptos básicos de bioeconomía.....	3
2.2.1.1 Ingresos.....	4
2.2.1.2 Costos.....	4
2.2.1.3 Utilidades.....	5
2.2.1.4 Crecimiento.....	5
2.2.1.5 Supervivencia.....	5
2.2.1.6 Biomasa.....	6
2.2.2 Econometría aplicada al cultivo de camarón.....	6
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. HIPÓTESIS.....	10
5. OBJETIVOS.....	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos particulares.....	11
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
6.1 Datos de producción y manejo del cultivo.....	12
6.2 Modelo estocástico.....	13
6.2.1 Relación Beneficio-costos.....	14
6.3 Análisis estocástico.....	15
6.3.1 Análisis de sensibilidad.....	15
6.3.2 Análisis de Monte Carlos.....	16
7. RESULTADOS.....	17
7.1 Análisis descriptivo de rendimiento productivo.....	17
7.2 Análisis estocástico.....	19
7.2.1 Análisis de sensibilidad.....	19
7.2.2 Análisis de Monte Carlo.....	20
8. DISCUSIÓN.....	23
9. CONCLUSIONES.....	25
10. LITERATURA CITADA.....	26
11. ANEXOS.....	31
Anexo A.-Artículo publicado.-Assessing economic and biological challenges in semi-intensive cultivation of <i>Litopenaeus vannamei</i> : identifying opportunities for enhancement in an earth-pounded shrimp farm in Sinaloa, México.....	31

Lista de figuras

Figura 1. Dinámica de crecimiento semanal de los camarones (g/semana) durante un cultivo a corto plazo en una granja comercial ubicada en la región noroeste de México.....	17
Figura 2. Representación integral de la supervivencia de los camarones durante todo el ciclo de cultivo a corto plazo de una granja comercial ubicada en la región noroeste de México.	18
Figura 3. Este gráfico muestra la dinámica semanal de la biomasa de camarones durante un cultivo a corto plazo de una granja comercial ubicada en la región noroeste de México.	19
Figura 4. Análisis de sensibilidad de los parámetros de la ecuación de crecimiento.	20
Figura 5. Análisis de sensibilidad de los parámetros de la ecuación de supervivencia.	20
Figura 6. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para crecimiento.....	21
Figura 7. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para sobrevivencia.....	22
Figura 8. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para biomasa.	22

Lista de tablas

Tabla 1. Producción mundial de crustáceos a través de los años. Peso vivo en miles de toneladas	2
Tabla 2. Variables utilizadas para calibración del submodelo biológico.	13
Tabla 3. Probabilidad de alcanzar-superar PRL y PRO para crecimiento, supervivencia y biomasa.	21

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha experimentado un notable y veloz crecimiento en las últimas décadas, posicionándose como uno de los sistemas agroalimentarios de mayor expansión (FAO, 2022). Factores como mercados comerciales accesibles y una creciente demanda a nivel mundial han contribuido significativamente a esta tendencia al alza (Joffre *et al.*, 2018; Garlock *et al.*, 2020). Aunque la contribución relativa de la acuicultura al suministro mundial de insumos y alimentos sigue siendo pequeña en términos globales (Tacon *et al.*, 2015; FAO, 2022), en el futuro se prevé que la acuicultura será un fuerte sustento para suplir al mundo de proteína animal de origen marino y lípidos de importancia para la salud, como son los ácidos grasos omega-3 (Pradeepkiran, 2019).

México, con una extensión territorial de 1,964,375 km², que incluye 1,959,248 km² de superficie continental y 5,127 km² de área insular, cuenta con una riqueza diversificada de sistemas costeros y marinos. Dentro de sus aguas territoriales, se destacan 12,500 km² de lagunas costeras y esteros, así como 6,500 km² de aguas interiores, que comprenden lagos, lagunas, represas y ríos (CONAPESCA, 2021). Estas características ofrecen un vasto potencial para el desarrollo y la expansión de la industria acuícola, permitiendo a México consolidarse como líder en la producción y comercio de sus principales especies cultivadas, entre las que destaca el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), el cual es el crustáceo mayormente producido en granjas alrededor del mundo (Tabla 1) (Delgado-González *et al.*, 2011; Cortés *et al.*, 2021; FAO, 2022; Ruiz-Luna *et al.*, 2023).

Los sistemas de acuicultura de camarón se categorizan en extensivos, caracterizados por bajos costos operativos, poca intervención humana en el manejo y el empleo de bajas densidades; semi-intensivos, que implican mayores densidades en comparación con los extensivos, equipo de aireación y uso de fertilizantes junto con un manejo sistemático; e intensivos, con densidades aún mayores que los sistemas semi-intensivos, destacándose por una circulación de agua robusta, alimentación artificial de calidad y el uso de equipos de aireación cuando las condiciones de cosecha así lo requieren (Oddsson, 2020; CONAPESCA, 2021; Cortés *et al.*, 2021,). En México, el sistema semi-intensivo ha emergido como el más prevalente en la práctica acuícola (CONAPESCA, 2021; Cortés *et al.*, 2021).

Tabla 1. Producción mundial de crustáceos a través de los años. Peso vivo en miles de toneladas (Tomada de la FAO, 2022).

	2000	2005	2010	2015	2020	Porcentaje del total, 2020
crustáceos						
<i>Litopenaeus vannamei</i>	154.5	1,678.40	2,648.50	3,803.60	5,812.20	51.70
<i>Procambarus clarkii</i>	9.1	114.3	599.3	723.1	2,469.00	22
<i>Eriocheir sinensis</i>	202.5	378.4	572.4	747.4	775.9	6.9
<i>Penaeus monodon</i>	631.0	665.5	562.9	735.2	717.1	6.4
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	130.7	195.9	193.1	202.5	294	2.6
<i>Scylla serrata</i>	10.7	11.7	37	83.6	248.8	2.2
<i>Macrobrachium nipponense</i>	87.1	177.3	217.7	240.6	228.8	2
<i>Scylla paramamosain</i>	0.0	97.5	112.4	135.1	159.4	1.4
Subtotal de especies mayores	1,226.50	3,319.00	4,943.30	6,671.00	10,705.3	95.30
Subtotal de otras especies	467.0	462.1	538.5	447.9	531.8	4.7
Total	1693.4	3781	5,481.80	7,118.90	11,237.00	100.00

A pesar de la tendencia global hacia la intensificación de la acuicultura de camarones, especialmente evidente en países asiáticos, la adquisición de conocimientos y tecnología para que algunos productores transiten hacia sistemas intensivos sigue siendo un desafío (Nguyen *et al.*, 2019). Este desafío es más pronunciado en naciones en desarrollo como México, donde las inversiones necesarias para la transición a sistemas intensivos son significativamente elevadas (Emerenciano *et al.*, 2022). La brecha entre las tendencias globales y las realidades económicas y tecnológicas locales subraya la importancia de abordar de manera específica los obstáculos que enfrentan los productores de camarones en su búsqueda de sistemas más intensivos. Mientras tanto, es necesario evaluar la viabilidad económica de seguir cultivando camarón bajo un esquema de manejo semi-intensivo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Acuicultura de camarón

La acuicultura de crustáceos es una de las industrias de más rápido crecimiento a nivel mundial, desempeñando un papel vital en satisfacer la creciente demanda de alimentos de origen marino. Con un registro de producción de 11, 237, 000 toneladas (peso vivo) asegura la posición como el segundo alimento marino más buscado, solo superado por los peces (FAO, 2022). Entre los crustáceos, el camarón blanco (*L. vannamei*) es la especie más cultivada, representando una producción sustancial de 5, 812 000 toneladas (peso vivo). Esta especie sola representó el 51.7% de la producción mundial de crustáceos cultivados registrada en 2020 (FAO, 2022).

La mayoría de la producción de camarones (excluyendo a China, que adopta principalmente un sistema de producción intensiva) utiliza el sistema de producción semi-intensivo. Sin embargo, debido a la creciente demanda de alimentos, existe una tendencia notable hacia la intensificación de los sistemas de producción (Liu *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020; FAO, 2022). En las últimas décadas, la investigación extensiva en acuicultura de camarones se ha centrado en factores técnicos y biológicos para mejorar el rendimiento basado en la tasa de crecimiento y la supervivencia de esta especie. Estos esfuerzos de investigación también se han dirigido hacia la cría selectiva, la calidad y composición de ácidos grasos y niveles de proteínas en las dietas, el control de los parámetros fisicoquímicos del agua, los probióticos y la tecnología de biofloc (Argue *et al.*, 2002; Das *et al.*, 2022).

2.2 Bioeconomía aplicada al cultivo de camarón

2.2.1 Conceptos básicos de bioeconomía

El concepto de bioeconomía encapsula un marco económico dinámico caracterizado por la intrínca interacción entre las crecientes necesidades de la humanidad y la riqueza sostenible ofrecida por los abundantes recursos naturales (Lewandowski, 2018). Específicamente, se define una economía donde los componentes fundamentales para la generación de materiales, productos químicos y energía se obtienen a partir de recursos biológicos renovables, promoviendo el equilibrio ecológico y la resiliencia (McCormick y Kautto 2013).

Dado que los sistemas de producción animal dependen de organismos vivos adquiridos durante sus primeras etapas de desarrollo, comprender las dinámicas biológicas y económicas del sistema asume una importancia primordial (Scanes, 2018). Esta comprensión se convierte en una ventaja fundamental para la toma de decisiones informada en la gestión de empresas acuícolas. Por lo tanto, el marco conceptual de la bioeconomía extiende sus implicaciones a los componentes fundamentales del discurso económico dentro de la gestión empresarial, abarcando costos, ingresos y beneficios (Yuan *et al.*, 2017). Además, este marco se integra perfectamente con los elementos cruciales de las consideraciones biológicas en la gestión empresarial, especialmente el crecimiento, la supervivencia y la biomasa (Rahman *et al.*, 2006).

2.2.1.1 Ingresos

Los ingresos se pueden definir como los fondos monetarios derivados de los rendimientos comercializados del sistema de producción (Solis *et al.*, 2021). Dentro de la acuicultura, comúnmente corresponde a los organismos cosechados de entornos acuáticos (biomasa total), abarcando diversas especies como peces, crustáceos, moluscos y otras entidades ecológicamente importantes. La cuantificación de los ingresos es una métrica crucial para evaluar la dinámica financiera de los sistemas bioeconómicos, destacando los resultados tangibles de las estrategias de utilización sostenible de recursos (Kim *et al.*, 2020; Solis *et al.*, 2021).

2.2.1.2 Costos

En términos de gestión empresarial, los costos representan los desembolsos financieros necesarios para adquirir, obtener o mantener activos y actividades fundamentales para la progresión armoniosa de las operaciones (Jung *et al.*, 2020; Banu *et al.*, 2021). En el contexto de un ecosistema empresarial próspero basado en los principios de la bioeconomía, los costos se perciben como desembolsos juiciosos de recursos financieros destinados a sostener el ciclo de vida dinámico de la producción (Solis *et al.*, 2021; Jung *et al.*, 2020).

2.2.1.3 Utilidades

Las utilidades (también denominadas ingresos netos) son el excedente financiero obtenido al restar los costos totales de los ingresos totales, sirviendo como un indicador de medición de la ganancia económica dentro del marco de operaciones bioeconómicas. En su forma simplista y armoniosa, se expresa matemáticamente como: $Utilidades = \sum Ingresos_t - \sum Costos_t$; donde los ingresos netos obtenidos en el tiempo t se determinará por todo el dinero ganado menos todo el dinero gastado en ese momento (Solis *et al.*, 2011). Este diferencial cuantitativo encapsula no solo la viabilidad económica de los esfuerzos productivos, sino que también se erige como centinela de la eficacia productiva, reflejando la armonía entre la generación de ingresos y la gestión astuta de recursos dentro de la gestión empresarial y el marco teórico de la bioeconomía.

2.2.1.4 Crecimiento

El crecimiento es un fenómeno biológico fundamental caracterizado por la generación dinámica y la meticulosa reorganización de tejidos dentro de un organismo vivo, logrado a través de procesos intrincados de división celular y posterior diferenciación celular (Streuli, 1999; Karaiskos *et al.*, 2017). Esta progresión intrincada ocurre a lo largo de distintas etapas de desarrollo, principalmente por instrucciones genéticas y estímulos ambientales (Streuli, 1999; Karaiskos *et al.*, 2017). En la acuicultura, el crecimiento asume un papel esencial como indicador que denota el logro de una etapa comercialmente viable por parte de un organismo (Besson *et al.*, 2014). En otras palabras, el crecimiento indica si el organismo ha alcanzado la configuración óptima de longitud, forma y/o peso adecuado para el comercio, a menudo denominada como 'talla comercial'.

2.2.1.5 Supervivencia

En el contexto temporal de una población inicial, ya sea dentro de un ecosistema natural o artificial, la supervivencia encarna una variable biológica importante: ya que cuantifica el número de organismos que perduran desde un punto temporal inicial 'a' hasta un punto subsiguiente 'b', yuxtapuesto con el recuento original de la población en el tiempo 'a' (Civil *et al.*, 2019). En la gestión empresarial acuícola, esta métrica asume un impacto elevado al proporcionar una medida tangible de la continuidad del bienestar experimentado por los organismos cultivados a lo largo de su trayectoria de desarrollo. Por lo tanto, la supervivencia refleja diligentemente el grado de

eficacia en los protocolos de gestión y cuidado utilizados en el proceso de cultivo (Mengistu *et al.*, 2020).

2.2.1.6 Biomasa

La biomasa, un concepto fundamental en la evaluación del rendimiento acuícola, encapsula la masa acumulativa abarcada por la totalidad de los organismos, que en la práctica (dentro del contexto de la acuicultura), este parámetro asume una forma tangible al calcular el producto del peso promedio que caracteriza a los organismos cultivados y la población existente que habita la etapa de cultivo específica (Shinji *et al.*, 2019). Matemáticamente, se puede expresar como: $bt = wt * nt$; donde wt es el producto del peso promedio individual en el tiempo t , mientras que nt es el número de organismos sobrevivientes en ese momento (Moreno-Figueroa *et al.*, 2019). En esencia, la biomasa refleja una interacción dinámica de crecimiento y supervivencia intrínseca al ecosistema gestionado.

2.2.2 Econometría aplicada al cultivo de camarón

Los sistemas de modelado y econometría en acuicultura son de vital importancia para comprender la naturaleza del propio sistema. Por ejemplo, Ruiz-Velazco *et al.* (2010) utilizaron un modelo biológico dinámico para predecir la biomasa del camarón *L. vannamei* cuando se ve afectado por la enfermedad de la mancha blanca. En su estudio se usó una base de datos preparada a partir de registros de granjas comerciales intensivas en México para estimar los parámetros del modelo para los ciclos de producción de verano e invierno. Los parámetros se analizaron en relación con la densidad de siembra, el tamaño del estanque y los valores medios de las variables de calidad del agua medidas durante los ciclos. Los resultados significativos del análisis de correlación indicaron que el peso final del camarón estaba positivamente correlacionado con la temperatura media del agua del estanque y el oxígeno disuelto, pero inversamente correlacionado con la salinidad. Cuando la temperatura y el oxígeno aumentaban o la salinidad disminuía, la mortalidad por la enfermedad disminuía. La mortalidad temprana ocurrió cuando la temperatura del agua aumentó, el oxígeno disminuyó o se utilizaron estanques grandes. La densidad de siembra no afectó los parámetros de producción. La regresión lineal simple mostró que las diferencias en la gestión de la aireación afectaban los niveles de oxígeno. La concentración de oxígeno y la aireación fueron

factores importantes que determinaron la magnitud de la mortalidad por enfermedad y el momento en que ocurrió. La disminución de la mortalidad ocurrió más tarde en el período de cultivo con una mayor aireación o un inicio temprano de la aireación. En este estudio, el submodelo biológico para el crecimiento se perfeccionó a partir de un modelo anterior, transformándose posteriormente en un modelo de crecimiento de camarón blanco preciso:

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) * \left[\frac{1 - k^t}{1 - k^u} \right]^3 \quad (1)$$

Por otro lado, en un estudio más reciente, Moreno-Figueroa et al. (2018) emplearon un enfoque bioeconómico para analizar la producción y el desempeño económico de *L. vannamei* cultivado en un sistema intensivo foto-heterotrófico e hipersalino con un mínimo reemplazo de agua durante los ciclos de producción de primavera-verano y verano-otoño en la región semiárida de Baja California Sur, México. La salinidad se mantuvo en 45 ± 2.0 (primavera-verano) y 46 ± 2.5 gL⁻¹ (verano-otoño), el oxígeno disuelto en 4.8 ± 0.5 (primavera-verano) y 4.4 ± 0.4 mg L⁻¹ (verano-otoño), el pH en 7.9 ± 0.3 (primavera-verano) y 7.8 ± 0.2 (verano-otoño), y la temperatura en 28.4 ± 2.4 (primavera-verano) y 31.6 ± 0.7 °C (verano-otoño).

El análisis bioeconómico indicó que la producción media en primavera-verano es de 13.2 t ha⁻¹, y que se podrían obtener ingresos netos medios de 12,600 \$USD ha⁻¹ y una relación beneficio-costo de 1.31. Para verano-otoño, la producción media fue de 17.7 t ha⁻¹, y los ingresos netos medios y la relación beneficio-costo fueron de 38,930 \$USD ha⁻¹ y 1.93, respectivamente. Los tiempos óptimos de cosecha fueron a los 90 (primavera-verano) y 92 días (verano-otoño) cuando los indicadores económicos y la confianza de obtenerlos se maximizaban. El mejor desempeño económico de verano-otoño fue consecuencia del crecimiento más rápido del camarón y los precios más altos del camarón. Las condiciones más estables de calidad del agua resultaron en una mejor producción en verano-otoño. Un análisis de sensibilidad mostró que el precio del camarón fue el factor más importante que influyó en los ingresos netos, y que el peso final del camarón, el oxígeno disuelto y la temperatura tuvieron una influencia intermedia. Los resultados económicos positivos indican el potencial de la tecnología foto-heterotrófica para la producción de camarón en regiones semiáridas.

Estos antecedentes demuestran que la aplicación de enfoques bioeconómicos y modelos específicos en la acuicultura del camarón (*Litopenaeus vannamei*) proporciona una valiosa comprensión de la relación entre aspectos biológicos y económicos en la producción de camarón. Sin embargo, los antecedentes también demuestran que es importante considerar tanto las ventajas como las limitaciones del análisis bioeconómico en la acuicultura de camarón. Entre las ventajas identificadas se encuentran la capacidad para evaluar la rentabilidad de las prácticas de cultivo en función de variables biológicas y económicas, así como la capacidad para detectar áreas de mejora y optimización en la gestión del cultivo. Por otro lado, algunas limitaciones del análisis bioeconómico que se identifican en los antecedentes incluyen la dependencia de datos precisos y actualizados, así como la necesidad de considerar la incertidumbre inherente a factores biológicos y económicos. Además, la aplicación práctica de modelos bioeconómicos puede ser compleja y requerir experiencia técnica y recursos significativos.

3. JUSTIFICACIÓN

La acuicultura de camarón es un arte de difícil manejo la cual requiere de cuantiosa experiencia y conocimiento del arte para poder llevarse a cabo de manera exitosa. La bioeconomía evalúa la aplicación de principios y prácticas económicas sostenibles en el contexto de la acuicultura, desde un punto de vista de uso y manejo de recursos y capital; como también, el nivel de rentabilidad de un negocio acuícola mediante el uso de herramientas econométricas. Pocos estudios económicos se han hecho en cultivos de camarón de corta duración para evaluar la viabilidad económica de cultivar y cosechar camarón en periodos de corta duración. Un análisis bioeconómico que incluya análisis de riesgo proporcionará un panorama objetivo de la viabilidad económica y tecnológica del sistema con la que opera la granja evaluada en este trabajo.

4. HIPÓTESIS

Se postula que al acortar el periodo de cultivo del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), se disminuye la probabilidad de ocurrencia de tasas de mortalidad elevadas, lo que sugiere que un cultivo de corta duración podría exhibir rendimientos productivos con un alto beneficio económico. Además, se espera que un manejo óptimo (de existir) y la consideración de factores de producción adecuados (de existir) contribuyan a un pronóstico positivo en el análisis de riesgo, indicando la viabilidad y la posibilidad de replicación del sistema en futuras instancias de cultivo.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar el rendimiento económico y el nivel de riesgo asociado con la cosecha de camarón blanco (*L. vannamei*) en cultivo de corta duración en un sistema semi-intensivo de producción.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar los parámetros del desempeño productivo del sistema semi-intensivo de producción de *L. vannamei*.
- Estimar el nivel de probabilidad alcanzar los puntos de referencia límite y objetivo.
- Obtener la relación beneficio-costos del cultivo de *L. vannamei*.
- Evaluar el nivel de riesgo asociado al cultivo de *L. vannamei* en el sistema semi-intensivo de producción.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Datos de producción y manejo del cultivo

Los datos utilizados en esta investigación fueron obtenidos a partir de los resultados de producción de una granja comercial de camarones semi-intensiva ubicada en Guasave, Sinaloa, México, durante el año 2021. La estructura del sistema de producción consistió en 10 estanques rústicos de tierra, cada uno con un área promedio de 4.6 ha. Los organismos de postlarvas (PL) fueron obtenidos de dos laboratorios de maternidad diferentes y se sembraron a una densidad de 10 PL/m², con una biomasa inicial de 42,822 g. El procedimiento de muestreo para estimar el peso promedio de los organismos cultivados implicó el uso de una red de arrastre y una balanza digital de precisión. El período de cosecha tuvo una duración de 9 semanas, comenzando el 24 de julio y finalizando el 1 de octubre. Según los datos operativos proporcionados por el agricultor, se administraron probióticos semanalmente (una vez a la semana) a los sistemas a una tasa de 50 L/ha, utilizando la marca Gran Mar cuya composición está clasificada por los fabricantes. No se utilizaron estanques de control para este ciclo operativo (estanques sin el uso de probióticos). Los costos, así como los ingresos, fueron contabilizados meticulosamente en su totalidad al final del ciclo. Para crear y calibrar el submodelo biológico, se muestran las variables utilizadas en este estudio en la Tabla 2.

El peso de los camarones de cada tratamiento se obtuvo pesando individualmente una muestra aleatoria de 30 camarones, utilizando una balanza analítica OHAUS con una precisión de 0.01 g. El crecimiento de los camarones se calculó mediante la expresión $TC = (P_f - P_i/P_i) * 100$, donde P_f es el peso al final del período y P_i es el peso al inicio de la evaluación (Casillas-Hernández *et al.*, 2006). La producción de biomasa de camarones en cada tratamiento se calculó al final del experimento en gramos/estanque. El factor de conversión alimentaria se calculó utilizando la fórmula $FCA = FIDM/W_{tw}$; donde $FIDM$ es la entrada de alimento en peso seco (g) y W_{tw} es el peso ganado como biomasa de camarones (g). El porcentaje de supervivencia se calculó directamente considerando el número final de organismos cosechados en cada estanque.

Tabla 2. Variables utilizadas para calibración del submodelo biológico.

Variable	Valor (Unidad)	Fuente
Peso inicial	0.0093 ± 0.001 g	Este estudio
Peso final	8.09 ± 1.25 g	Este estudio
Duración del cultivo	9 semanas	Este estudio
Población inicial total	4,758,000 postlarvas	Este estudio
Población inicial/estanque	460,800 ± 61,450.61 postlarvas	Este estudio
Población final total	3,092,700 postlarvas	Este estudio
Población final/estanque	316,541 ± 31,201 postlarvas	Este estudio
Supervivencia final relativa/estanque	69.2 ± 7 %	Este estudio
Supervivencia total relativa (%)	65 %	Este estudio
Tasa de crecimiento como punto de referencia límite (parámetro k)	0.79 g/semana	Este estudio
Tasa de crecimiento como punto de referencia objetivo (parámetro k)	1.52 g/semana	Morris <i>et al.</i> (2011)
Tasa de mortalidad como punto de referencia limite (parámetro m)	4.79 %/semana	Este estudio
Tasa de mortalidad como punto de referencia objetivo (parámetro m)	0.96 %/semana	George <i>et al.</i> (2016)
Biomasa total inicial	42.82 kg	Este estudio
Biomasa total final	25,019.94 kg	Este estudio

6.2 Modelo estocástico

El modelo biológico para la biomasa de camarones se estructuró utilizando datos de producción obtenidos de la operación de la granja en 2021 y las ecuaciones propuestas recientemente por Moreno-Figueroa *et al.* (2018), desarrolladas por Ruiz-Velazco *et al.* (2010). La ecuación utilizada para predecir el crecimiento de los camarones fue:

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) * \left[\frac{1-k^t}{1-k^u} \right]^3 \quad (1)$$

donde w_t es el peso individual medio predicho después de t unidades de tiempo, w_i es el peso inicial, k es un coeficiente de crecimiento, y u es el número de unidades de tiempo en el momento de la cosecha. La supervivencia se calculó como una función del tiempo utilizando la ecuación exponencial:

$$n_t = n_0 \exp^{-mt} \quad (2)$$

donde n_t es el número de sobrevivientes, n_0 es la población inicial, t es el tiempo, y m es la tasa instantánea de mortalidad, que se estimó como:

$$z = \ln(n_f/n_0) * t_f \quad (3)$$

donde n_f es la población final sobreviviente en el momento de la cosecha (t_f). La biomasa se calcula como:

$$B_t = n_f * w_t \quad (4)$$

6.2.1 Relación Beneficio-costo

Los ingresos netos (N_r , net revenue por sus siglas en inglés) y la relación beneficio-costo (b_t/c_t) se utilizaron como indicadores económicos para el final del ciclo de cultivo y se estimaron como:

$$N_r = i_t - c_t \quad (5)$$

$$b_t/c_t = i_t/c_t \quad (6)$$

donde: i_t es el ingreso total, es decir, la biomasa de camarones en el tiempo t multiplicada por el precio de venta de camarones en el tiempo t , y c_t es el costo operativo acumulado en el tiempo t . Para ello, los costos se obtuvieron directamente de los archivos históricos de la granja y se describen a continuación:

Costos fijos

- Mano de obra, mano de obra indirecta, supervisión, renta, entre otros: \$63,236.61 USD
- Gastos administrativos de la granja: \$56,062.45 USD

Costos variables

- Costos operativos

1. Larva e insumos asociados: \$41,582.96 USD
 2. Alimento para camarón: \$34,284.18 USD
 3. Fertilizantes: \$1,220.35 USD
 4. Probióticos: \$80.49
 5. Bactericidas: \$228.10 USD
 6. Otros gastos: \$70.11 USD
- Costos de mantenimiento de la granja
 1. Motores de bomba: \$1,331.74 USD
 2. General: \$10,385.96 USD
 3. Tractores: \$7,908.70 USD
 4. Motores de panga: \$337.54 USD
 5. Vehículos: \$3,363.29 USD
 6. Equipos e instrumentos: \$824.39 USD
 7. Camiones: \$779.66 USD
 8. Gasolina (vehículos): \$9,883.93 USD
 - Gastos diversos
 1. Gastos en general: \$238.57 USD
 2. Casa Guasave: \$1363.27 USD
 3. Diesel: \$52650.39 USD

6.3 Análisis estocástico

6.3.1 Análisis de sensibilidad

Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de manera sistemática para discernir los parámetros que exhiben la mayor variación. Este proceso analítico se facilitó mediante la utilización del software Crystal Ball, permitiendo un examen exhaustivo de la sensibilidad de los parámetros clave dentro del modelo definido. El objetivo fue identificar y cuantificar la influencia de los parámetros individuales en los resultados generales, elucidando así la importancia relativa de cada variable en el sistema estudiado.

6.3.2 Análisis de Monte Carlos

Dada la breve duración del cultivo acuícola de camarón, se tomó la decisión de centrarse exclusivamente en la obtención del retorno neto (utilidades) como indicador principal de rendimiento económico. Esto se debió a que el Valor Presente Neto (VPN) no diferiría considerablemente de las utilidades en este contexto específico. Además, se optó por no incluir un análisis de riesgo en relación con los ingresos netos, ya que el enfoque principal del estudio era evaluar la viabilidad del cultivo de corta duración desde una perspectiva de eficiencia productiva.

Por lo tanto, en este estudio se implementó un análisis estocástico para calcular la probabilidad (riesgo) de superar los PRL y PRO (Seijo, 2004) de las variables de estado, alimentación, supervivencia y biomasa en el ámbito de este estudio. Debido al rendimiento subóptimo observado en el ciclo de cultivo de la granja, se asignaron puntos de referencia límite (escenarios indeseables) a los valores observados para la supervivencia y la biomasa obtenidos en este estudio, mientras que el crecimiento esperado en la última semana (novena semana), extraído del modelo biológico, se utilizó como PRL. Los PRO para el crecimiento, la supervivencia y la biomasa se formularon utilizando parámetros óptimos obtenidos de la literatura (Tabla 2). Para ello, se consideraron diferentes fuentes de incertidumbre (parámetros) y se observó su impacto en las variables de estado dados los PRL y PRO definidos. Se asumió que los parámetros k y n_0 y n_t tenían una distribución triangular. Los parámetros calculados en este estudio se designaron como los más probables (promedio), mientras que los valores mínimo y máximo se determinaron aplicando una variación de $\pm 10\%$ del promedio calculado, permitiendo cambios simultáneos en el análisis de Montecarlo. El número de ejecuciones de simulación fue de 10,000, procesadas a través del software Crystal Ball. El porcentaje de riesgo aceptable para alcanzar los PRL en este estudio fue inferior al 10%.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis descriptivo de rendimiento productivo

El peso promedio final para la cosecha de 9 semanas fue de 8.09 g. La tasa de crecimiento de los camarones se registró como 0.79 ± 0.56 g/semana, mostrando un patrón sigmoide (Fig. 1).

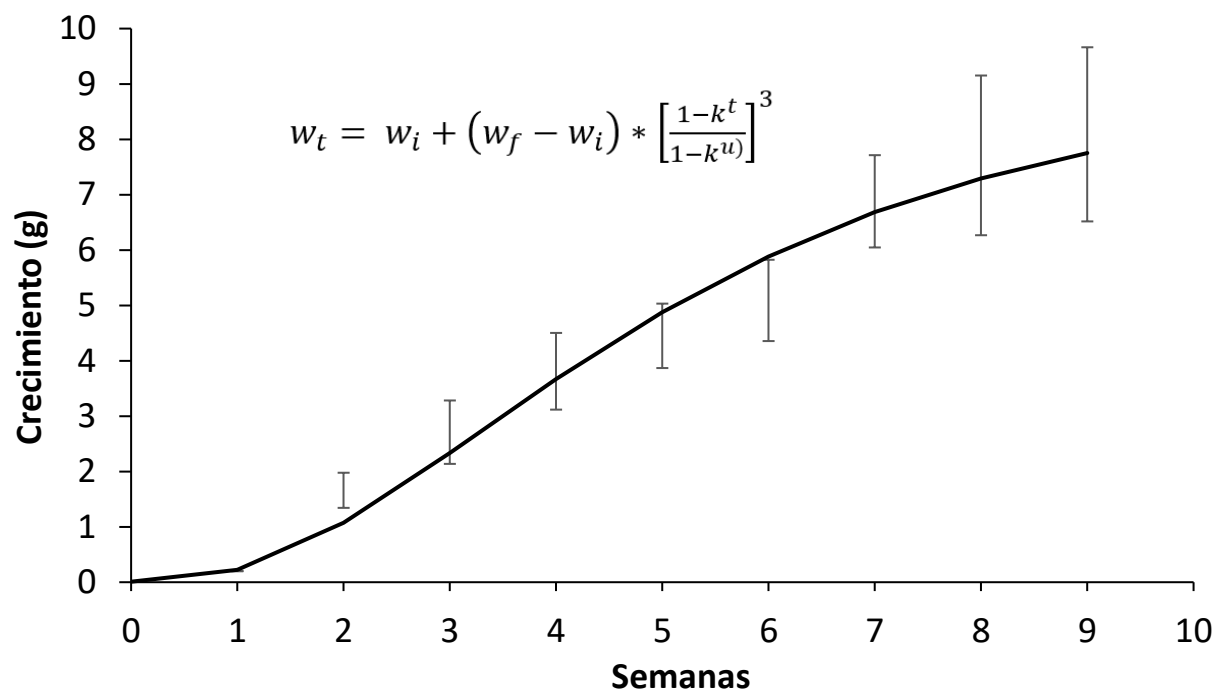


Figura 1. Dinámica de crecimiento semanal de los camarones (g/semana) durante un cultivo a corto plazo en una granja comercial ubicada en la región noroeste de México. Las barras de error representan la desviación estándar del crecimiento observado, mientras que la línea continua representa el submodelo de crecimiento.

La supervivencia relativa final observada (65 %) se desvió del patrón anticipado para una cosecha de solo nueve semanas (≥ 80 %). Notablemente, las tasas de mortalidad fueron elevadas, indicando una disminución de la población del 3.88 ± 3.25 % por semana. Esta tendencia persistió, con estabilidad en las tasas de mortalidad observada durante las dos últimas semanas del período de cultivo (Fig. 2).

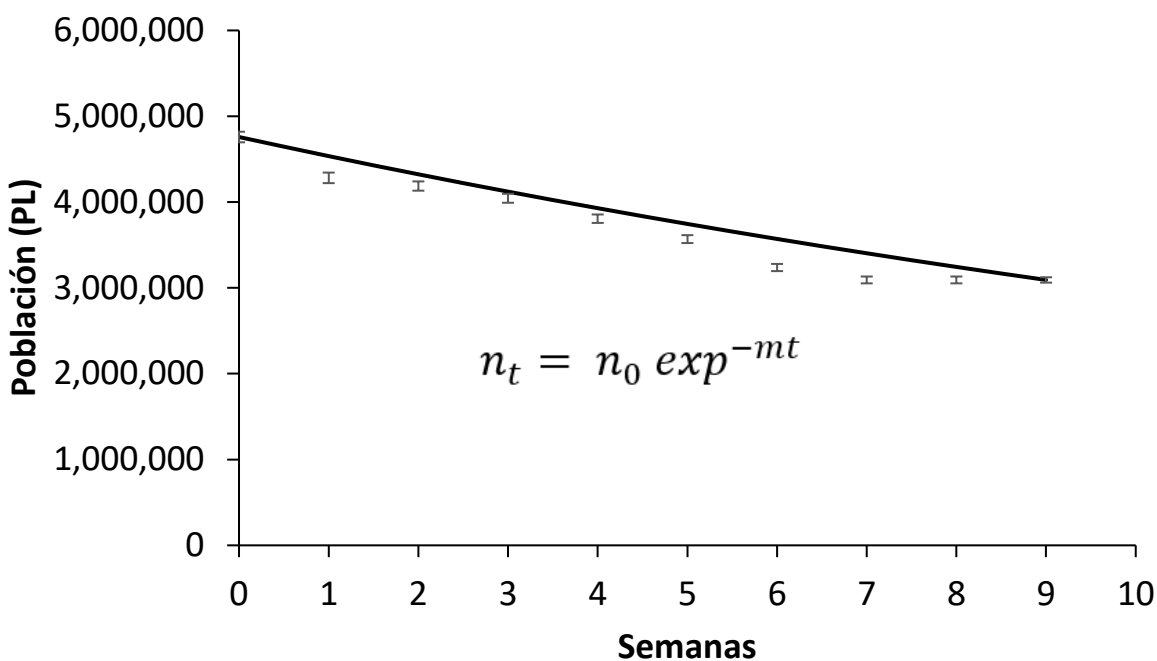


Figura 2. Representación integral de la supervivencia de los camarones durante todo el ciclo de cultivo a corto plazo de una granja comercial ubicada en la región noroeste de México. Las barras de error representan la desviación estándar de la población total observada de postlarvas de camarones por semana. La línea continua muestra los valores calculados por el submodelo de supervivencia.

La biomasa acumulada para el ciclo de cultivo alcanzó los 25,020 kg. El aumento semanal de biomasa exhibió un valor de $2,775.24 \pm 1948.25$ kg, con una notable desaceleración observada durante las semanas 5 y 6, seguida de una posterior restauración de la estabilidad en la semana 7 (Fig. 3).

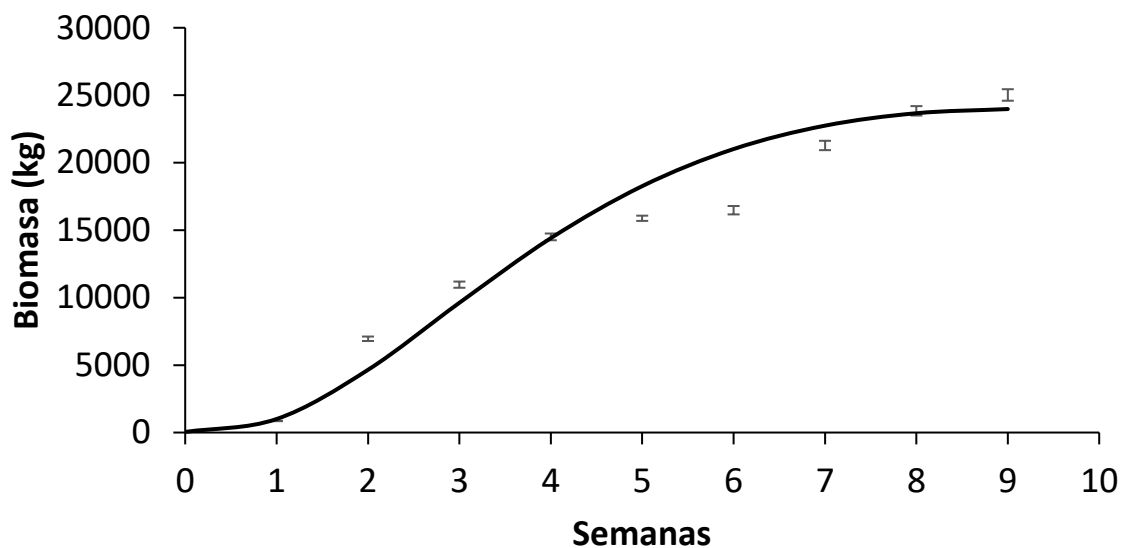


Figura 3. Este gráfico muestra la dinámica semanal de la biomasa de camarones durante un cultivo a corto plazo de una granja comercial ubicada en la región noroeste de México. Las barras de error representan la desviación estándar de la biomasa total observada por semana, mientras que la línea continua muestra los valores calculados por el submodelo de biomasa. Tanto la utilidad neta como la relación beneficio-costó fueron positivas, con valores de 145,213.46 USD y 2.07, respectivamente.

7.2 Análisis estocástico

7.2.1 Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad revelaron que los parámetros k (tasa de crecimiento) y n_0 (población inicial), relacionados con los modelos de crecimiento y supervivencia, mostraron los mayores grados de variación y sensibilidad (Fig. 4 y Fig. 5). En consecuencia, estos parámetros fueron identificados como factores críticos y se establecieron como supuestos para el análisis de Montecarlo, donde se empleó una distribución triangular.

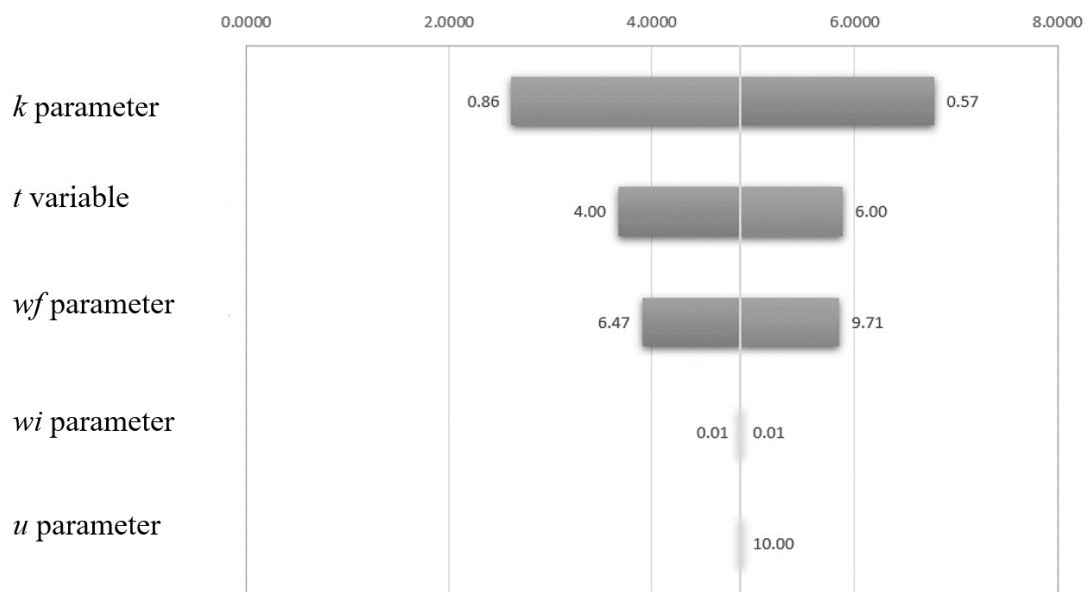


Figura 4. Análisis de sensibilidad de los parámetros de la ecuación de crecimiento.

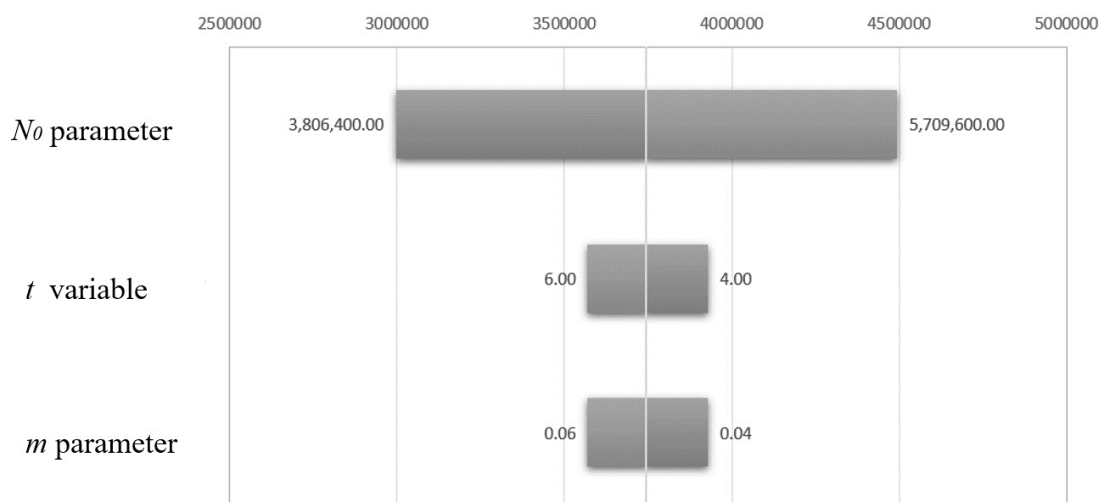


Figura 5. Análisis de sensibilidad de los parámetros de la ecuación de supervivencia.

7.2.2 Análisis de Monte Carlo

La probabilidad de superar los PRL para el crecimiento (7.75 g), supervivencia (3,092,700 PL) y biomasa (25,019.94 kg) fue alta, considerando que el riesgo aceptable en el presente estudio fue

del 10%. Mientras que la probabilidad de superar los PRO para el crecimiento (15.5 g), supervivencia (4,364,167 PL) y biomasa (67,644.6 kg) fue del 0% (Tabla 3).

Tabla 3. Probabilidad de alcanzar-superar PRL y PRO para crecimiento, supervivencia y biomasa. La incertidumbre se incorporó en los parámetros, k , n_0 y n_t . Las probabilidades expresadas en porcentaje se calcularon a lo largo de 10,000 simulaciones.

Variable	PRL (%)	PRO (%)
Crecimiento	48.69	0.0
Sobrevivencia	49.87	0.0
Biomasa	84.0	0.0

En general, estas altas probabilidades (49%, 50% y 84% para crecimiento, supervivencia y biomasa, respectivamente) de superar los PRL son eventos ciertamente indeseables para el cultivo de larvas de camarones. Las Figs. 6, 7 y 8 representan las altas probabilidades de alcanzar tasas de crecimiento bajas, tasas de supervivencia bajas y, en consecuencia, altas probabilidades de lograr niveles bajos de biomasa.

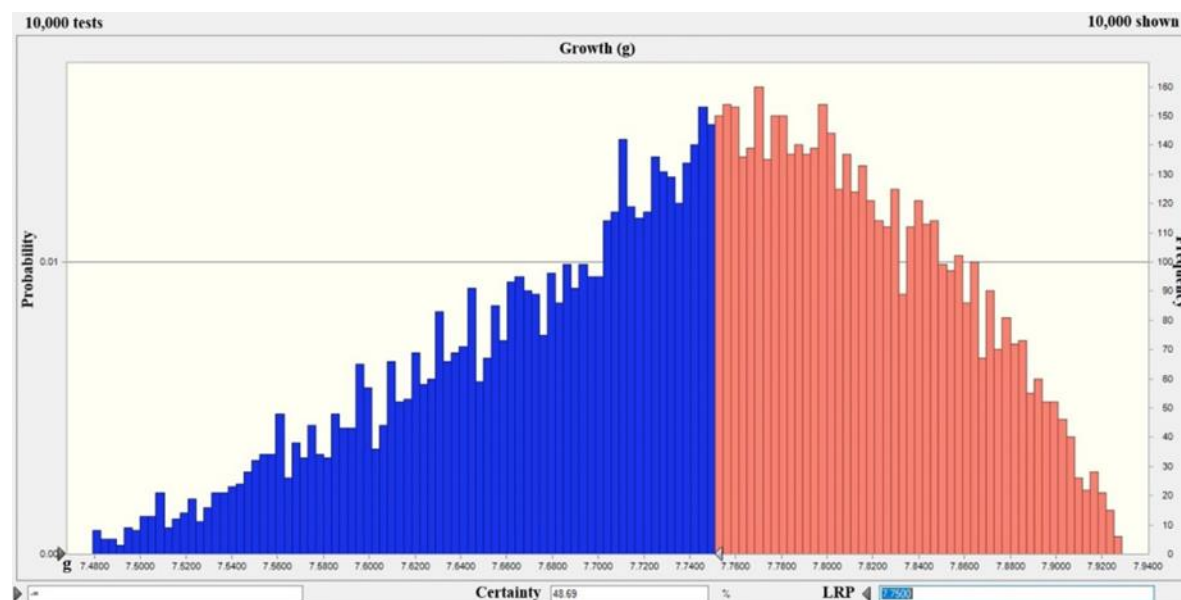


Figura 6. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para crecimiento.

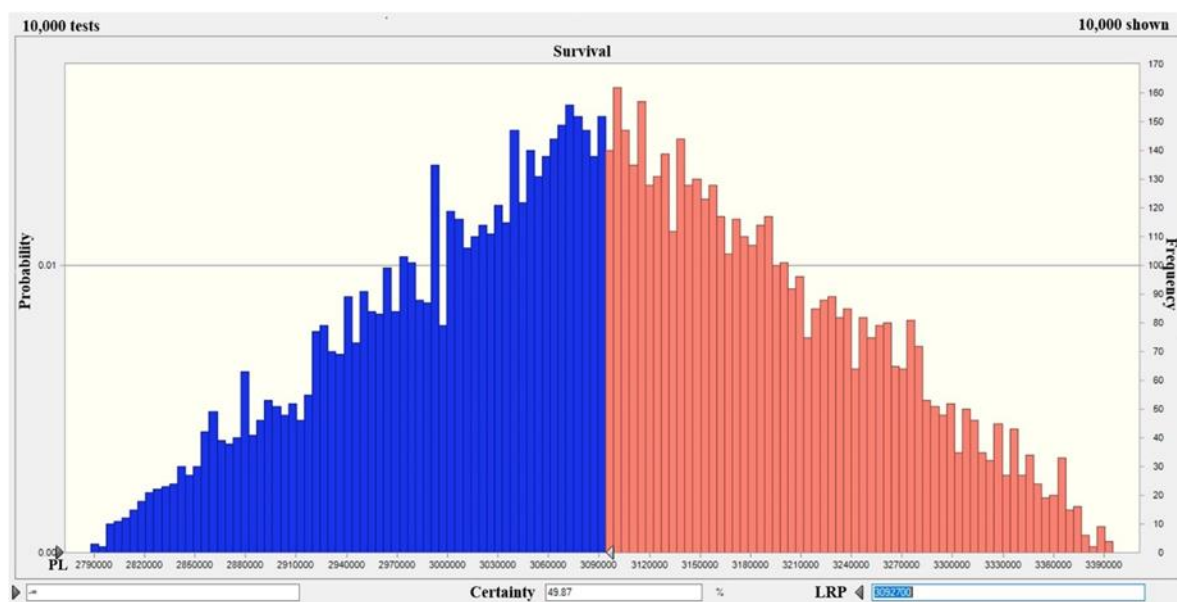


Figura 7. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para sobrevivencia.

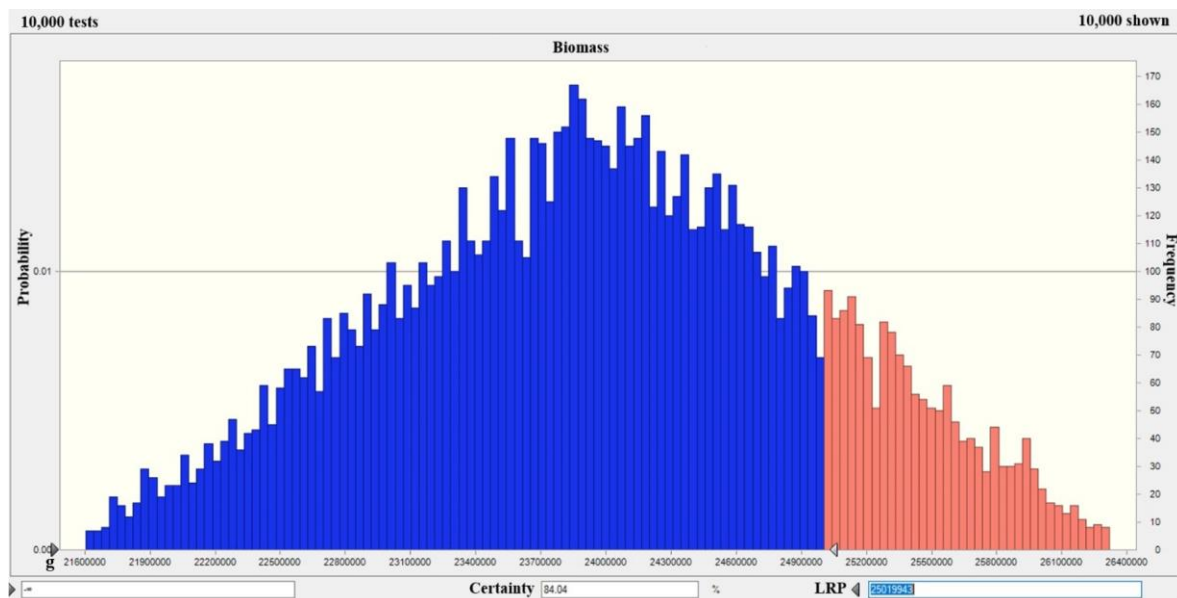


Figura 8. Análisis de Montecarlo mostrando la probabilidad (riesgo en porcentaje) de exceder el PRL para biomasa.

8. DISCUSIÓN

En la acuicultura de Peneidos, el crecimiento es una variable cuantitativa que refleja el nivel de eficiencia en el manejo y la alimentación de cualquier especie cultivada, incluyendo *L. vannamei* (Chang *et al.*, 2020). El peso promedio final alcanzado para el período de cosecha de 9 semanas en este estudio fue de 8 g, mostrando una tasa de crecimiento de 0.79 ± 0.56 g/semana con un comportamiento sigmoide. Esta tasa de crecimiento probablemente se encuentra dentro de los estándares de cultivo semi-intensivo (1.07 g/semana) (Casillas-Hernández *et al.*, 2006); siendo menor que a la que se obtendría en un sistema de engorda intensivo rico en biofloc (2.1 g/semana) (Emerenciano *et al.*, 2022). Este rendimiento fisiológico podría atribuirse ya sea a la calidad del alimento (falta de nutrientes y/o composición desequilibrada de proteínas/lípidos), tratamiento del agua o a una combinación de varios factores (Iber y Kasan 2021; Ren *et al.*, 2020).

La supervivencia es un aspecto crítico y el más desafiante de controlar en la acuicultura semi-intensiva de camarones. En las costas de Sinaloa, se tiene como registro que la supervivencia relativa promedio para el camarón blanco cultivado es del 65% para un período de cultivo prolongado (17-26 semanas) (N = 426 granjas comerciales), mientras que en las granjas mexicanas ubicadas en la región noroeste debería estar alrededor del 60-75% (N = 776 granjas comerciales) (Ponce-Palafox *et al.*, 2011). Estos valores son similares a los obtenidos en este estudio. Sin embargo, cabe destacar que la supervivencia relativa observada del 65% durante un período de cultivo más corto (9 semanas) podría sugerir un rendimiento subóptimo del sistema de cultivo. Típicamente, en cultivos a más largo plazo, se esperaría una disminución en la tasa de supervivencia final por debajo del 65% (Atmomarsono y Nurbaya, 2014). Factores que impactan directamente en la supervivencia de los camarones incluyen parámetros de calidad del agua, medidas de bioseguridad y problemas nutricionales/alimenticios (Kumar y Engle, 2016), lo que podría estar relacionado con nuestros resultados y representar un desafío económico. En consecuencia, existe la oportunidad de mejorar los ingresos netos al mejorar la tasa de supervivencia. En el contexto de la cosecha a corto plazo examinada en este estudio, se obtuvo una utilidad neta positiva, alcanzando los \$145,213.46 USD, acompañada de una relación beneficio-coste de 2.07.

Lo anterior demostró resultados económicos positivos, especialmente al considerar operaciones de acuicultura a pequeña escala. Contrastando esto con hallazgos de estudios similares, se ha

encontrado una relación beneficio-costo de 1.7 para la acuicultura de camarones a pequeña escala en el distrito de Khulna, Bangladesh (Shawon *et al.*, 2018). Además, un estudio más extenso sobre la acuicultura intensiva a largo plazo demostró relaciones beneficio-costo variables de 1.3 y 1.9, según la temporada (Moreno-Figueroa *et al.*, 2018)."

Sin embargo, el análisis de riesgo reveló un pronóstico preocupante, indicando un alto nivel de certeza en superar los puntos de referencia límite. Según lo propuesto por Seijo (2004), los puntos de referencia límite representan escenarios indeseables, situaciones en las que no se aconseja llegar. La proyección constante de superar estos límites, abarcando el crecimiento, la supervivencia y la subsecuente biomasa, sugiere una falta de confiabilidad en el sistema. Tal certeza en alcanzar o superar los puntos de referencia límite significa un rendimiento potencialmente subóptimo, advirtiendo contra la replicación del proceso con los mismos factores de producción. Esto se alinea con la afirmación de Seijo de que superar a estos límites refleja un rendimiento pobre de producción, remarcando la importancia de refinar la estrategia de producción para garantizar resultados más estables y deseables en futuros ciclos de cosecha.

Este estudio destaca la necesidad imperativa de mejorar la supervivencia en los sistemas de acuicultura de camarones semi-intensivos. Deben considerarse factores críticos que afectan la supervivencia, como el mantenimiento de los parámetros fisicoquímicos del agua durante las operaciones de acuicultura, la alimentación equilibrada, ya que representa más de la mitad de los costos operativos (Viacava, 1995), las prácticas de alimentación, ya que el comportamiento alimentario y los ciclos circadianos de las enzimas digestivas de los camarones podrían ser la base para mejorar el crecimiento y la salud, calidad de las larvas derivada del pedigree genético y la ausencia ó carga de patógenos virales y bacterianos, entre otros factores (Racotta *et al.*, 2003), y aditivos como inmunoestimulantes naturales (por ejemplo, probióticos, suplementos de plantas medicinales como sustitutos de antibióticos), ya que fortalecen el sistema inmunológico y aumentan la resistencia a enfermedades (Carvalho and Nunes, 2006; Nunes *et al.*, 2019; Ullman *et al.*, 2019; Casillas-Hernández *et al.*, 2006b; Reis *et al.*, 2021; Bórquez-López *et al.*, 2018; Roy *et al.*, 2009). Estas consideraciones son esenciales para el éxito en la altamente competitiva industria de la acuicultura de camarones.

9. CONCLUSIONES

El análisis económico de la cosecha a corto plazo de *L. vannamei* en un sistema de engorda semi-intensivo demostró una conveniente relación beneficio-costo, indicando la importancia de herramientas económicas dinámicas para determinar la rentabilidad de las granjas de camarones con sistemas semi-intensivos en el noroeste de México. Además, la acuicultura de camarones semi-intensiva en este caso de estudio destaca las posibles vías de mejora, que incluyen la implementación de estrategias para optimizar la calidad del agua, los métodos de alimentación y alimentación, y explorar enfoques innovadores (por ejemplo, inmunopotenciadores naturales) para lograr tasas de supervivencia más altas, lo que conduce a un aumento en la utilidad neta.

10.LITERATURA CITADA

- Argue, B.J., Arce, S.M., Lotz, J.M., Moss, S.M. (2002). Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura Syndrome Virus. *Aquaculture*, 204: 447-460. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00830-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00830-4).
- Atmomarsono, M., y Nurbaya, N. (2014). Alternate use of different Rica probiotic bacteria on survival rate and production of cultured tiger shrimp in semi-intensive ponds. *Indonesian Aquaculture Journal*, 9(2): 155. <https://doi.org/10.15578/iaj.9.2.2014.155-164>.
- Banu, J.R., Devi, T.P., Kannah, R. Y., Kavitha, S., Kim, S.H., Muñoz, R., Kumar, G. (2021) A review on energy and cost effective phase separated pretreatment of biosolids. *Water Research*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117169>.
- Besson, M., Komen, H., Aubin, J., de Boer I. J. M., Poelman, M., Quillet, E., Vancoillie, C., Vandeputte, M., van Arendonk, J. A. M. (2014). Economic values of growth and feed efficiency for fish farming in recirculating aquaculture system with density and nitrogen output limitations: a case study with African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Animal Science*, 92: 5394–5405. Doi: 10.2527/jas.2014-8266.
- Bórquez-López, R. A., Casillas-Hernandez, R., Lopez-Elias, J. A., Barraza-Guardado, R. H., y Martínez-Cordova, L. R. (2018). Improving feeding strategies for shrimp farming using fuzzy logic, based on water quality parameters. *Aquaculture Engineering*, 81: 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.002>.
- Carvalho, E. A., y Nunes, A. J. P. (2006). Effects of feeding frequency on feed leaching loss and grow-out patterns of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed under a diurnal feeding regime in pond enclosures. *Aquaculture*, 252(2–4): 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.07.013>.
- Casillas-Hernández, R., Magallón-Barajas, F., Portillo-Clark, G., y Páez-Osuna, F. (2006). Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture*, 258(1–4): 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.027>.
- Casillas-Hernández, R., Nolasco-Soria, H., Lares-Villa, F., García-Galano, T., Carrillo-Farnes, O., y Vega-Villasante, F. (2006). Ritmo circadiano de la actividad enzimática digestiva del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y su efecto en el horario de alimentación. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2: 53–62.
- Chang, Z. Q., Neori, A., He, Y. Y., Li, J. T., Qiao, L., Preston, S. I., Liu, P., y Li, J. (2020). Development and current state of seawater shrimp farming, with an emphasis on integrated multi-trophic pond aquaculture farms in China – a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4): 2544–2558. <https://doi.org/10.1111/raq.12457>.
- Civil, M. A., Cheney, B., Quick, N. J., Islas-Villanueva, V., Graves, J. A., Janik, V. M., Thompson, P. M., Hammond, P. S. (2019). Variations in age-and sex-specific survival rates help explain population trend in a discrete marine mammal population. *Ecology and Evolution*, 9: 533-544. <https://doi.org/10.1002/ece3.4772>.
- CONAPESCA (2021). Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura. *Anuario estadístico de pesca y acuicultura*. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf
- Cortés, A., Casillas-Hernández, R., Cambeses-Franco, C., Bórquez-López, R., Magallón-Barajas, F., Quadros-Seiffert, W., Feijoo, G., y Moreira, M. T. (2021). Eco-efficiency assessment of

- shrimp aquaculture production in Mexico. *Aquaculture*, 544(737145). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737145>.
- Das, R.R., Panigrahi, A., Sarkar, S., Saravanan, A., Biju, I.F., Ambikanandham, K., Jayanthi, M., Kannappan, S. (2022). Growth, survival, and immune potential of post larvae of Indian white shrimp, *Penaeus indicus* (H. Milne Edwards, 1937) in different salinities with biofloc system (BFT) during nursery phase. *Aquaculture International*, 31: 273–293. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00979-4>.
- Delgado-González, O. E., Jiménez. J. A., Espejel, I., Ferman-Almada, J. L., Martínez-Díaz-de-León A., Mejía-Trejo, A., Seingier, G. (2011). Aquaculture potential of mexican coasts. *Journal of Coastal Research*, 27 (6): 1137–1147. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00166.1>.
- Emerenciano, M. G. C., Rombenso, A. N., Vieira, F. d. N., Martins, M. A., Coman, G. J., Truong, H. H., Noble, T. H., y Simon, C. J. (2022). Intensification of penaeid shrimp culture: An applied review of advances in production systems, nutrition and breeding. *Animals*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/ani12030236>.
- FAO (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome.
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M.D., Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 28(1): 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>.
- George, E. G. J., Jayaraj, G. P., Balaraman, D., y Soundarapandy, A. (2016). Augmenting efficacy of the commercial probiotic consortium, Ecotrax® on soil, water quality, survival, growth and feed transformation on the semi-intensive pond culture system of the white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Advances in Applied Science Research*, 7: 32-42.
- Iber, B. T., y Kasan, N. A. (2021). Recent advances in shrimp aquaculture wastewater management. *Heliyon*, 7(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08283>.
- Joffre, O. M., Klerkx, L., y Khoa, T. N. D. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0511-9>.
- Jung, S., Lee, J., Park, Y.K., Kwon, E.E. (2020). Bioelectrochemical systems for a circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 300: 122748. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122748>.
- Karaiskos, N., Wahle, P., Alles, J., Boltengagen, A., Ayoub, S., Kipar, C., Kocks, C., Rajewsky, N., Zinzen, R. P. (2017). The Drosophila embryo at single-cell transcriptome resolution. *Science*, 358: 194-199.
- Kim, P. B., Klanian, M. G., Seijo, J. C. (2020). Effect of size heterogeneity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the optimal harvest time: a bioeconomics approach. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48: 65-73. <http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2360>.
- Kumar, G., y Engle, C. R. (2016). Technological advances that led to growth of shrimp, salmon, and tilapia farming. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 24(2): 136–152. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1112357>.
- Lewandowski, I. (2018). *Bioeconomy. Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy*. Springer.

- Liu L., Hu Z., Dai X., Avnimelech Y. (2014) Effects of Addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture*, 418-419: 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.10.005>.
- McCormick K., Kautto N. (2013). The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5(6): 2589-2608.
- Mengistu, S. B., Mulder, H. A., Benzie, J. A. H., Komen, H. (2020). A systematic literature review of the major factors causing yield gap by affecting growth, feed conversion ratio and survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Reviews in Aquaculture*, 12: 524-541. <https://doi.org/10.1111/raq.12331>.
- Moreno-Figueroa, L. D., Naranjo-Páramo, J., Hernández-Llamas, A., Vargas-Mendieta, M., Hernández-Gurrola, J. A., y Villarreal-Colmenares, H. (2018). Performance of a photo-heterotrophic, hypersaline system for intensive cultivation of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with minimal water replacement in lined ponds using a stochastic approach. *Aquaculture Research*, 49(1): 57–67. <https://doi.org/10.1111/are.13432>.
- Moreno-Figueroa, L. D., Villarreal-Colmenares, H., Naranjo-Páramo, J., Vargas-Mendieta, M., Mercier, L., Casillas-Hernández, R., y Hernández-Llamas, A. (2019). Bioeconomic modelling of the intensive production of white-leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in a photo-heterotrophic hypersaline system, with minimal seawater replacement. *Reviews in Aquaculture*, 11(3): 685–696. <https://doi.org/10.1111/raq.12252>.
- Morris, T. C., Samocha, T. M., Davis, D. A., y Fox, J. M. (2011). Cholesterol supplements for *Litopenaeus vannamei* reared on plant based diets in the presence of natural productivity. *Aquaculture*, 314(1–4): 140–144. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.052>.
- Nguyen, T. A. T., Nguyen, K. A. T., Jolly, C. (2019). Is super-intensification the solution to shrimp production and export sustainability? *Sustainability*, 11: 5277. <https://doi.org/10.3390/su11195277>.
- Nunes, A. J. P., Sabry-Neto, H., da Silva, F. H. P., de Oliveira-Neto, A. R., y Masagounder, K. (2019). Multiple feedings enhance the growth performance and feed efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei* when fed a low-fish meal amino acid-supplemented diet. *Aquaculture International*, 27(2): 337–347. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0330-7>.
- Oddsson, G.V. (2020). A definition of aquaculture intensity based on production functions—The aquaculture production intensity scale (APIS). *Water*, 12: 765. <https://doi.org/10.3390/w12030765>.
- Ponce-Palafox, J. T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M., y Arredondo-Figueroa, J. L. (2011). Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit states, at the east coast of the Gulf of California, México. *Ocean y Coastal Management*, 54(7): 507–513. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008>.
- Pradeepkiran, J.A. (2019). Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational Animal Science*, 3(2): 903–910. doi: 10.1093/tas/txz012.
- Racotta, I. S., Palacios, E., Ibarra, A. M. (2003). Shrimp larval quality in relation to broodstock condition. *Aquaculture*, 227: 107-130. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00498-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00498-8).
- Rahman, M. M., Islam, M. S., Halder, G. C., Tanaka, M. (2006). Cage culture of sutchi catfish, *Pangasius sutchi* (Fowler 1937): effects of stocking density on growth, survival, yield and farm profitability. *Aquaculture Research*, 37:33-39. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01390.x>.

- Reis, J., Weldon, A., Ito, P., Stites, W., Rhodes, M., y Davis, D. A. (2021). Automated feeding systems for shrimp: Effects of feeding schedules and passive feedback feeding systems. *Aquaculture*, 541(736800). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736800>.
- Ren, S., Prentis, P., Mather, P. B., Li, Y., Tang, B., Hurwood, D. A. (2020). Genetic parameters for growth and survival traits in a base population of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) developed from domesticated strains in China. *Aquaculture*, 523(735148). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735148>.
- Roy, L. A., Bordinhon, A., Sookying, D., Davis, D. A., Brown, T. W., y Whitis, G. N. (2009). Demonstration of alternative feeds for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters of west Alabama. *Aquaculture Research*, 40(4): 496–503. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02124.x>.
- Ruiz-Luna, A., Berlanga-Robles, C., Madrid Vera, J., Rojas García, C. (2023). Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) stock enhancement with aquaculture recruits: a case study in the coastal lagoons of southern Sinaloa, Mexico (2019-2020). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(5): 671-684. <https://doi.org/10.3856/vol51-issue5-fulltext-3022>.
- Ruiz-Velazco, J. M. J., Hernández-Llamas, A., Gomez-Muñoz, V. M., y Magallon, F. J. (2010). Dynamics of intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* affected by white spot disease. *Aquaculture*, 300(1–4): 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.12.027>.
- Scanes, C.G. (2018). *Animal agriculture: livestock, poultry, and fish aquaculture*. Animals and Human Society. Academic Press, 133-179. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00007-1>.
- Seijo, J. C. (2004). Risk of exceeding bioeconomic limit reference points in shrimp aquaculture systems. *Aquaculture Economics y Management*, 8(3–4): 201–212. <https://doi.org/10.1080/13657300409380363>.
- Shawon, N. A. A., Prodhan, M. M. H., Khan, M. A., y Mitra, S. (2018). Financial profitability of small scale shrimp farming in a coastal area of Bangladesh. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 16(1): 104–110. <https://doi.org/10.3329/jbau.v16i1.36490>.
- Shinji, J., Nohara, S., Yagi, N., Wilder, M. (2019). Bio-economic analysis of super-intensive closed shrimp farming and improvement of management plans: a case study in Japan. *Fisheries Science*, 85: 1055–1065. <https://doi.org/10.1007/s12562-019-01357-5>.
- Solis, C.M.A., San Juan, J.L.G., Mayol, A.P., Sy, C.L., Ubando, A.T., Culaba, A.B.A. (2021). Multi-objective life cycle optimization model of an integrated algal biorefinery toward a sustainable circular bioeconomy considering resource recirculation. *Energies*, 14(5): 1416. <https://doi.org/10.3390/en14051416>.
- Streuli, C. (1999) Extracellular matrix remodelling and cellular differentiation. *Current Opinion in Cell Biology*, 11: 634-640. doi: 10.1016/s0955-0674(99)00026-5. PMID: 10508658.
- Tacon, A. G. J. y Metian, M. (2015). Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 23:1, 1-10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>.
- Ullman, C., Rhodes, M. A., Allen Davis, D. (2019). Feed management and the use of automatic feeders in the pond production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 498: 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.040>.
- Viacava, M. (1995). Feeder trays for commercial shrimp farming in Peru. *World Aquaculture*, 21(2):11–17.

- Wang P., Jianyue J., Zhang Y. (2020). Aquaculture extension system in China: Development, challenges, and prospects. *Aquaculture Reports*, 17: 100339. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100339>.
- Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., Gong, Y. (2017) Economic profitability of tilapia farming in China. *Aquaculture International*, 25: 1253–1264.