



INSTITUTO POLÍTECNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



OPTIMIZACIÓN BIOECONÓMICA DEL CULTIVO  
DE CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus vannamei*  
EN AGUAS DE BAJA SALINIDAD EN BAJA  
CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

FATIMA LUCERO BURQUEZ

LA PAZ, B.C.S., MAYO DE 2020



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 12 del mes de Junio del 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS para examinar la tesis titulada:

"OPTIMIZACIÓN BIOECONÓMICA DEL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus vannamei* EN AGUAS DE BAJA SALINIDAD EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO" del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	LUCERO	Apellido Materno:	BÚRQUEZ	Nombre (s):	FÁTIMA
-------------------	--------	-------------------	---------	-------------	--------

Número de registro: A 1 8 0 4 4 7

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 14 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI  NO  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** El porcentaje de similitud (14%) se debe a una serie de citas debidamente justificadas presentes tanto en la introducción como en la justificación y los métodos dl trabajo doctoral.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:  
"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

  
**DR. GERMÁN PONCE DÍAZ**  
Director de Tesis  
Nombre completo y firma

### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

**DRA. SILVIE DUMAS**  
Nombre completo y firma

  
**DR. LUIS CÉSAR ALMENDAREZ HERNÁNDEZ**  
Nombre completo y firma

**DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ**  
Nombre completo y firma

**DR. FRANCISCO VERGARA SOLANA**  
Nombre completo y firma

**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**  
Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 12 del mes de Junio del año 2020

El (la) que suscribe BM. FÁTIMA LUCERO BÚRQUEZ Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A180447 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. GERMÁN PONCE DÍAZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"OPTIMIZACIÓN BIOECONÓMICA DEL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus vannamei*  
EN AGUAS DE BAJA SALINIDAD EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fcn\_25@hotmail.com - gponced@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

FÁTIMA LUCERO BÚRQUEZ  
**BM. FÁTIMA LUCERO BÚRQUEZ**

*Nombre y firma del alumno*

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	2
Índice de figuras.....	3
Índice de tablas.....	4
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	10
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>4. OBJETIVO</b> .....	15
4.1. Objetivos específicos.....	15
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	16
5.1. Obtención de datos.....	16
<b>5.2.- Modelo bioeconómico del cultivo de camarón</b> .....	17
5.2.1. Parametrización y validación del modelo.....	17
5.2.2. Submodelo biológico.....	17
5.2.3. Submodelo ambiental.....	19
5.2.4. Submodelo tecnológico.....	21
5.2.5. Submodelo Económico.....	23
5.2.6. Simulación de diferentes escenarios de producción mediante la implementación del modelo bioeconómico.....	26
<b>6. RESULTADOS</b> .....	27
6.1. Caracterización de la granja de cultivo de camarón y datos utilizados para el análisis.....	27
<b>6.2. Modelo bioeconómico del cultivo de camarón</b> .....	29
6.2.1. Parametrización y ajuste del submodelo biológico.....	29
6.2.2. Parametrización del submodelo ambiental.....	32
6.2.3. Parametrización del submodelo tecnológico.....	35
6.2.4. Parametrización del submodelo económico.....	37
6.2.5. Evaluación de diferentes escenarios de producción mediante la simulación .....	39
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	51
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>9. RECOMENDACIONES</b> .....	59
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	60
<b>11. ANEXOS</b> .....	67

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Modelo bioeconomico teórico-conceptual en acuicultura, tomado de Almendarez-Hernandez (2015).	9
<b>Figura 2.</b> Proyección de la relación entre crecimiento peso (g) y tiempo (t) mediante el modelo de von Bertalanffy.	30
<b>Figura 3.</b> Supervivencia del camarón blanco <i>L. vannamei</i> cultivado en agua de baja salinidad.	31
<b>Figura 4.</b> Proyección del rendimiento en biomasa kg con relación al tiempo de cultivo.	31
<b>Figura 5.</b> Modelo de la temperatura ambiental.	32
<b>Figura 6.</b> Ajuste de un modelo lineal a la temperatura ambiental y la registrada en el agua de los estanques durante el periodo de cultivo.	35
<b>Figura 7.</b> Relación y ajuste entre el crecimiento observado y calculado con la ecuación de von Bertalanffy y el modelo de temperatura en función del tiempo.	37
<b>Figura 8.</b> Relación entre la mortalidad observada y la estimada con el ajuste de la temperatura en función del tiempo de cultivo.	36
<b>Figura 9.</b> Relación de ajuste lineal entre el Factor de Conversión Alimenticia FCA y el peso (g).	36
<b>Figura 10.</b> Índice de precios, resultados de la estimación de la variación porcentual anual del precio del camarón por kilogramo.	37
<b>Figura 11.</b> Ajuste de regresión lineal simple entre el precio de comercialización y el peso (g) individual de los camarones como resultado del estudio de mercado.	39
<b>Figura 12.</b> Proyección del crecimiento del camarón blanco <i>L. vannamei</i> en función del tiempo de cultivo, donde el peso óptimo se obtiene a los 35.29 g.	40
<b>Figura 13.</b> Proyección de la Biomasa (k) en función del tiempo de cultivo, donde el máximo rendimiento se obtiene a los 153 días.	40
<b>Figura 14.</b> Proyección de la temperatura esperada en el agua de los estanques durante el ciclo de cultivo.	41
<b>Figura 15.</b> Proyección de los ingresos, egresos y la rentabilidad en función del tiempo.	42
<b>Figura 16.</b> Proyección de la biomasa (k) simulada para un esquema de manejo con precosecha y tres ciclos anuales cortos.	44

## Índice de tablas

<b>Tabla I</b> Resultado del diagnóstico y caracterización de la granja de camarón blanco en agua de baja salinidad. ....	28
<b>Tabla II</b> Valores de Bondad de ajuste: R2 ajustado, ECM (Error cuadrático medio) ECMP (error cuadrático medio porcentual y criterios de información: R2a, AIC (Criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano) obtenidos para los modelos .....	29
<b>Tabla III</b> Valores de los parámetros de costos.....	38
<b>Tabla IV</b> Variables de decisión para la simulación del cultivo con tres ciclos anuales cortos.....	43
<b>Tabla V</b> Resultados de la simulación del manejo de la producción con tres ciclos anuales cortos. ....	44
<b>Tabla VI</b> Variables de decisión para la simulación del cultivo con pre-cosechas a diferente gramaje. ....	46
<b>Tabla VII</b> Resultados de la simulación del manejo de la producción con precosechas a diferente gramaje. ....	47

## Resumen

La producción comercial de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en agua de baja salinidad (0.5-5.0 ppt) se ha logrado con éxito. Baja California Sur (BCS) tiene condiciones para incursionar en este sistema; por lo que es necesario evaluar su viabilidad técnica y económica para determinar si podrá evolucionar hacia una producción alternativa de alimento sostenible; para esto se parametrizó un modelo bioeconómico compuesto por cuatro submodelos (*i.e.*, ambiental, biológico, tecnológico y económico). El modelo se estructuró empleando datos provenientes de una granja acuícola ubicada en Los Planes, BCS. La unidad produce camarón blanco en agua de baja salinidad en un sistema superintensivo con cosechas parciales en cuatro tanques de 16 m de diámetro con un plan de expansión a 12 tanques. Con el modelo desarrollado fue posible evaluar diferentes escenarios de producción para estimar la rentabilidad, así como el tiempo y el peso óptimo de cosecha. Los indicadores clave de desempeño varían de acuerdo con la programación de la siembra (fecha y densidad) y al desempeño del ciclo (supervivencia). Considerando una planeación de engorda típica de la industria (peso de siembra 0.05g, 200 larvas m<sup>-2</sup>, sembrando el 30 de abril con 80% de supervivencia, es posible generar un ciclo con una rentabilidad de \$1,143,113.30 M.N., cosechando a los 153 días a un peso de 35.3 g. Con el modelo desarrollado también fue posible simular diferentes escenarios de producción con el objetivo de optimizar la rentabilidad y explorar diferentes esquemas de manejo del cultivo mediante la simulación de ciclos cortos con diferente fecha de siembra: 01/01/2019 (invierno), 01/05/2019 (primavera) y 01/08/2019 (verano), obteniéndose el máximo rendimiento en biomasa acumulada, el máximo ingreso y mejor crecimiento en la fecha 01/05/2019 (primavera), así como mayor ingreso por cosecha, ingresos totales y rentabilidad respecto a los resultados obtenidos en las otras fechas. Como resultado de la simulación mediante precosechas con fecha de siembra: 1/01/2019 y 21/03/2019, se obtuvo el mejor rendimiento y rentabilidad a los 20.0 g, mientras que la precosecha a 9.0 g sería la que generaría menor rentabilidad para ambas fechas de siembra. La máxima rentabilidad se obtiene sembrando en el mes de enero y cosechando a los 16.0 g de peso por organismo en promedio. Con estos resultados se plantea la factibilidad de la implementación y escalamiento de este modelo de producción en BCS.

## **Abstract**

Commercial production of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in low salinity water (0.5-5.0 g/l) has been successfully achieved. Baja California Sur (BCS) has conditions to enter this system; Therefore, it is necessary to evaluate its technical and economic feasibility to determine whether it can evolve towards an alternative sustainable food production; For this, a bioeconomic model composed of four sub-models (i.e. environmental, biological, technological and economic) was parameterized. The model was structured using data from an aquaculture farm located in Los Planes (BCS). The unit produces white shrimp in low salinity water in a superintensive system with partial crops in four 16 m diameter tanks with an expansion plan to 12 tanks. With the model it was possible to evaluate different production scenarios to estimate the profitability, time and optimal harvest weight. Although these key performance indicators vary according to the sowing schedule (density, date) and cycle performance (survival). Considering a typical fattening planning of the industry (planting weight 0.05g, 200 larvae / m<sup>2</sup>, sowing on April 30 with 80% survival) it is possible to generate a cycle with a profitability of \$ 1,143,113.30 MN, harvesting at 153 days a weight of 35.3g. On the other hand it was also possible to simulate different production scenarios with the aim of optimizing profitability and exploring different crop management schemes by simulating short cycles with different planting date: 01/01/2019 (winter), 01/05 / 2019 (spring) and 08/01/2019 (summer), obtaining the maximum yield in accumulated biomass, the maximum income and best growth on the date 01/05/2019 (spring), as well as greater income to harvest, total income and profitability with respect to the results obtained on the other dates. As a result of the simulation using pre-harvests with sowing date: 01/01/2019 and 03/21/2019, the best yield and profitability were obtained at 20.0 g, while the pre-harvest at 9.0 g would be the one that would generate less profitability for Both planting dates. The maximum profitability is obtained by sowing in the month of January and harvesting at 16.0 g. With these results it is verified that the implementation and scaling of this production model in BCS is feasible.

## 1. INTRODUCCIÓN

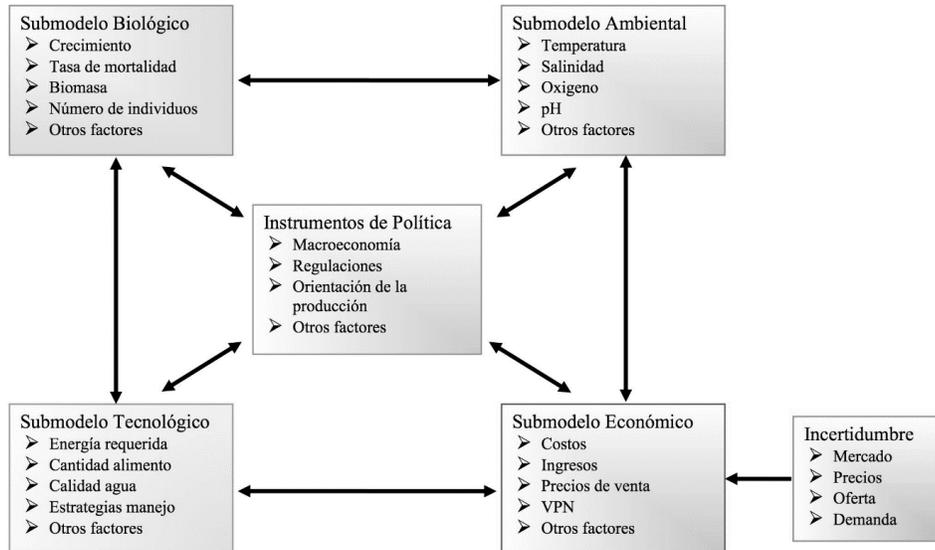
La actividad acuícola tiende a desarrollarse y diversificarse mundialmente; actualmente se puede realizar tanto en medio salino como dulceacuícola; la acuicultura epicontinental es una modalidad de cultivo que se realiza en agua dulce donde se producen especies de origen marino como el camarón blanco que después de un proceso de adaptación crece muy bien en estas condiciones (FAO, 2018).

Esta nueva modalidad en el cultivo se ha posicionado como una técnica innovadora y sustentable, tanto que esta actividad se realiza de manera muy común en Asia y en años más recientes en América latina, donde de manera comercial países como Ecuador, Panamá, México, así como Estados Unidos de América producen de manera comercial camarón en agua dulce (Miranda *et al.*, 2010). El alto grado de tolerancia y adaptación fisiológica de esta especie a diferentes rangos de salinidad es lo que permite que sea adecuado para su cultivo (Parmenter, 2007), además de su importancia económica debido a que posee una gran demanda en el mercado y representa una opción viable para contrarrestar los efectos de la contaminación en la zona de costa (Martínez Córdoba *et al.*, 2009; Godínez-Siordia *et al.*, 2011).

Debido a la creciente demanda de fuentes de alimento alternativas para bastecer las exigencias de la población se ha intensificado el desarrollo de la acuicultura, sin embargo se identifican problemas de deterioro de los ambientes costeros debido a la descarga de desechos provenientes de las zonas de cultivo que representan una constante amenaza de riesgo sanitario por la transmisión de enfermedades; además de otros retos como son los derivados de una deficiente administración y planeación aplicadas en el manejo de las granjas acuícolas. Para contribuir a contrarrestar estos efectos se hace necesaria la generación de manera práctica y funcional de modelos analíticos integrales, con el objetivo de brindar información y conocimientos técnicos a los productores como alternativas para la toma de decisiones estratégicas y la implementación de mejoras en el manejo eficiente de los cultivos (Godínez-Siordia *et al.*, 2011; Almendárez-Hernández, 2015).

La bioeconomía acuícola tiene sus bases en diferentes ciencias y disciplinas como la biología y la economía; esta surge como una alternativa que aporta mediante un enfoque integral elementos confiables y útiles como herramientas para facilitar la toma de decisiones (Almendárez-Hernández, 2015). Esta herramienta basada en el uso de modelos matemáticos permite a través de una visión sistémica, fundamentada en la Teoría General de Ciencias de Sistemas la configuración de un modelo por computadora que interrelaciona los aspectos biológico-ambientales, tecnológicos y económicos que interaccionan en un ambiente de cultivo para recrear o simular un sistema acuícola lo que permite proyectar o explorar nuevas modalidades y cadenas de valor, demandas de mercado, viabilidad económica de nuevos proyectos, optimización en los procesos de producción y la toma de decisiones basadas en el análisis de datos para la inversión de capital (Araneda y Miranda, 2013; Cacho, 1997).

La simulación por computadora en la acuicultura puede ayudar a conocer la influencia e interdependencia de los múltiples factores en el manejo de los procesos de producción permitiendo a los administradores, elegir entre distintos escenarios, el óptimo que maximiza la rentabilidad del sistema. Los modelos de simulación más comunes aplicados en los negocios funcionan en hojas electrónicas desplegadas como Microsoft Excel® (Montoya y Velasco, 2001; González-Becerril, 2001).



**Figura 1.** Modelo bioeconómico teórico-conceptual en acuicultura, tomado de Almendarez-Hernández (2015).

Durante los procesos de producción, los aspectos biológicos se ven influenciados por el control interno de manejo aplicado y las condiciones medioambientales. En el control interno se incluye tamaño del stock, la densidad de siembra, el esquema de cosecha, el tipo y cantidad de alimentación, el tipo de fertilizante químico y las características físicas de las instalaciones de operación; mientras que las condiciones medioambientales corresponden a la temperatura del agua, oxígeno disuelto, niveles de pH, etc. El costo de producción está en función del control interno, la administración y la infraestructura utilizada, la rentabilidad de una granja de cultivo de camarón depende de la escala de producción en la que opere, el precio de comercialización, la calidad del producto y la demanda en el mercado (González-Becerril, 2001).

Este trabajo de investigación se basa en el desarrollo de un modelo bioeconómico para el cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en agua de baja salinidad con el objetivo de visualizar posibles escenarios de producción que puedan ser utilizados como herramienta para la optimización en el manejo del cultivo y la maximización de la rentabilidad.

## 2. ANTECEDENTES

En la última década, el cultivo de camarón blanco se ha desarrollado de manera exponencial en todo el mundo, expandiéndose más que cualquier otro sector productivo pecuario (Allsopp *et al.*, 2008). No obstante, en años recientes esta actividad ha disminuido su desarrollo por el impacto de enfermedades causadas por los virus, mismos que se han establecido en los sistemas donde se abastecen de agua las granjas de camarón (Valenzuela-Quiñones *et al.*, 2010). *Litopenaeus vannamei* tiene muchas características fisiológicas, que lo convierten en un buen candidato para la producción (Parmenter, 2007); posee una gran tolerancia a un amplio rango de factores ambientales, logrando soportar un intervalo de salinidad que va entre 0.5-45 ups (unidades prácticas de salinidad); aunque el rango óptimo es entre 7-34 ppt (part per thousand por sus siglas en inglés), crece particularmente bien a bajas salinidades, lo que hace posible su cultivo en estas condiciones (McGraw *et al.*, 2002; Sower & Tomasso, 2006, Briggs *et al.*, 2004, Sower & Tomasso, 2006; Parmenter, 2007). Esta capacidad ha permitido su cultivo en nuevas granjas tierra adentro que se han vuelto comunes en Asia y América Latina en los últimos años. Por ejemplo, un alto porcentaje de *L. vannamei* que se produce en china, se cultiva en sitios continentales de agua dulce, donde la producción es mucho mayor que con las especies locales (Briggs *et al.*, 2004).

El cultivo comercial de camarón en agua de baja salinidad se ha logrado con éxito (Araneda y Miranda, 2013) y esta nueva modalidad se considera como una alternativa, para aminorar el impacto de las enfermedades infecciosas entre otras muchas ventajas y se está extendiendo con rapidez en el hemisferio norte. Miranda *et al.* (2010), realizaron un cultivo de camarón blanco (*L. vannamei*) en agua dulce en Paraguaná, estado Falcón, en Venezuela, en donde el cultivo tuvo una duración de 94 días y se registraron parámetros productivos favorables, lo que demuestra la factibilidad de este tipo de técnica como una nueva alternativa de producción acuícola para los pequeños y medianos productores. Esta variación en el manejo permite desarrollar esta actividad en tanques a diferentes densidades y a diferentes salinidades aprovechando su

capacidad eurihalina por lo que es factible su cultivo en zonas donde la fuente de abastecimiento de agua es baja en sales (Roy *et al.*, 2007).

Araneda *et al.*, (2008) mencionaron que el cultivo comercial del camarón en agua de baja salinidad se ha logrado con éxito, sin embargo, no hay estudios a largo plazo sobre la respuesta en el crecimiento de camarones en agua dulce. En el estudio que llevaron a cabo estos autores, el camarón blanco (*Penaeus vannamei*) se desarrolló en un cultivo en agua dulce (0 ppt) a tres densidades (90, 130 y 180 camarones m<sup>2</sup>) y se compararon datos del crecimiento resultante, la relación longitud-peso y los índices del factor de condición. Los resultados mostraron un aumento de peso estadísticamente significativo en los camarones cultivados y en consecuencia la viabilidad del sistema de cultivo de agua dulce, mostrando también tasas de crecimiento menores a medida que la densidad aumentó al igual que en agua salada.

Por su parte Roy *et al.*, (2010), mencionan que la acuicultura continental de camarones en aguas de baja salinidad está muy extendida en muchas regiones de todo el mundo, y debido a la capacidad de crecer y sobrevivir en baja salinidad, el camarón blanco tiende a convertirse en el candidato elegido para el cultivo en Baja California Sur. Se han desarrollado técnicas que modifican las características del agua de baja salinidad utilizadas para el cultivo de camarón al agregar fertilizantes de potasio y magnesio y aplicar enfoques dietéticos que consideran modificaciones de los alimentos que se ofrecen a los camarones con suplementos que podrían mejorar la capacidad osmorreguladora de los organismos. Basado en la propia experiencia de estos autores y en lo encontrado predominantemente en la literatura, parece que el desarrollo de las larvas en un medio con fertilizantes de potasio y magnesio es más efectivo que las técnicas de modificación de la dieta para mejorar el crecimiento, la supervivencia y la osmorregulación en camarones criados en aguas de baja salinidad.

Experiencias en México indican que, a nivel comercial, este crustáceo puede cultivarse exitosamente en agua de baja salinidad (0.5-5.0 ppt) (Tamayo, 1998). En Yucatán, se ha cultivado experimentalmente camarón aclimatado en agua de pozo a cero salinidad

(0-3 ppt), lo que abre la posibilidad de producir esta especie en terrenos tierra adentro (Araneda *et al.*, 2008). En cultivos con agua de pozo, se han probado densidades de 90 hasta 330 camarones/m<sup>2</sup> con una supervivencia que va de 63 a 87% y tallas de cosecha de hasta 11.6 g en 210 días (Araneda, 2010). En Baja California Sur, Jalisco y Colima, se cuenta con la tecnología disponible y la experiencia que permite producir camarón blanco en sistemas intensivos en agua a muy baja salinidad (0.5 ppt), alcanzando rendimientos cercanos a 10 toneladas por hectárea (Godínez-Siordia *et al.*, 2011). Por otra parte Arzola-Gonzales *et al.* (2008), estimaron el crecimiento del camarón blanco en un estanque rustico a una salinidad de 2 ppt en la granja “Los Álamos” ubicada en el margen derecha del río San Lorenzo, en Culiacán, Sinaloa, México, obteniendo resultados favorables en crecimiento. Valenzuela-Quiñones *et al.* (2010), realizaron un ciclo de cultivo experimental a alta densidad de siembra en Guasave, Sinaloa; para determinar el potencial de diferentes fuentes de agua subterránea de baja salinidad para el cultivo de camarón blanco como alternativa acuícola para zonas de alta marginación y los resultados obtenidos en crecimiento y sobrevivencia indican que sí es posible realizar cultivos de camarón con agua subterránea de baja salinidad para estas zonas, lo anterior con el fin de incrementar el nivel de vida de la población de estas áreas.

De acuerdo con Araneda *et al.* (2018), el control y la gestión de los factores de producción han sido de gran interés económico para la industria acuícola. En el manejo de la producción se ha demostrado que los productores pueden controlar los factores como la alimentación, la densidad de la población y el tiempo óptimo de cosecha entre otros para maximizar sus ganancias en los sistemas de producción acuícola (Bjorndal, 1998). En este sentido se han realizado estudios con modelos de producción; González-Romero *et al.* (2017), formularon un modelo de producción biológica del cultivo comercial semi-intensivo de camarón *L. vannamei* con una precosecha utilizando bases de datos de la industria. El modelo quedó integrado por un submodelo biológico, un submodelo de variables ambientales (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) y otro de manejo (densidad, duración del cultivo y tamaño del estanque). Los distintos esquemas de manejo explorados permitieron determinar las combinaciones

de las variables para incrementar la producción. Yu *et al.* (2009), desarrollaron un modelo práctico de cosecha parcial utilizando el enfoque de flujo de red que puede implementarse y resolverse fácilmente en hoja de cálculo. Los resultados indican que el modelo es capaz de identificar la estrategia de cosecha eficiente, así como evaluar la viabilidad de la cosecha parcial bajo una variedad de condiciones y objetivos de gestión.

Por otra parte, también se han realizado estudios bioeconómicos aplicados al cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad basados principalmente en manejo a diferentes densidades, crecimiento y mortalidad. En este sentido, Araneda *et al.* (2011), examinaron la cuestión del tiempo óptimo de cosecha en una población en cultivo a alta densidad y heterogénea en tallas, utilizando un modelo que refleja el efecto de la densidad de población tanto en la tasa de mortalidad general como en el crecimiento individual. Este análisis permitió estimar un tiempo de cosecha óptima. Los resultados obtenidos se aplican al cultivo de camarones en sistemas de recirculación en México. Posteriormente Araneda *et al.* (2018), realizaron un análisis del tiempo óptimo de cosecha que maximiza los beneficios netos de los camarones cultivados en agua dulce, el cual se determinó utilizando un modelo bioeconómico que incluía la heterogeneidad de tallas ajustado a seis estrategias de densidad de población (90, 130, 180, 230, 280 y 330 camarones m<sup>2</sup>).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Siendo algunas regiones de Baja California Sur un Estado con aptitud agrícola (tierras de cultivo con uso de agua del subsuelo) y alto potencial acuícola se considera pertinente evaluar la viabilidad técnica y económica de la engorda de camarón en agua de baja salinidad; pues es una de las actividades con alto potencial de crecimiento y atractivo para la inversión. En la entidad se registra solo una granja acuícola que opera en esta modalidad, y se carece de estudios o información científica que aborde el tema a través de un enfoque bioeconómico integral para determinar el potencial de rentabilidad y la viabilidad técnica y económica de esta actividad. La información que genere este análisis bioeconómico, se considera que puede ser relevante en términos de las iniciativas públicas o privadas enfocadas a nuevos emprendimientos que pueden hacer uso e integrar el conocimiento generado en este trabajo de manera estratégica para contribuir a fortalecer el desarrollo y sostenibilidad económica, así como impulsar la implementación de nuevas tecnologías incorporadas a la acuicultura en zonas rurales con potencial impacto social.

## **4. OBJETIVO**

Realizar un análisis bioeconómico del cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad en una unidad de producción en el Estado de Baja California Sur.

### **4.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar la unidad representativa de engorda de camarón blanco en agua de baja salinidad.
- Construir y parametrizar un modelo bioeconómico para analizar y evaluar el potencial de rentabilidad de la actividad.

## **5. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **5.1. Obtención de datos**

Los datos empleados para la parametrización del modelo fueron proporcionados por la granja de GRUPO AGROACUICOLA LOS PLANES S.C. de R.L. de C.V. Para la recolección de los datos se realizaron visitas periódicas a las instalaciones de la granja tipo con la finalidad de determinar el nivel de tecnificación, el modelo productivo y su capacidad de producción, identificando la infraestructura y equipo operativo. Por otra parte, se realizaron entrevistas con el productor y personal técnico para conocer la dinámica de trabajo y el manejo del sistema.

Complementariamente se obtuvo una base de datos con las biometrías que fue proporcionada por el productor. La base contiene información de 2 ciclos de producción, el primero durante el periodo que va del 7 de julio del 2017 al 4 de octubre del 2017 y el segundo realizado en invierno del 3 de octubre del 2018 al 16 de enero de 2019. Esta base contiene resultados de biometría semanal, supervivencia, biomasa, alimento suministrado y Factor de Conversión Alimenticia (FCA).

Respecto a la información económica y ambiental. Esta se obtuvo a través de entrevistas con el productor, cotizaciones y mediante un análisis de mercado. Con esta información se construyó un catálogo de costos en hoja de cálculo Excel (costos variables, costos fijos y de inversión en activos fijos) con todos los componentes físicos identificados en la granja, de manera similar se registraron los precios de mercado considerando la estacionalidad y la talla de camarón. La información ambiental se obtuvo a partir de lecturas de temperatura del agua de los estanques y se complementó con datos ambientales recolectados en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Manuel Márquez de León.

## **5.2. Modelo bioeconómico del cultivo de camarón**

### **5.2.1. Parametrización y validación del modelo**

Las etapas para la parametrización del modelo fueron las siguientes: 1) descripción general del sistema y recopilación de información del sistema en su conjunto; 2) identificación de los elementos fundamentales del sistema; 3) modelación del sistema; 4) implementación del modelo, es decir realización de sucesivas simulaciones del modelo con diferentes escenarios y observando si es congruente con la realidad que se quiere modelar en términos de la estructura que lo conforma; y 5) la validación que es la etapa del proceso que confirma si el modelo representa efectivamente el sistema. De acuerdo con González-Becerril (2001), hay validación estructural empírica por medio de análisis de sensibilidad y validación estructural teórica por medio de la comparación de los valores de los parámetros con los reportados en la literatura, probando con esto la coherencia del modelo.

Los cálculos de parametrización, ajuste y validación de cada uno de los submodelos que componen el modelo bioeconómico se realizaron a través de métodos estadísticos de ajuste no lineales, método de mínimos cuadrados y regresión lineal simple. Para la validación estadística se utilizó el programa Statistica V.10. La bondad de ajuste se expresó mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), Error Medio Absoluto (MAE por sus siglas en inglés), y el Error Medio Absoluto Porcentual (MAEP por sus siglas en inglés). Además, se calcularon criterios de información para poder seleccionar objetivamente entre diferentes funciones, considerando su complejidad y ajuste, para esto se estimó el  $R^2$  ajustado, el indicador Akaike (AIC por sus siglas en inglés) y el criterio de información Bayesiano (BIC por sus siglas en inglés) de acuerdo con Lugert (2015). La implementación del modelo bioeconómico se realizó en hoja de cálculo Microsoft Excel®.

### **5.2.2. Submodelo biológico**

Para el submodelo biológico las variables analizadas fueron el crecimiento en peso del camarón, la supervivencia y la producción en biomasa (kg).

Para la parametrización del modelo de crecimiento se calculó la tasa instantánea de crecimiento observada en relación con el peso individual del camarón, esta información se utilizó para parametrizar y evaluar la capacidad de ajuste de distintos modelos de crecimiento con los cuales se estimó la tasa instantánea de crecimiento ( $\frac{dw}{dt}$ ) con relación al peso ( $w$ ). Los modelos evaluados fueron los siguientes:

Von Bertalanfy	$dw/dt = aw^{2/3} - \beta w$
Gompertz	$dw/dt = aw - \beta w(\ln w)$
Chapman	$dw/dt = aw\sigma - \beta w$
Putter	$dw/dt = aw\sigma - \beta wy$
Logístico	$dw/dt = aw - \beta w^2$

Una vez estimada la tasa de crecimiento el cálculo del peso individual durante el ciclo de engorda se realizó siguiendo el método de integración de Euler. El cual se describe a continuación:

$$W_t = W_{t-1} + h (dw/dt)$$

En donde  $W_t$  es el peso en el tiempo  $t$ ,  $h$  corresponde a los días transcurridos y  $dw/dt$  es la tasa de crecimiento observada durante el periodo  $h$ .

Para describir la sobrevivencia se utilizó un modelo de extinción exponencial:

$$N_t = N_0 e^{-Zt}$$

donde  $Z$  es la mortalidad diaria instantánea.  $N_0$  es la cantidad de organismos en el  $t=0$  (Número de organismos sembrados), siendo  $N_t$  el número de sobrevivientes en un momento  $t>0$ .

La biomasa ( $B_t$ ) a su vez se estima tomando en cuenta el peso individual ( $W_t$ ) medio multiplicado por la cantidad de organismos en engorda en un tiempo  $t$  ( $N_t$ ).

$$B_t = W_t * N_t$$

### 5.2.3. Submodelo ambiental

Diversas investigaciones han señalado que el potencial de producción y la capacidad de carga biológica de un sistema de cultivo son generalmente determinados en conjunto por las condiciones ambientales, las cuales pueden alterar las tasas de actividad biológica y por consecuencia modificar el crecimiento del camarón y en algunos casos provocar su mortalidad (Arzola *et al.*, 2013).

Para que el modelo reflejará el efecto de la temperatura, lo cual es especialmente importante debido a que se busca simular siembras a lo largo del año, se modificaron las ecuaciones de crecimiento y supervivencia. Para el caso del crecimiento se modificó la función de von Bertalanffy ya que fue la que mejor ajuste tuvo con respecto a los datos observados.

Una vez dicho lo anterior, la función para representar el crecimiento en función de la talla y la temperatura quedo de la siguiente forma:

$$\frac{dw}{dt} = (a \cdot w^{2/3} \cdot temp) - (\beta \cdot w)$$

de manera similar a continuación se muestra la función de supervivencia modificada para incluir el efecto de la temperatura.

$$N_t = N_0 \cdot e^{(-z \cdot temp \cdot t)}$$

Con lo anterior se está en condiciones de simular la temperatura de los estanques a lo largo del año.

Para parametrizar el ciclo estacional de la temperatura en los estanques en una primera etapa se parametrizó un modelo con funciones cíclicas para representar la temperatura ambiental (i.e. con un periodo de 365 días), para este fin se emplearon los datos de temperatura mensuales desde enero del 2017 hasta abril del 2019. Los datos provienen de la base de datos de la estación meteorológica del Aeropuerto internacional Manuel Márquez de León, en La Paz B.C.S, México. La función empleada se muestra a continuación.

$$TempAmb = \alpha + \beta \cdot \text{sen} \frac{2\pi t}{365} + \delta \cdot \text{cos} \frac{2\pi t}{365}$$

Donde:

$TempAmb$  = temperatura ambiente en °C

$\alpha$  = parámetro de ajuste

$\beta$  = parámetro de ajuste

$\delta$  = parámetro de ajuste

$\pi$  = 3.1416

$t$  = Día del año

Posteriormente se correlacionó la temperatura ambiental observada con las lecturas de temperatura de los estanques registradas en las bitácoras de la empresa. La relación entre las temperaturas siguió un ajuste lineal. La función para relacionar las temperaturas es la siguiente:

$$Temp = \alpha + \beta * TempAmb$$

#### 5.2.4. Submodelo tecnológico

El submodelo tecnológico se compone de funciones para estimar el alimento, la tasa de producción de nitrógeno amoniacal total ( $TAN$ ), la concentración de  $TAN$  en el sistema y el suministro de bombeo y aeración (i.e. energía):

##### *Estimación del alimento suministrado*

Los costos de alimentación dependen del Factor de Conversión de Alimento ( $FCA$ ). Este representa la cantidad de alimento necesaria para que el camarón aumente en una unidad de peso (Hernández Guerra *et al.*, 2003). El consumo del alimento se obtuvo de los registros de la ración diaria suministrada a los camarones durante el ciclo de cultivo. Para la modelación del alimento se parametrizó el factor de conversión alimenticia en función del peso ( $w$ ) y el cálculo se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$FCA = \alpha w^\beta$$

Donde:

$w$  = peso

$\alpha$  = parámetro de ajuste

$\beta$  = parámetro de ajuste

Para estimar la ración de alimento ( $RA$ ) a suministrar, se multiplica el incremento en peso individual y se afecta por el  $FCA$  y posteriormente se multiplica por la supervivencia. Finalmente se divide entre 1000 para tener el alimento en kg. De acuerdo a la siguiente función:

$$RA = \frac{(w_t - w_{t-1}) \cdot FCA \cdot N_t}{1000}$$

### *Estimación concentración de NAT*

En los sistemas acuícolas de no haber un adecuado control del nitrógeno amoniacal total ( $NAT$ ), el consumo de alimento y el crecimiento disminuyen eventualmente conduciendo a la muerte de los organismos en cultivo (Torres-Mesa *et al.*, 2015). Por lo tanto, se consideró fundamental integrar esta variable dentro del submodelo tecnológico mediante la ecuación que permite estimar la producción de  $NAT$  ( $pNAT$ ), en función de la cantidad de alimento proporcionada a los camarones, donde la producción de amonio es igual al 3.0% de la cantidad del alimento suministrado cuando se trata de un sistema con purga de lodos (Van Wyk *et al.*, 1999).

$$pNAT_t = 0.03 \cdot RA_t$$

Donde  $pNAT$  es la producción de amonio en el tiempo  $t$  y  $RA$  es el alimento suministrado en el tiempo  $t$ . Una vez conocido  $pNAT$  se dividió por el volumen de agua en el sistema para posteriormente calcular los requerimientos de recambio de agua (i.e. bombeo) para mantener la  $[NAT]$  en niveles seguros ( $[NAT_{max}] = 0.004$  g/l) para el camarón blanco en agua de baja salinidad, de acuerdo con las recomendaciones de Huguenin y Colt (2002); y Li *et al.* (2007). Considerando que el sistema de producción consta de estanques redondos con una columna de agua de un metro, se estimó el volumen de agua de cada estanque en litros con la siguiente función:

$$Vol = \pi \cdot r^2 \cdot 1000$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

$r$  = radio

Para estimar el volumen de agua requerido para remover el  $NAT$  suficiente para mantener concentraciones seguras, primero se estima el porcentaje de agua requerida

para la remoción del  $NAT$ , y posteriormente se multiplica este porcentaje por la cantidad de agua.

$$VolR = \begin{cases} [NAT] < [NAT_{max}], & 0 \\ [NAT] > [NAT_{max}], & \frac{[NAT] - [NAT_{max}]}{[NAT]} \cdot Vol \end{cases}$$

### *Estimación de los requerimientos energéticos*

La energía de aireación se obtuvo calculando la cantidad de energía requerida para operar los blowers por 24 horas. En este caso se emplea un blower de 10 caballos de fuerza (Hp) por cada dos estanques. Para determinar la cantidad de energía de bombeo ( $Eb$ ), se determina en función de la cantidad de agua que se requiere desplazar en los recambios ( $VolR$ ) así como de la altura manométrica ( $Hm$ ), el peso específico del agua ( $\gamma$ ) y la eficiencia de la bomba ( $ef$ ) siguiendo la siguiente función:

$$Eb = \frac{\gamma * Hm * VolR}{3,600,000 \cdot ef}$$

Se emplea el valor de 3,600,000 para convertir las unidades de  $m^3 s^{-1}$  a litros por día (Boyd y Tucker, 1995).

### 5.2.5. Submodelo Económico

La renta ( $\pi$ ) es función de los ingresos, mismos que se obtienen a partir de la biomasa final (kg) ( $B$ ) multiplicado por el precio por kilogramo de camarón sin cabeza ( $P$ ) y se restan los egresos, o costos totales ( $C_t$ ), que están conformados por los gastos de nómina y combustible, costo de energía para equipo de bombeo, aireación, alimento, costo de la larva, costo de cosecha por tanque, costo de descabezado y congelamiento, merma descabezado, depreciación de la inversión y mantenimiento.

$$\pi = B \cdot P - C_t$$

### *Precio por talla*

En el mes de marzo de 2018 se realizó un estudio de mercado, en los diferentes centros de distribución comercial de la ciudad de La Paz B.C.S., para conocer el precio de venta del camarón por kilo con base al peso (g) con en el que se comercializa. Cabe resaltar que la estrategia de comercialización que se refleja en el modelo es venta directa al consumidor final. Con los datos obtenidos se parametrizó una función para representar la relación entre estas dos variables. El ajuste se probó estimado el  $R^2$  y la significancia estadística. La función de precio en relación a la talla es la siguiente:

$$P = \alpha + \beta \cdot \text{gr}$$

Donde:

P=precio

$\alpha$  = parámetro de ajuste

$\beta$  = parámetro de ajuste

gr = gramos

### *Estacionalidad del precio de venta*

Se incluyó la estacionalidad al precio del camarón por kilogramo estimado en la sección previa. Esto se realizó mediante un índice de precio con las anomalías mensuales promedio, en términos porcentuales, con respecto al precio promedio anual. Estos cálculos se realizaron con datos disponibles en el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) de los años 2000 a 2018 para el caso

del camarón mediano sin cabeza comercializado en el mercado del Mar en Guadalajara, Jalisco.

### *Función de costos*

Para la estimación de los costos totales, se consideró el costo de la semilla tomando en cuenta el precio unitario de la semilla, esto es, el precio con el que se comercializa el millar a la fecha de siembra, y se multiplica por la cantidad de postlarva requerida para lograr una densidad de siembra dada. Para la estimación del costo de cosecha por tanque se tomaron en cuenta los costos de los insumos necesarios (hielo, bolsas, cajas y equipo para cosecha) así como la mano de obra adicional que se requiere temporalmente para realizar este trabajo. El costo de procesamiento (descabezado y congelamiento) consideró la merma descabezado, que se estimó en un 34%; de acuerdo con Mogrovejo Vera & Reyes Andrade (2019). La mano de obra y el congelado (maquilado) se consideró en 10 pesos por kilogramo de camarón. Para el cálculo de la depreciación de la inversión se consideró la evaluación del proyecto a 5 años.

El costo de mantenimiento se estimó en el 2.7% con respecto a valor de la inversión. El costo de alimentación se estimó tomando en cuenta el volumen de alimento multiplicado por el precio del alimento. El costo de energía se estimó multiplicando los consumos estimados en el submodelo tecnológico con la tarifa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El costo diario de nómina se estimó considerando el sueldo mensual que se paga a un gerente de producción y a tres técnicos. El costo por concepto de combustible corresponde al que se consume por traslados y diferentes actividades relacionadas con la comercialización y abasto de insumos a la granja. Todos los costos anteriormente descritos fueron sumados para estimar el costo total.

### 5.2.6. Simulación de diferentes escenarios de producción mediante la implementación del modelo bioeconómico

#### *Estimación de la rentabilidad y el tiempo óptimo de cosecha*

Con el objetivo de estimar la rentabilidad y la productividad del sistema, reflejada en el peso y tiempo óptimo de cosecha del cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad, se realizó la prueba del modelo tomando como parámetro de decisión la fecha de siembra, el peso de la larva, la densidad de siembra, el tamaño y cantidad de estanques.

Se proyectó la operación en el modelo con un esquema de producción en 12 estanques de cultivo de 16 metros de diámetro, sembrados en la misma fecha con una densidad de 300 camarones/m<sup>2</sup> con una fecha de siembra en 30 de abril de 2019. Las precosechas pueden convertirse en una estrategia tecnológica encaminada a incrementar la producción (por desdoble) y las utilidades de los sistemas de cultivo comerciales (Yu y Leung, 2006); por lo que se consideró importante analizar esta estrategia de manejo ya que es una de las que más practicadas en la producción de camarón buscando el éxito productivo y económico con precosechas programadas a los 9.0, 12.0, 16.0, y 20.0 g. Se consideró el peso de siembra inicial de 0.05 g, la capacidad de carga del sistema de 6 kg/m<sup>2</sup> y precosechas de 3,000 kg de camarón con cabeza.

#### *Modelo de producción con ciclos cortos*

Para este posible escenario se proyectó un esquema de producción en 12 estanques de cultivo de igual diámetro y superficie, con una densidad de siembra de 320 camarones/m<sup>2</sup>, variando la fecha de siembra, ciclo 1 con fecha 01/01/2019, ciclo 2 con fecha 01/05/2019, ciclo 3 con fecha 29/08/2019 y peso de precosecha de 12.0 g; la biomasa de camarón con cabeza a precosechar en el ciclo 1 fue de 1,000 kg, ciclo 2 de 3,000 kg y ciclo 3 de 1,000 kg. Se integró adicionalmente el peso de siembra inicial de 0.05 g y la capacidad de carga del sistema de 6 kg/m<sup>2</sup>.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de la granja de cultivo de camarón y datos utilizados para el análisis

En las instalaciones analizadas, el área total de cultivo corresponde a 600 m<sup>2</sup>, dentro de los cuales se localizan 4 estanques de 16 m de diámetro por 1 m de altura, con capacidad de 201 toneladas de agua, estos son circulares con estructura de malla electrosoldada y recubiertos de geomembrana negra tipo *liner* de 1.0 mm de espesor. El proyecto está planificado a escalarse en una siguiente etapa a 3 módulos de 4 estanques (i.e. 12 estanques). Los estanques se encuentran protegidos con un domo de plástico que funciona a modo de invernadero, la red hidráulica es independiente para cada estanque, está compuesta por tubería de PVC y se conecta al pozo donde el agua es extraída por medio de bombas sumergibles y enviada a los estanques; la remoción de los sólidos en suspensión en el agua de los estanques se realiza mediante un sedimentador; cada cuatro estanques cuentan con una caja de cosecha y una fosa de sedimentación con capacidad de 200 toneladas.

El tipo de cultivo que se realiza en la granja es superintensivo con densidad de 200 camarones por m<sup>2</sup>. El esquema de producción es por ciclos de 4 meses con cosechas parciales. El peso de siembra es de 0.05g. En cuanto al nivel de tecnificación, el cultivo se realiza con agua de pozo de baja salinidad (5.0 ppm). El suministro de aireación se realiza con un blower de 10 HP por cada dos estanques.

Las actividades técnicas y procesos relacionados con el cultivo constan del registro diario de los parámetros fisicoquímicos y de temperatura del agua; se proporcionan dos raciones diarias de alimento y se realiza el ajuste en base al porcentaje de alimento consumido en las charolas alimentadoras que son utilizadas como testigo. Los aspectos biométricos de crecimiento y la estimación de la supervivencia, son verificados cada semana durante el periodo de cultivo. Los resultados obtenidos del diagnóstico y caracterización de la granja se muestran en la tabla I.

**Tabla I.** Resultado del diagnóstico y caracterización de la granja de camarón blanco en agua de baja salinidad en B.C.S.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
<b>Naturaleza del proyecto</b>	Engorda de camarón
Ubicación de la granja	Los Planes, La Paz, Baja California Sur
Especie que se cultiva	Camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i>
Fuente de agua	Agua de pozo profundo
Biotecnología	Completa y estandarizada
Sistema de cultivo	Intensivo e hiperintensivo
Zona de cultivo	Zona destinada para la actividad agrícola
Artes de cultivo	Estanques circulares de geomembrana
Recambio de agua (%)	> 20
Tamaño de la granja	Pequeña
Peso de siembra (g)	0.05
Tiempo de cultivo (meses)	4
Peso de cosecha (g)	12,16 y 20
Origen de la semilla	Nacional
Procedencia	Laboratorio en Baja California Sur
Alimento	Balanceado comercial (proteína 35%)
Salinidad	5.0 ppt
<b>Tecnificación</b>	
Superficie total de cultivo (m <sup>2</sup> )	600
Suministro de agua	Red hidráulica
Suministro de Energía	Energía eléctrica
Suministro de oxígeno	Aireación mecánica
Remoción de sólidos en suspensión	Filtración mecánica (sedimentador)
Volumen de agua requerida (m <sup>3</sup> )	600
Eliminación de agua residual	Drenaje a fosa de sedimentación
Destino del agua residual	Riego agrícola
<b>Infraestructura y equipamiento</b>	
Equipo de bombeo	Bombas sumergibles
Energía Eléctrica	Red Eléctrica y Generador
Sistema de aireación	Tipo Blowers
Material y equipo para monitoreo de parámetros fisicoquímicos	Oxímetro, potenciómetro, refractómetro, balanza, microscopio
Equipo para muestreo y cosecha	Canastas para alimento, atarrayas, cajas y redes para cosecha
Número de estanques y dimensiones	4 estanques de 16 metros de diámetro por 1.0 metros de altura y capacidad de 201 m <sup>3</sup>
Tipo de infraestructura	Estanques de geomembrana tipo liner con cubierta tipo domo de plástico
Drenaje	Cajas cosechadoras y tubería de salida
Tratamiento de agua	Fosa de sedimentación
Instalaciones adicionales	Oficina, dormitorios, bodega de almacenamiento
<b>Modelo operativo</b>	
Estrategia de manejo	Precosechas
Capacidad de producción (kg)	1000
Densidad de siembra (camarones/m <sup>2</sup> )	200 a 500
Alimentación	Dos raciones diarias

Monitoreo de parámetros	Medición de parámetros fisicoquímicos y biométricos (crecimiento)		
<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Promedio</b>
Temperatura (°C)	13.0	34.0	27.0
Salinidad (ppm)	5.0		
Oxígeno disuelto (mg/l)	3.0		
pH (Rango)	7.0	9.0	
<b>Mercado</b>			
Presentación del producto	Fresco con cabeza, sin cabeza y marquetas		
Precio del producto (\$)	150.0		
Peso de comercialización (g)	12, 16 y 20		
Puntos de venta	Pie de granja		

## 6.2. Modelo bioeconómico del cultivo de camarón

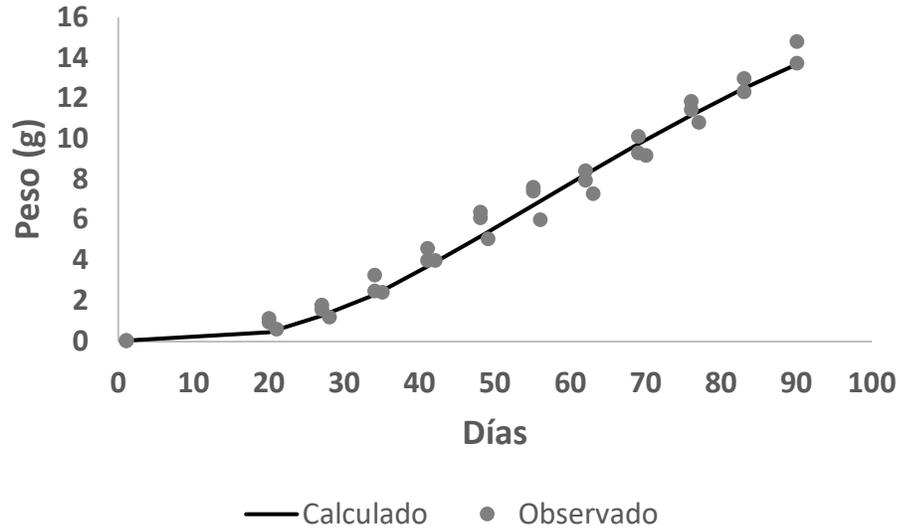
### 6.2.1. Parametrización y ajuste del submodelo biológico

Como resultados de la parametrización del submodelo biológico, el modelo con el mayor valor de  $R^2$  ajustado, y menor valor de AIC y BIC fue seleccionado como el de mejor ajuste a los datos observados. En este caso se obtuvo para la estimación de la tasa de crecimiento un mejor ajuste con el modelo de von Bertalanffy. La comparación estadística mostró que el coeficiente de determinación  $R^2$  explica en un 83.9% la variación respecto a los valores observados, el error medio de la predicción es 0.48 g y una desviación entre los valores observados y predichos del 13.4%. Se resalta que el modelo y los parámetros fueron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) (Tabla II; Figura 2).

**Tabla II** Valores de Bondad de ajuste:  $R^2$  ajustado, MAE, MAEP y criterios de información:  $R^{2a}$ , AIC (Criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano) obtenidos para los modelos de crecimiento.

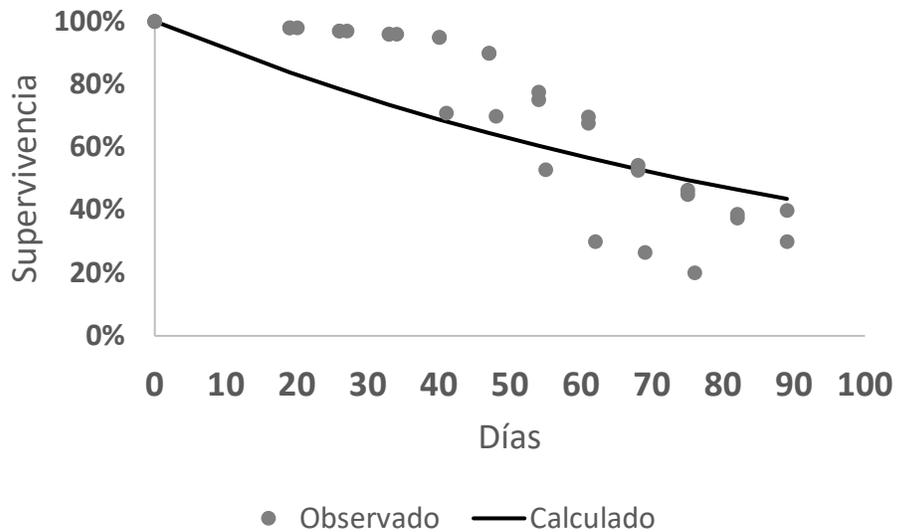
Modelo	Bondad de ajuste			Criterios de información		
	$R^2$	MAE	MAPE	$R^{2a}$	AIC	BIC
<b>*von Bertalanffy</b>	<u>0.839</u>	<u>0.48</u>	<u>13.28%</u>	<u>0.837</u>	<u>664.69</u>	<u>669.72</u>
<b>*Logístico</b>	0.807	1.65	41.10%	0.802	709.46	716.86
<b>*Chapman</b>	0.806	0.71	14.68%	0.802	709.45	716.85
<b>*Putter</b>	0.806	0.28	3.49%	0.8	711.5	721.27
<b>*Gompertz</b>	0.808	0.89	25.65%	0.806	707.31	712.42

\* $P < 0.05$



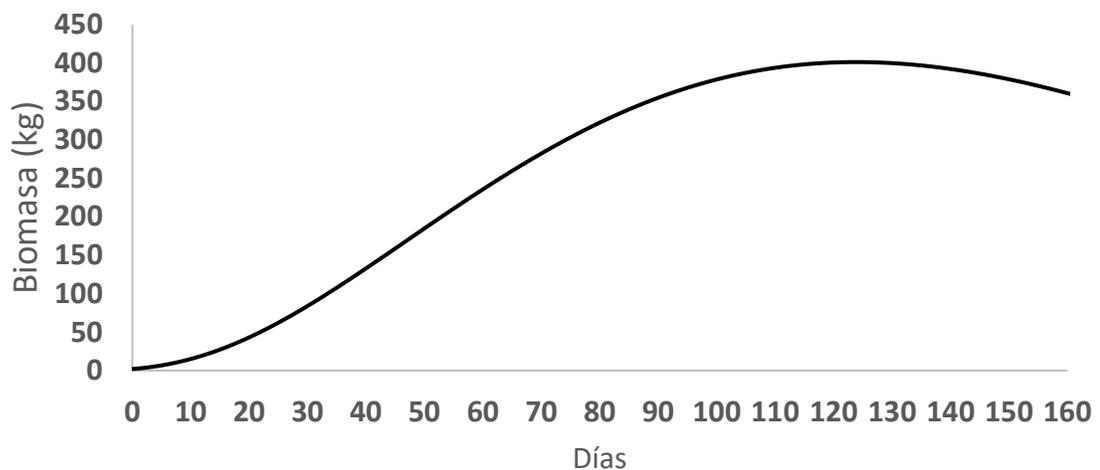
**Figura 2.** Proyección de la relación entre crecimiento peso (g) y tiempo (t) mediante el modelo de von Bertalanffy. Se muestra en línea negra el valor estimado y en puntos grises las observaciones.

Como resultado de la parametrización de la ecuación de supervivencia mediante el modelo de extinción exponencial ( $N_t = N_0 e^{-zt}$ ), se obtuvo una tasa de mortalidad instantánea  $Z = 0.0093$  y un  $R^2 = 0.73$ . El ajuste fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) (Figura 3).



**Figura 3.** Supervivencia del camarón blanco *L. vannamei* cultivado en agua de baja salinidad. Se muestra en línea negra el valor estimado y en puntos grises las observaciones.

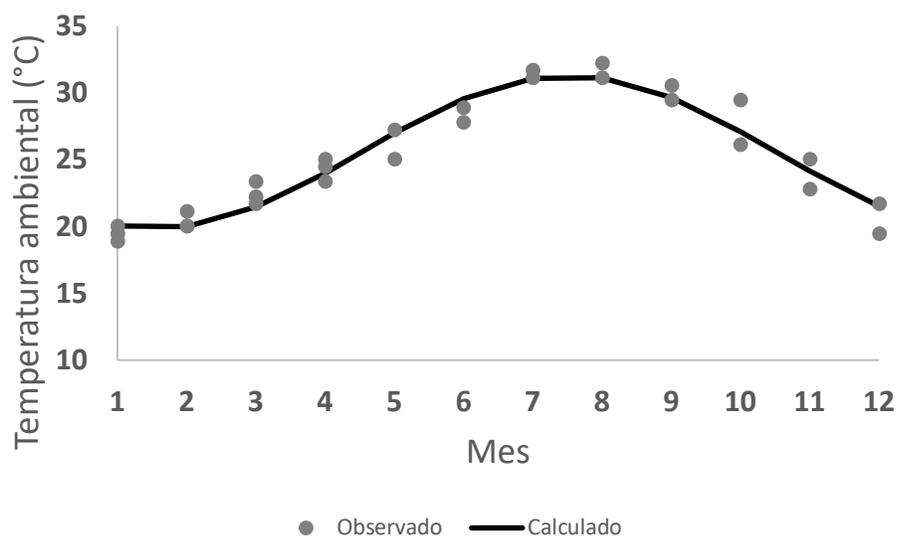
Con la función de crecimiento individual y la supervivencia es posible estimar la biomasa de camarón en el sistema a lo largo de un ciclo de cultivo simulado (Figura 4).



**Figura 4.** Proyección del rendimiento en biomasa (kg) con relación al tiempo de cultivo considerando un estanque, peso de siembra 0.05g, densidad de siembra de 200 camarones por m<sup>2</sup>.

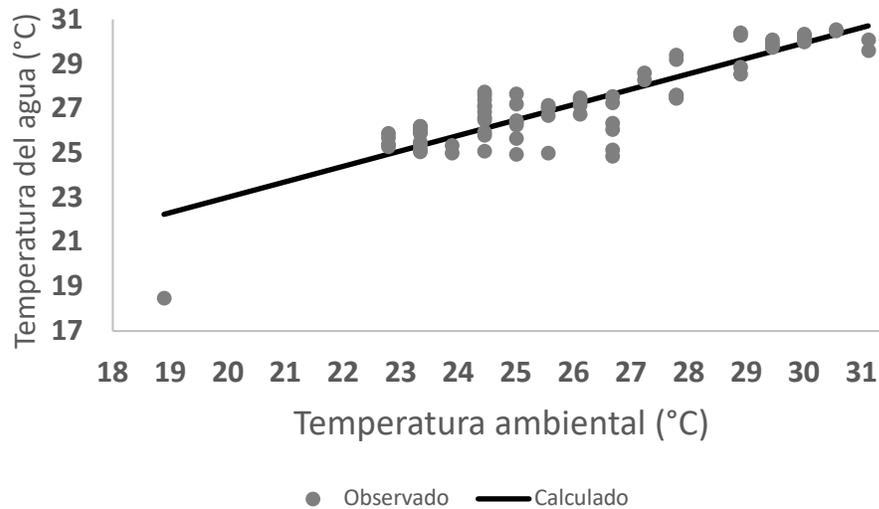
### 6.2.2. Parametrización del submodelo ambiental

El ajuste del modelo estacional parametrizado a partir de los datos de la estación meteorológica obtuvo coeficiente de determinación  $R^2= 0.93$ , lo que sugiere el buen ajuste del modelo para representar la estacionalidad de la temperatura ambiental. El ajuste de los modelos y sus parámetros fue estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) (Figura 5).



**Figura 5.** Ajuste del modelo para representar la estacionalidad de la temperatura ambiental. Se muestra en línea negra el valor estimado y en puntos grises las observaciones

Para estimar la temperatura del agua en los estanques se parametrizó una función en relación de la temperatura ambiental (Figura 6). La relación de tipo lineal entre las dos variables fue estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ) con un coeficiente de determinación igual a  $R^2=0.77$ .



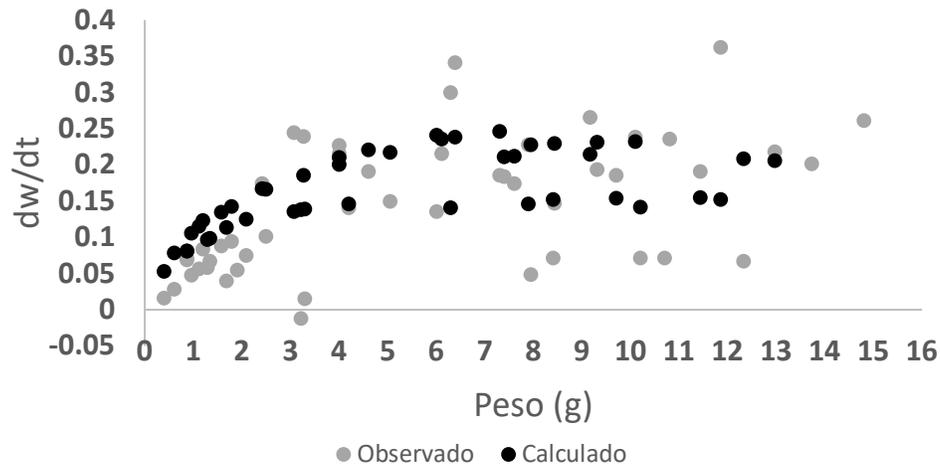
**Figura 6.** Ajuste de un modelo lineal a la temperatura ambiental y la registrada en el agua de los estanques. La línea representa a los valores estimados con el modelo, los puntos grises son los datos observados.

En el caso del cultivo de camarón, el desarrollo de formas funcionales del crecimiento ha partido desde el sencillo análisis de tendencias, hasta llegar a la inclusión de diferentes variables que afectan al crecimiento de acuerdo con Araneda (2010) que como en este caso se sugirió pudiera ser la temperatura del agua.

Para incluir el efecto de la temperatura sobre el crecimiento se modificó la ecuación de von Bertalanffy para considerar el efecto de la mencionada variable. Cabe resaltar que la función y los parámetros fueron estadísticamente significativos en esta versión de la función ( $P < 0.05$ ).

$$\frac{dw}{dt} = \alpha * W^{\frac{2}{3}} * Temp - \beta * W$$

El poder de predicción con esta modificación mejoró significativamente al mostrar un coeficiente de determinación de  $R^2=0.95$  (Figura 7).

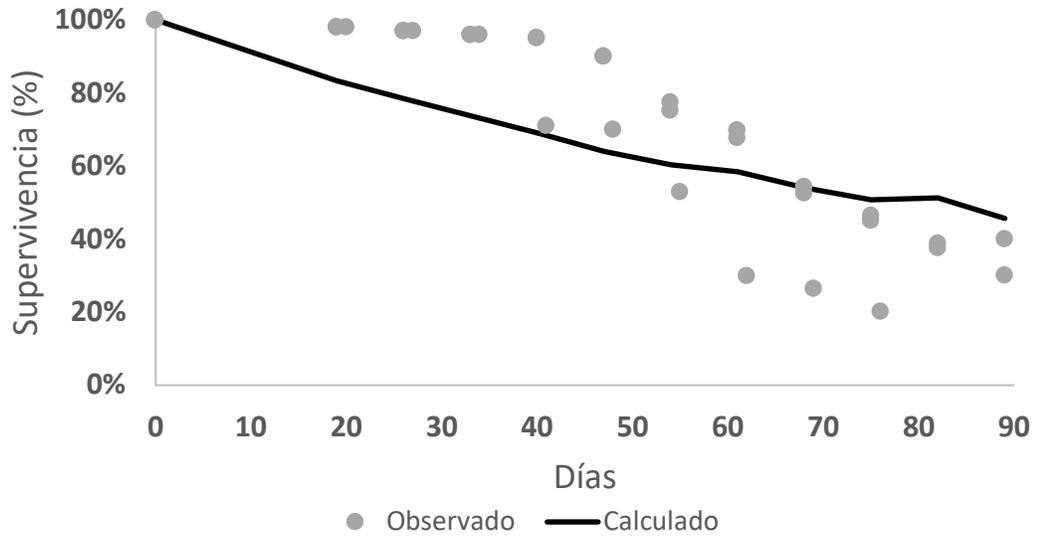


**Figura 7** Tasa de crecimiento ( $dw/dt$ ) observada (puntos grises) en función del peso y la temperatura y tasa de crecimiento estimada con la ecuación de von Bertalanffy modificada para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento.

De igual manera se modificó la función de supervivencia para incluir el efecto de la temperatura, de tal manera que la tasa de mortalidad instantánea ( $Z$ ) está en función del tiempo y la temperatura del agua.

$$N_t = N_0 e^{-ZtTemp}$$

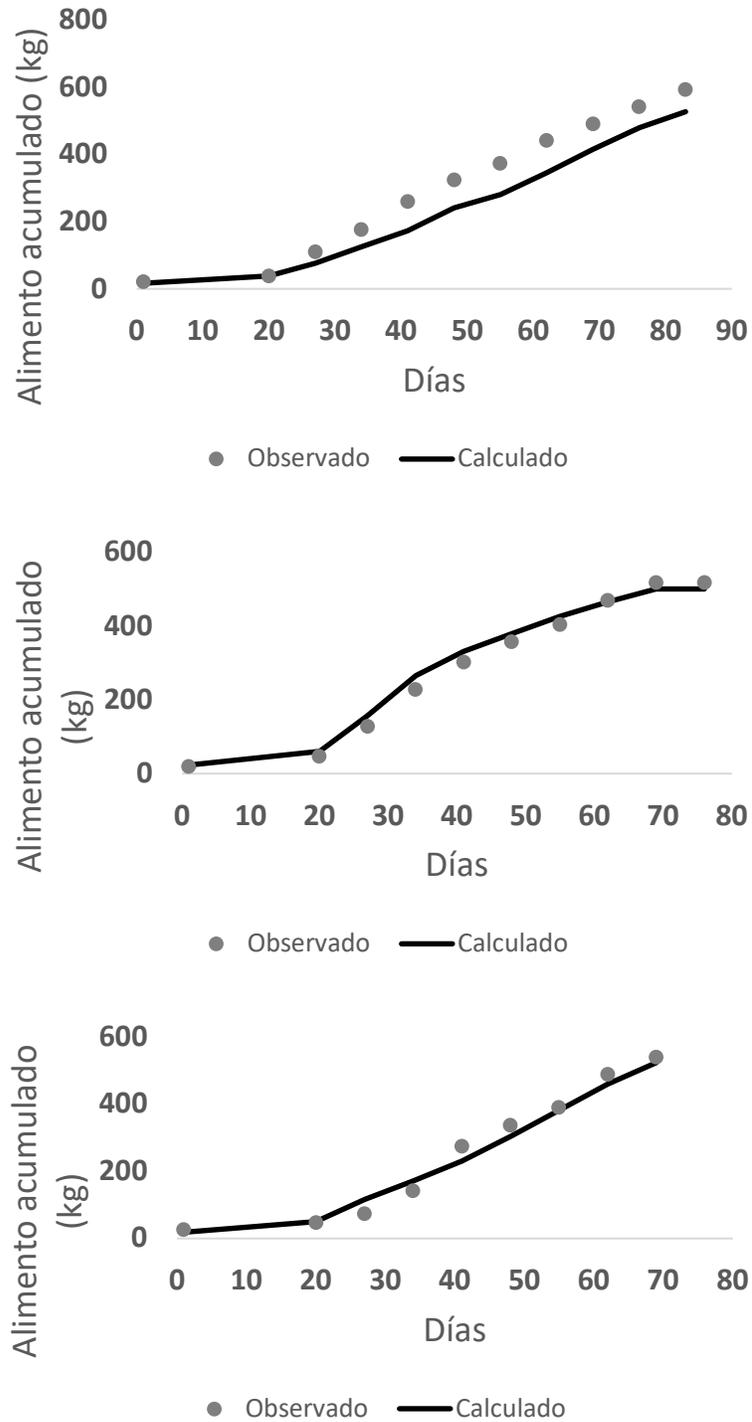
Al igual que el crecimiento el ajuste de la función mejoro al incluir el efecto de la temperatura, alcanzando un coeficiente de determinación de  $R^2=0.92$  (Figura 8). De igual manera con  $P<0.05$ .



**Figura 8.** Relación entre la mortalidad observada y la estimada con el ajuste de la temperatura en función del tiempo de cultivo. Los puntos grises muestran las observaciones y en la línea negra se muestra los valores estimados con el modelo.

### 6.2.3. Parametrización del submodelo tecnológico

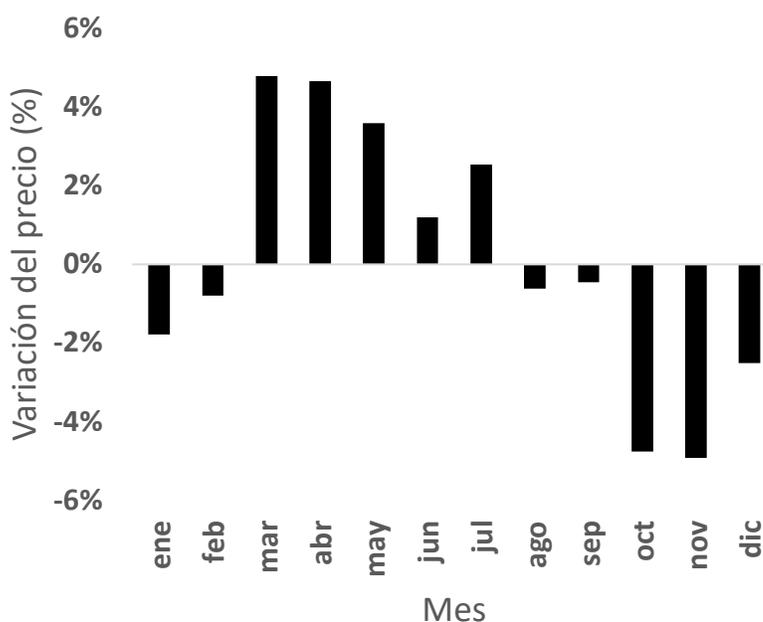
El del modelo para estimar el FCR fue estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), por lo que la función puede ser empleada para estimar los requerimientos de alimento. El coeficiente de determinación de la predicción de la ración de alimento a lo largo de un ciclo es de  $R^2 = 0.95$ . Se destaca que el error de predicción del modelo fue 6% (101 kg) considerando la cantidad de alimento total suministrada (1,649 kg) para los tres ciclos que se emplearon para la parametrización de la función (Figura 9).



**Figura 9.** Predicción del alimento acumulado durante el ciclo en función del FCR comparado con los ciclos de producción que se emplearon para parametrizar la función. Puntos grises corresponden a los datos observados y la línea negra al resultado de la simulación.

#### 6.2.4. Parametrización del submodelo económico

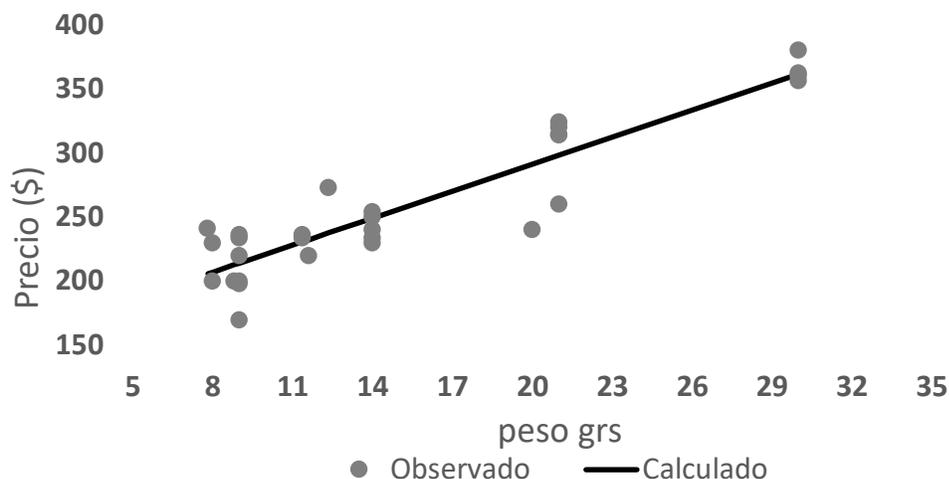
Como se mencionó previamente la función de ingresos del submodelo económico considera la variación de precios de venta al consumidor en función de la talla y de la estacionalidad. En la figura 10 se muestra la desviación del precio mensual con respecto al promedio anual para el camarón mediano sin cabeza.



**Figura 10.** Índice de variación en precios por mes, donde se muestra la desviación del precio mensual en términos porcentuales con respecto al promedio anual para el camarón mediano sin cabeza.

El mercado de camarón en México se concentra en 7 productos principales: camarón pacotilla, camarón chico con o sin cabeza, camarón mediano con o sin cabeza y camarón grande con o sin cabeza. En el caso del camarón cultivado, por lo general se comercializa chico y mediano con cabeza, es decir, no se le da valor agregado precocinándolo o descabezándolo (Estrada, 2016), esto contrasta con el modelo de negocio de la unidad de producción modelada, ya que comercializa el producto sin cabeza directamente al consumidor final. Tomando en cuenta el peso de la diferentes

presentaciones de camarón y su precio es claro que existe una relación lineal entre estas variables, por lo que es posible estimar el precio de venta en función de la talla (Figura 11).



**Figura 11.** Ajuste de regresión lineal (línea negra) con respecto al precio de comercialización en función del peso (g) individual de los camarones como resultado del estudio de mercado (puntos grises, datos observados).

Para construir la función se realizó un catálogo de costos. Los costos identificados en la operación e inversión de la unidad productiva se presentan en la tabla III.

**Tabla III** Valores correspondientes a cada uno de egresos identificados para desarrollar la función de costos.

Parámetro	Valor
Costo unitario de Postlarva (\$/millar)	0.087
Alimento balanceado (\$/kg)	23.10
Costo de energía Eléctrica (\$·kw/h)	35.20
Mantenimiento (%)	2.7
Costo de cosecha por estanque (\$·kg/camarón)	1,000
Costo de nómina y combustible	2,272.05
Costo de descabezado y congelamiento (\$·kg)	10.0
Depreciación de la inversión (años)	822.19
Merma descabezado (%)	34

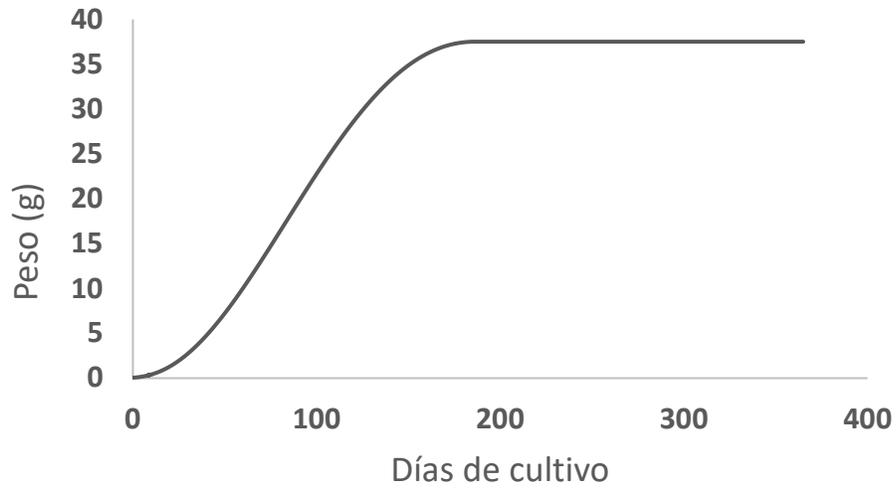
### 6.2.5. Evaluación de diferentes escenarios de producción mediante la simulación

De acuerdo con Zagorodny *et al.* (1993), uno de los principales objetivos del análisis bioeconómico es el de determinar en qué condiciones del sistema se maximiza la rentabilidad. La simulación permite examinar el comportamiento dinámico de los costos e ingresos, permitiendo visualizar y elegir escenarios de producción que maximicen la rentabilidad en el cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad, por lo que con este propósito se realizó el siguiente análisis:

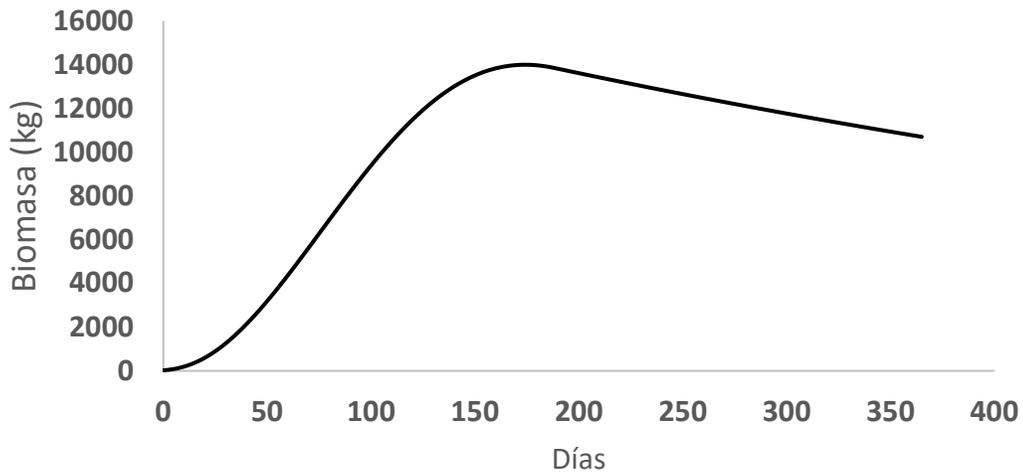
*Optimización del peso (g) y el tiempo óptimo de cosecha (t) en el cual se maximiza la rentabilidad*

Se realizó un análisis para estimar el peso (g) y el tiempo óptimo de cosecha (t) en el cual se maximiza la rentabilidad en 12 estanques de 16 metros de diámetro con una densidad de siembra 200 camarones/m<sup>2</sup>, tomando como variables de decisión el peso de siembra 0.05 g, la, la fecha de siembra 30 de abril de 2019 y una supervivencia esperada de 80%. Es pertinente resaltar que esta supervivencia es un valor esperado para la industria y fue fijado arbitrariamente modificando el parámetro Z ya que las supervivencias observadas en los datos de la granja analizada (40%) no son del todo realistas (baja) ya que se adjudica a que la unidad de producción aún está estandarizando sus protocolos de operación y producción.

Como resultado de la simulación se obtuvo que es posible generar un ciclo de cultivo con una rentabilidad de 1.1 millones de pesos cosechando a los 153 días a un peso óptimo de 35.29 g (Figura 12) y cosecha de 13 toneladas (Figura 13) con una supervivencia de 80%.



**Figura 12.** Proyección del crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* en función del tiempo de cultivo



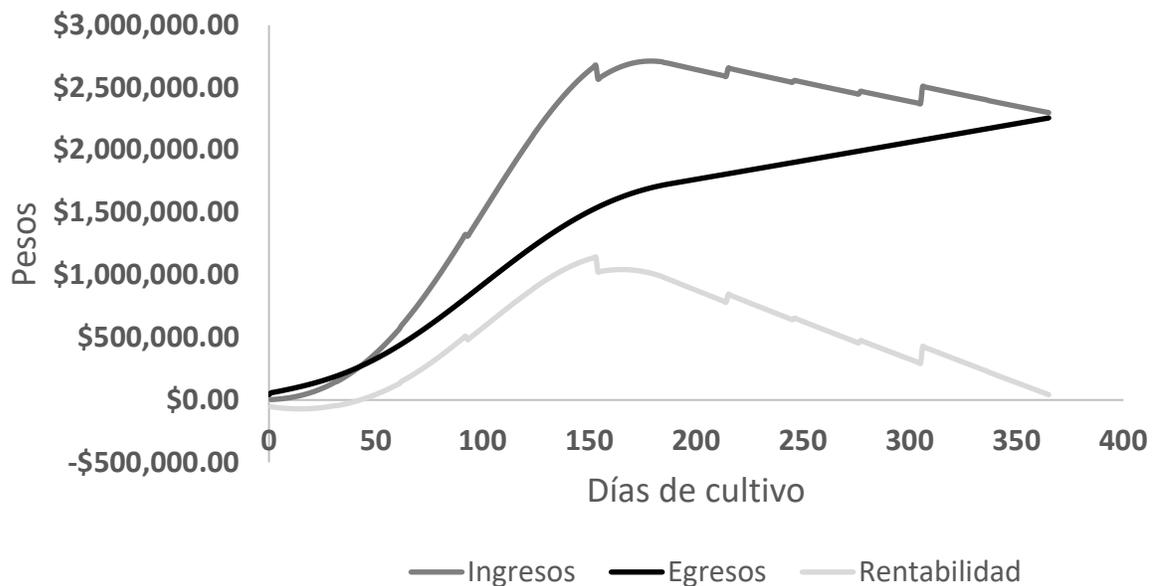
**Figura 13.** Proyección de la Biomasa (Kg) en 12 estanques en función del tiempo de cultivo, considerando una supervivencia de 80%

En cuanto la simulación de la temperatura en los estanques el modelo sugiere un máximo de 34.8°C en agosto y un mínimo de 26.9°C en febrero (Figura 14).



**Figura 14.** Proyección de la temperatura esperada en el agua de los estanques durante el ciclo de cultivo.

Los costos a lo largo de la simulación se acumulan rápidamente ya que durante los primeros 150 días el crecimiento en biomasa es acelerado lo que implica un gasto importante de alimentación posteriormente los costos si bien siguen creciendo lo hacen a una tasa menor. En cuanto los ingresos y la renta, el valor potencial de los camarones en el ciclo comienza a superar los costos alrededor del día 50, a partir de esta fecha la operación en caso de cosechar generaría números positivos, el punto donde se maximiza la renta es a los 153 días, posteriormente si bien los números son positivos la renta se disipa. Cabe destacar que la forma “escalonada” de la curva de ingresos y costos se debe a los cambios mensuales en el precio de venta de camarón estimados a partir del índice de precios (Figura 15).



**Figura 15.** Simulación de las curvas de egresos e ingresos, así como los costos estimados a lo largo de un ciclo de producción sin precosechas.

#### *Modelo de producción con ciclos cortos*

Complementariamente se probó una gestión de la producción basada en una producción continua a lo largo del año que considera 3 ciclos cortos de cuatro meses (siembra #1-1 de enero; siembra #2-1 de mayo, siembra #3-29 de agosto) y precosechas a los 12 g. El resto de los parámetros se mantuvo constante con respecto a la simulación anterior. El volumen de la precosecha se definió como el volumen necesario para garantizar que la densidad del cultivo no sobre pase los 6 kg de biomasa por metro cubico, valor que se definió como capacidad de carga del sistema. Se aumentó la densidad de siembra a 320 camarones m<sup>2</sup>, esto debido a que al ser ciclos cortos donde el peso individual al momento de la cosecha es menor, la biomasa total en el sistema no llega alcanzar niveles críticos (6 kg/m<sup>3</sup>) (Tabla IV).

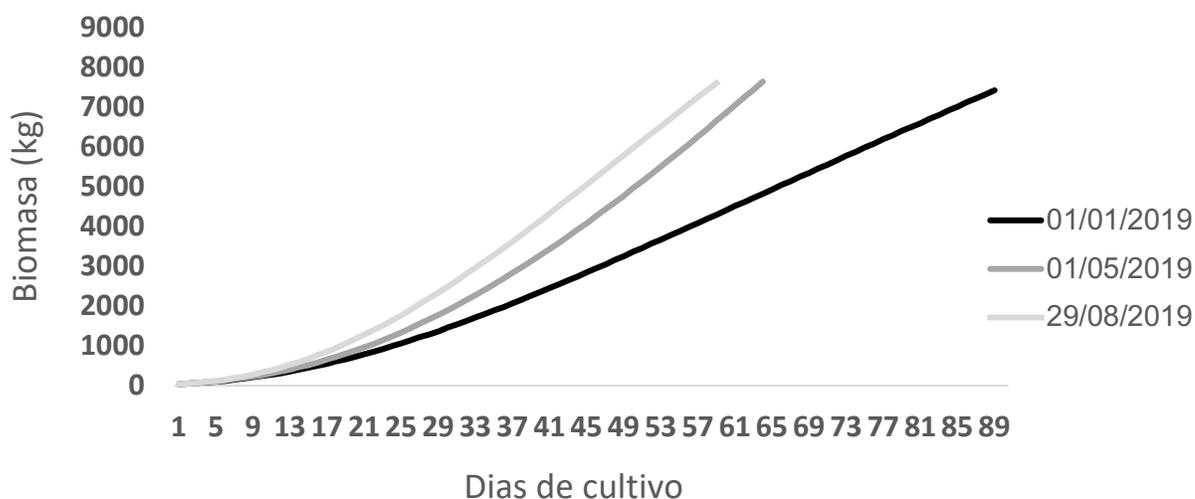
**Tabla IV** Variables de decisión para la simulación del cultivo con tres ciclos anuales cortos.

Variables	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Fechas de siembra	01/01/2019	01/05/2019	29/08/2019
Tiempo de cultivo para cosecha (días)	120	120	120
Peso pre-cosecha (g)	12	12	12
Volumen pre-cosecha (kg)	1,000	3,000	1,000
Peso de siembra (g)	0.05	0.05	0.05
Tamaño del estanque	16	16	16
Cantidad de estanques	12	12	12
Densidad máxima del sistema (kg/m <sup>2</sup> )	6	6	6
Densidad de siembra (camarones/m <sup>2</sup> )	320	320	320

El máximo rendimiento en biomasa acumulada a precosecha (7,639.53 Kg), se obtienen con siembra en la fecha 01/05/2019. Se destaca que el ciclo más largo es el tercer ciclo y cuando puede acumularse mayor biomasa (Figura 16). Se puede interpretar la duración de un ciclo 1, más largo como de invierno que corresponde a la fecha de siembra 01/01/2019 y ciclo 3, más corto como verano con fecha 29/08/2019. Se resalta que esta estrategia puede generar mejor rentabilidad (\$2.2 mdp) que con respecto a un solo ciclo extendido (Tabla V).

**Tabla V.** Resultados de la simulación del manejo de la producción con tres ciclos anuales cortos.

Parámetros de cultivo	Ciclos			Totales
	01/01/2019	01/05/2019	29/08/2019	
Fecha de siembra	01/01/2019	01/05/2019	29/08/2019	
Pre-cosecha (d)	89	64	59	
Biomasa acumulada Kg	7,419.12	7,639.53	7,598.65	
Biomasa de la pre-cosecha sin cabeza (Kg)	660	1980	660	3,300.00
Ingresos en pre-cosecha (MN)	\$133,457.19	\$392,371.23	\$120,986.19	\$646,814.60
Densidad máxima (K/m <sup>2</sup> )	3.80	4.47	4.90	
Factor de conversión alimenticia (FCA)	2.56	3.83	2.97	
Peso del camarón a cosecha final (g)	16.27	28.45	21.95	
Precio por kilogramo de camarón (MN)	\$ 223.79	\$ 267.60	\$ 234.32	
Biomasa cosecha (t)	9,163.54	10,779.41	11,827.04	31,769.99
Ingresos cosecha (MN)	\$1,353,446.41	\$1,903,811.70	\$1,829,080.63	\$5,086,338.75
Costo nomina (MN)	\$ 272,646.58	\$ 272,646.58	\$ 272,646.58	\$ 817,939.73
Costo Alimentación (MN)	419,708.31	716,189.47	635,380.65	1,771,278.44
Costos totales (MN)	968,711.34	1,281,351.16	1,211,018.69	3,461,081.18
Ingresos totales (MN)	\$ 1,486,903.59	\$ 2,296,182.93	\$ 1,950,066.82	\$ 5,733,153.34
Volumen total cosechado (t)	9.823541365	12.7594067	12.4870419	35.06998996
Producción por tanque (Kg)	818.6284471	1063.283891	1040.586825	2922.499163
Renta (MN)	\$ 518,192.26	\$ 1,014,831.77	\$ 739,048.13	\$ 2,272,072.16



**Figura 16.** Proyección de la biomasa (Kg) simulada para un esquema de manejo con precosecha y tres ciclos anuales cortos.

Debido a que los parámetros de peso de siembra 0.05 g, peso de precosecha a los 12.0 g y densidad de 320 camarones por m<sup>2</sup> son los mismos para todas las fechas de siembra, la diferencia entre el rendimiento en biomasa acumulada se puede asociar a los efectos de la temperatura, ya que las fechas de siembra dentro del periodo de primavera-verano son más óptimas para el crecimiento del camarón; también pueden asociarse al efecto de la densidad, ya que la fecha en la que se tiene mejor rendimiento en biomasa acumulada a precosecha presenta la sobrevivencia más baja a cosecha final y el porcentaje de biomasa a precosechar también fue mayor (Tabla V; Figura 16).

Los ingresos en precosecha también son mayores en la fecha 01/05/2019, con \$392,371.23 pesos, esto puede ser debido a que la biomasa precosechada fue mayor y el precio por kilogramo de camarón en esta fecha también es más elevado (Tabla V).

En cuanto al crecimiento, este resulta mejor en la fecha 01/05/2019, siendo de 28.45 g en 120 días, con un incremento semanal de 1.65 g, mientras que en la fecha de invierno 01/01/2019 se obtiene un gramaje de 16.27 g, con un incremento semanal de 0.94 g. El Factor de conversión alimenticia (*FCA*) en las tres fechas de siembra resulto alto, 3.12 en promedio, siendo la fecha 01/05/2019 la que obtiene el mayor valor 3.83. En cuanto a la sobrevivencia esta se considera favorable, mayor o igual a 70% con excepción de la que se obtiene en la fecha 01/05/2019 con un 49%, que se estima baja (Tabla V).

Los ingresos totales, así como la rentabilidad son mayores en la fecha de siembra 01/05/2019 con un 48.93% más renta, respecto a la fecha 01/01/2019 y un 27.17% más respecto a la fecha de verano 29/08/2019.

### *Optimización de la producción de camarón blanco en agua de baja salinidad mediante precosechas*

Con nuevas técnicas y máquinas asequibles hoy en día, la cosecha parcial o precosecha podría convertirse en una vía potencial para utilizar eficientemente la capacidad de crecimiento de los estanques en operaciones de acuicultura con el objetivo eventual de mejorar la rentabilidad (Yu y Leung, 2006). El modelo permite realizar estimaciones de este tipo y explorar esquemas de optimización en el manejo con precosechas, la estimación del tiempo óptimo de cosecha y el límite de la biomasa que puede soportar el sistema con la finalidad de visualizar posibles escenarios para realizar precosechas, lo que permite una planeación y buen manejo del cultivo, así como la administración y optimización de la producción.

En este caso, se simularon 2 ciclos de aproximadamente 6 meses con cuatro precosechas de 3 toneladas, a los 9, 12, 16 y 20 gramos. Los parámetros se mantuvieron constantes con respecto a las otras simulaciones, aunque se redujo la densidad de siembra a 300 camarones por m<sup>2</sup>, valor que garantiza no exceder el límite del sistema con este protocolo de producción (Tabla VI).

**Tabla VI.** Variables de decisión para la simulación del cultivo con pre-cosechas a diferente gramaje.

Variables				
Fechas de siembra	01/01/2019	21/03/2019		
Peso de pre-cosecha (g)	9	12	16	20
Volumen pre-cosecha (K)	3000	3000	3000	3000
Peso de siembra (g)	0.05	0.05	0.05	0.05
Tamaño del estanque	16	16	16	16
Cantidad de estanques	12	12	12	12
Capacidad máxima del sistema (Kg/m <sup>2</sup> )	6	6	6	6
Densidad de siembra (camarones/m <sup>2</sup> )	300	300	300	300

Como resultado de la simulación se obtuvo que la temperatura promedio en el mes de marzo se estima en 29.72°C, con una diferencia de 1.86°C más que la esperada en el mes de enero que será de 27.86°C. En general, las temperaturas que se registran se encuentran dentro de los rangos óptimos para el crecimiento del camarón blanco. Los valores del factor de conversión alimenticia FCA son altos, mientras que la sobrevivencia final del camarón es realista (Tabla VII).

**Tabla VII** Resultados de la simulación del manejo de la producción con precosechas a diferente gramaje.

Parámetros de cultivo	Resultados de simulación de pre-cosechas							
	01/01/2019				21/03/2019			
Fecha de siembra								
Peso del camarón a Pre-cosecha	9.0 g	12.0 g	16.0 g	20.0 g	9.0 g	12.0 g	16.0 g	20.0 g
Pre-cosecha (d)	71	89	113	136	61.0	73	88	102
Biomasa acumulada Kg	5,798.77	6,955.45	9,220.87	11,892.11	5,239.37	7,082.41	9,523.21	11,841.84
Biomasa a precosechar con cabeza (kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3000	3000	3000
Porcentaje de biomasa a cosechar (%)	52	43	33	25	57	42	32	25
Biomasa de la precosecha sin cabeza(kg)	1,980.00	1,980.00	1,980.00	1,980.00	1,980.00	1,980.00	1,980.00	1,980.00
Ingresos en precosecha (MN)	\$373,588.25	\$400,371.56	\$436,837.06	\$469,461.82	\$369,025.29	\$386,199.46	\$421,833.60	\$463,006.06
Densidad máxima (Kg/m <sup>2</sup> )	2.50	4.10	5.30	6.00	3.10	4.70	5.80	6.5
Factor de conversión alimenticia FCR	1.79	2.09	2.44	2.78	1.78	2.08	2.44	2.77
Precio por kilogramo de camarón (MN)	\$188.68	\$202.21	\$220.62	\$237.10	\$186.38	\$195.05	\$213.05	\$233.84
Supervivencia (%)	77%	75%	71%	71%	80%	78%	78%	77%
Biomasa cosecha (t)	3.74	6.65	8.42	9.61	4.84	7.38	9.27	10.36
Ingresos cosecha (MN)	\$1,073,222.39	\$1,962,121.78	\$2,699,042.31	\$3,105,037.07	\$1,441,052.84	\$2,283,326.29	\$2,904,127.44	\$3,258,324.64
Costo nomina (MN)	\$438,506.58	\$481,675.62	\$561,197.53	\$572,557.81	\$374,889.04	\$411,241.92	\$427,146.30	\$433,962.47
Costo Alimentación (MN)	\$477,835.26	\$747,094.79	\$1,079,795.96	\$1,222,402.41	\$602,840.08	\$892,290.92	\$1,104,209.88	\$1,228,262.54
Costos totales (MN)	\$1,217,701.74	\$1,583,170.60	\$2,060,777.12	\$2,237,173.68	\$1,271,151.93	\$1,649,535.45	\$1,912,195.46	\$2,062,149.13
Ingresos totales (MN)	\$1,446,810.64	\$2,210,724.47	\$3,135,879.38	\$3,574,498.88	\$1,810,078.13	\$2,669,525.76	\$3,325,961.04	\$3,721,330.70
Volumen total cosechado (t)	5.72	8.12	10.40	11.59	6.82	9.36	11.25	12.34
Producción por tanque (kg)	476.45	676.25	866.54	965.72	568.25	780.04	937.77	1,028.23
Renta (MN)	<b>\$ 229,114.33</b>	<b>\$ 684,008.18</b>	<b>\$1,075,185.66</b>	<b>\$1,337,448.54</b>	<b>\$539,108.47</b>	<b>\$1,020,040.36</b>	<b>\$1,413,839.37</b>	<b>\$1,659,293.48</b>

La cantidad óptima de biomasa que maximiza las utilidades del sistema es la que se obtiene al estimar el tiempo óptimo de cosecha. Con base en los resultados se deduce que el mejor esquema de manejo de precosecha con siembra 1/01/2019 y 21/03/2019 sería a los 20.0 g, ya que a este gramaje se obtiene la máxima rentabilidad, mientras que la precosecha a 9.0 g sería la que generaría menos rentabilidad para ambas fechas de siembra (Tabla VII).

De manera general se puede observar que el porcentaje de rentabilidad disminuye conforme el peso de precosecha aumenta, la mejor estrategia para maximizar la rentabilidad en la siembra con fecha 01/01/2019, sería la precosecha a los 12.0 g, ya que es a este gramaje que se obtiene el máximo rendimiento de 66.50% respecto a la precosecha a los 9.0 g. La diferencia entre precosechar a los 12.0 g y 16.0 g es de 36.38% mientras que la diferencia entre los 16.0 g y los 20.0 g es de 19.60% estas diferencias se pueden asociar a la variación en el precio por kilogramos de camarón en cada peso g de precosecha, ya que la diferencia entre el precio por kilogramo de camarón precosechado a los 9.0 g y 12.0 g es de \$13.53 pesos más, mientras que la diferencia entre los 12.0 y 16.0 g es de \$18.41 pesos, es en este gramaje que se obtiene mejor precio por kilogramo de camarón, la diferencia entre los 16.0 y 20.0 g es de \$16.48 pesos (Tabla VII).

Respecto a las precosechas con siembra al 21/03/2019, la rentabilidad es menor en comparación con la obtenida con fecha de siembra 01/01/2019. Bajo este esquema de manejo la mejor estrategia para maximizar la rentabilidad sería la precosecha a los 12.0 g, ya que es a este gramaje que se obtiene el máximo rendimiento de 47.14% respecto a la precosecha a los 9.0 g. La diferencia entre precosechar a los 12.0 g y 16.0 g es de 27.85% mientras que la diferencia entre los 16.0 g y los 20.0 g es de 14.79%. Estas diferencias se pueden asociar a la variación en el precio por kilogramo de camarón en cada peso g de precosecha, ya que la diferencia entre el precio por kilogramo de camarón precosechado a los 9.0 g y 12.0 g es de \$8.67 pesos más, mientras que la diferencia entre los 12.0 y 16.0 g es de \$18.00 pesos, y la diferencia entre los 16.0 y 20.0 g es de \$20.79 pesos, siendo en este gramaje que se obtiene mejor precio por kilogramo de camarón; los mejores precios por kilogramo de camarón se obtienen con fecha de siembra 01/01/2019 entre los 16.0 y 20.0 g con precios de

\$220.62 y \$237.10 por kilogramo, de manera general los precios por kilogramo son mejores en esta fecha (Tabla VII).

Comparando el máximo beneficio económico este resulta un 19.39 % más con siembra 01/03/2019 y precosecha a los 20.0 g que lo obtenido en la fecha 01/01/2019 al mismo gramaje (Tabla VII). Los rendimientos pasaron de 476 kg a 568 kg con precosecha a los 9.0 g y fecha de siembra 21/03/2019, obteniéndose un 16.16% más de rendimiento, mientras que el rendimiento esperado con precosecha a los 20.0 g será de 6.08% (Tabla VII).

Con siembras realizadas la fecha 21/03/2019, se observa un aumento gradual de los costos de nómina, con una diferencia porcentual de 13.61% menos costos entre precosechar a los 9.0 g y los 20.0 g; mientras que la diferencia entre costos para la siembra 01/01/2019 y precosecha a los 9.0 g, será de 23.41% menos costos que los de precosecha a los 20.0 g con un incremento también gradual, el porcentaje en los costos de nómina con fecha de siembra 01/01/2019 es mayor debido a que las condiciones ambientales son menos favorables para el óptimo crecimiento del camarón y los ciclos de cultivo son más largos (Tabla VII).

Respecto a los costos de alimentación estos son 50.91% más con siembra realizada la fecha 21/03/2019, y precosecha a los 20.0 g que con precosecha a los 9.0 g, mientras que la diferencia entre costos para la siembra 01/01/2019 y precosecha a los 20.0 g, será de 60.91% más costos que los de precosecha a los 9.0 g con un incremento también gradual, esta diferencia puede ser asociada al Factor de Conversión alimenticia FCA, que es mayor en este gramaje. Con una biomasa a precosechar de 3,000 kg, fue posible manejar la biomasa de cultivo muy cercana de la capacidad de carga del sistema, aprovechando durante un mayor tiempo el potencial productivo del estanque, incrementando la biomasa acumulada (Tabla VII).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación de la producción (Tabla VII), indican que la estrategia productiva de llevar a cabo precosechas, incrementa la

producción y la rentabilidad del cultivo superintensivo de camarón blanco en agua de baja salinidad. En general la renta total de la unidad de producción bajo este esquema de producción continua puede generar una renta de entre 3.3 millones y 4.6 millones (dependiendo de la fecha de siembra) por lo que este sistema de gestión de granja (un ciclo largo con precosechas) es más eficiente que realizar ciclos cortos o un ciclo largo que busque maximizar la talla de la producción (Tabla VII).

## 7. DISCUSIÓN

Como ha sido reportado en la literatura, el cultivo de camarón en aguas de baja salinidad es posible. Esta baja salinidad se ha reportado de hasta 0.5 ppt para cultivo del camarón blanco de la especie *Litopenaeus vannamei*, a distintas densidades (Araneda et al 2008), y en este trabajo se logró desarrollar así mismo este tipo de cultivo en agua de baja salinidad (0.5-5.0 ppt) de camarón blanco, en este caso de la especie *Litopenaeus vannamei* en instalaciones localizadas en el municipio de La Paz en Baja California Sur, México.

En cultivos de camarón en agua de baja salinidad, se ha reportado que el camarón muestra crecimientos y supervivencias adecuados sin embargo se distinguen buenos crecimientos en cultivo de agua de baja salinidad de hasta 2 ppt mientras que en aguas con menor salinidad (0.5 ppt) se considera que las tasas de crecimiento pueden ser menos rápidas por razones asociadas a algún tipo de stress fisiológico del camarón (Van Wyk *et al.*, 2008) sin embargo en el presente estudio con aguas entre 0.5 y 5 ppt, se apreciaron buenos resultados en las tasas de crecimiento.

Representar un sistema productivo, identificando las variables claves y los procesos en los que éstas interaccionan, ayuda a entender de mejor manera cómo es que el sistema se comporta y responde a cambios en las variables relevantes. La acuicultura tiene, en la teoría de sistemas y en la modelación matemática, una herramienta de análisis que permite la construcción de modelos o recreaciones de los sistemas productivos acuícolas que ayudan a explorar distintos escenarios y preguntas técnicas sobre la producción y particularmente, utilizando la bioeconomía acuícola, sobre la rentabilidad de esta actividad productiva, así como esquemas de optimización que permiten identificar la mejor manera de operar del sistema.

En la construcción de este modelo que representa a la realidad de manera abstracta, se identifican los procesos biológicos, tecnológicos, ambientales y económicos que influyen en la producción y renta del sistema. Y en esta representación de los procesos se emplean funciones matemáticas con variables y parámetros que requieren, estos últimos, ser cuantificados a partir de la información o los datos que arroja la operación de la acuicultura, en este caso del camarón en agua de baja salinidad, es decir por medio de métodos cuantitativos estadísticos se determinan estos valores de parámetros que nos ayudarán a aplicar el modelo matemático, sus funciones y estimar resultados del sistema.

En el trabajo aquí presentado se identificó y caracterizó un modelo de producción acuícola de camarón blanco con agua de baja salinidad que en términos generales sigue lo concebido, como modelo bioeconómico acuícola, a lo planteado por otros autores (Cacho, 1997; Araneda y Miranda, 2013; Almendárez-Hernández, 2015).

Tal como se mencionó en la sección correspondiente a métodos, los cálculos de parametrización, ajuste y validación de cada uno de los submodelos que componen el modelo bioeconómico fueron realizados a través de métodos estadísticos de ajuste no lineales, método de mínimos cuadrados y regresión lineal simple y para la validación estadística se utilizó el programa Statistica V.10.

Diversas funciones son comúnmente utilizadas en trabajos de análisis acuícola que consideran al camarón blanco (Hernández-Llamas & Villarreal-Colmenares, 1999; Hernández-Llamas *et al.*, 2004; Hernández-Llamas *et al.*, 2011; Hernández-Llamas *et al.*, 2013; González-Romero *et al.*, 2014; Audelo-Naranjo *et al.*, 2012; Estrada-Pérez Alicia *et al.*, 2016; Hernández-Llamas, 2016 y González-Romero *et al.*, 2018) y lo mismo se desarrolló en el presente análisis que propone distintas funciones en particular para el crecimiento individual, supervivencia, biomasa, ingreso, costos y renta.

Tian *et al.* (1993) estudiaron una serie de funciones, las cuales fueron parametrizadas a partir de información recopilada experimentalmente para camarón. Las ecuaciones evaluadas fueron: Lineal, Polinómica, von Bertalanffy, Gompertz, Logística y Exponencial. Estas ecuaciones incluyen variables tales como la temperatura del agua, densidad de cultivo y edad de los organismos. De las funciones estudiadas por estos autores indican que las mejores en cuanto a “calidad de ajuste”, corresponden a las funciones de von Bertalanffy y Gompertz, las cuales recomiendan para la descripción matemática del crecimiento individual de los camarones.

Hay dos categorías de métodos para seleccionar entre modelos candidatos, los empíricos y los hipotéticos. Entre estos últimos se encuentra el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés). El AIC es un estimador simple, asintótico y no desviado de la distancia Kullback-Leibler desarrollado por Akaike (Burnham & Anderson, 2002). El mejor modelo considera también entre otros criterios, el principio de simplicidad. Esto significa que ante dos modelos que se ajustan igual a los datos, se elige el más simple (menor número de parámetros y menor número de supuestos); el modelo con el menor AIC es el que se debe seleccionar. Al calcular el valor de AIC se establece un equilibrio entre la complejidad del modelo y la bondad de ajuste del modelo; es decir, penaliza a un modelo en proporción al número de parámetros. Esto implica que el modelo seleccionado se caracterizará por asegurar que tiene la complejidad y la bondad de ajuste óptimas Aragón-Noriega (2016).

De acuerdo con Aragón-Noriega (2016), para el camarón blanco el mejor modelo de crecimiento por el valor obtenido de AIC es el modelo de Gompertz, mientras que el menos compatible es el modelo de von Bertalanffy en el caso del camarón blanco. Sin embargo, también menciona y es importante resaltar que solamente se está abordando una parte del ciclo total del camarón, pues tanto en estuarios como en cultivos de menos de seis meses el camarón no ha alcanzado su etapa adulta ni su madurez. Estos resultados contrastan con el obtenido en este análisis ya que el modelo que fue seleccionado por el mejor ajuste con base en el valor de  $R^2$  y AIC para integrar la función del crecimiento fue el modelo de von Bertalanffy con el cual se

obtuvieron resultados significativos ( $p < 0.05$ ), lo que refleja una buena proyección y calidad de ajuste para el crecimiento del camarón blanco en agua de baja salinidad, de igual forma este modelo fue modificado en función del peso para incluir el efecto de la temperatura describiendo y ajustándose de manera aceptable a estos parámetros.

Respecto a los parámetros económicos considerados en este análisis se menciona al precio de venta del camarón como una variable relevante a considerar. De acuerdo con Estrada Pérez (2016), los precios del camarón registran estacionalidad más de la mitad del año, presentando precios bajos entre septiembre y octubre de cada año, debido a que en esa temporada ocurre la captura en las costas del Pacífico, así como también coinciden cosechas de las granjas acuícolas. En contraste se presentan precios altos de febrero a mayo, debido al incremento de la demanda por motivo de cuaresma y semana santa. Lo anterior influye en los precios de venta de camarón de acuicultura de tallas medianas y chicas destinadas al mercado interno. En este trabajo se registró una variación de los precios de \$149.73 a \$325.65 de acuerdo con la presente investigación dado el distinto nivel que alcanza el camarón por su talla por lo que se utilizó este rango para la realización de las simulaciones del sistema de producción de acuerdo con la fecha de cosecha.

La alta sensibilidad de los indicadores económicos al precio de camarón conduce a la necesidad de establecer mecanismos de seguimiento puntual de la evolución de los precios, así como a la construcción de bases de datos adecuadas, que permitan mejorar la toma de decisiones y el manejo de los cultivos, particularmente en lo relativo a los calendarios de siembra y cosecha de los ciclos de producción tal como propone Estrada Pérez (2016).

En la productividad del cultivo de camarones marinos en estanques de producción influyen directamente la densidad de siembra, la duración del cultivo, el manejo de las granjas y el tamaño del camarón a la cosecha entre los ciclos. En la rentabilidad deben considerarse otros aspectos importantes, como los costos de operación y el precio nacional e internacional del producto en el momento de las cosechas parciales y

totales, según el tamaño del camarón de acuerdo con Valverde-Moya & Alfaro-Montoya (2013). El manejo de la engorda de camarón utilizando ciclos de cultivo cortos es una de las estrategias para obtener resultados más favorables y ciclos más rentables. El presente análisis distingue este resultado dada la productividad que se observa en la tabla VII con rendimientos porcentuales medidos en términos de rentabilidad (100%, 299%, 469%, 584% para la primer fecha siembra y 100%, 189%, 262% y 308% para la segunda fecha de siembra) según cosechas a distintos pesos del camarón (9.0, 12.0, 16.0 y 20.0 g respectivamente), considerando enero o marzo como fechas distintas de siembra.

Wijayanto *et al.* (2017) estimaron el tiempo óptimo de cultivo para generar el máximo beneficio en el cultivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, obtuvieron que el tiempo óptimo para producir el máximo beneficio por ciclo es de 159. Los mismos autores recomiendan que los días y el número de ciclos por año que generan ganancias máximas es tres ciclos por año o 112 días por ciclo. Las unidades de producción acuícola obtendrán ganancias después de 60 días y esas ganancias aumentarán significativamente en el día 91 cuando el tamaño del camarón blanco alcanza 20 g. El tiempo óptimo de cultivo es 160 días y las ganancias disminuirán después de más de 160 días. Entre 160 días a 166 días, todavía hay un aumento en los ingresos, pero la cantidad de aumento de ingresos es menor que el aumento en el costo, por lo que la ganancia en realidad disminuye. Por medio de la proyección con el modelo bioeconómico para la optimización del cultivo de camarón blanco en baja salinidad se obtuvieron resultados similares ya que el tiempo óptimo de cosecha se estimó en 153 días. Para la simulación en el escenario con tres ciclos de cultivo la variable de decisión respecto al periodo de cultivo fue de 120 días en los que el modelo refleja una renta positiva.

Ruiz-Velazco (2011) y Hernández-Llamas *et al.*, (2011), reportan en estudios bioeconómicos que existen diferencias importantes en el rendimiento en biomasa asociados con esquemas de manejo para la producción intensiva de *L. vannamei*, encontrando diferencias entre la producción que se obtiene en invierno comparada con

la de verano, donde la estrategia a utilizar sería el manejo de la densidad para aumentar los rendimientos en condiciones más favorables, en este estudio también se reconoce que el crecimiento del camarón se ve favorecido por mayor temperatura y menor salinidad durante los ciclos de verano, en comparación con los ciclos de invierno, encontrando que el peso más alto se obtiene cuando la salinidad disminuye y también se evidencia un efecto positivo en la supervivencia asociado con una mayor temperatura; estas observaciones concuerdan con los resultados obtenidos en este análisis ya que cuando el manejo se proyecta con ciclo corto al periodo de verano, los datos indican un mayor rendimiento en biomasa (K), mientras que para el periodo de invierno y primavera el periodo de cultivo es mayor, en este caso la diferencia está dada por la fecha de siembra.

Los resultados obtenidos por Valdenebro-Ruiz (2009) con la simulación en un modelo bioeconómico indican que el uso de cosechas parciales o precosechas incrementa la producción y la rentabilidad del cultivo semi-intensivo de camarón blanco. Este autor reporto también que la rentabilidad se maximiza al disminuir la tasa de precosecha y al incrementar la duración del ciclo de cultivo, hasta el punto donde el precio del camarón cosechado afecta los ingresos del sistema.

De acuerdo con los resultados obtenidos respecto a los rendimientos en producción y donde se obtienen los mayores beneficios económicos es al realizar la siembra en el mes de Enero, en estas condiciones las temperaturas son óptimas para el cultivo, sin embargo, el cultivo se alarga en promedio una semana entre peso a precosecha comparado con la fecha de siembra en Marzo, lo que se refleja en un mayor porcentaje de costos de nómina, caso contrario los costos de alimentación son menores. Las diferencias en cuanto a la máxima rentabilidad se asocian con la estacionalidad del precio del camarón, ya que, para las fechas analizadas, es en el mes de marzo cuando se presentan mayores precios del camarón en el mercado, mientras que con fecha de siembra en marzo se obtiene ligeramente un mayor rendimiento en biomasa (k) pero los rendimientos económicos son los más bajos ya que el precio del camarón por kilogramo se comercializa más bajo a partir del mes de junio, de lo anterior puede ser

recomendable con el fin de compensar los bajos precios en estas fechas el uso de las densidades de siembra más altas para incrementar los rendimientos en producción con siembras en Marzo para cosecha en Julio, ya que a partir del mes de Agosto el índice de precios es negativo para el Camarón.

Como parte relevante de este trabajo se destaca la utilización de información proveniente de una unidad de producción de camarón en agua de basa salinidad ( $\leq 5$ ppt) a partir de la cual con la modelación del sistema de producción y con la simulación de dicho sistema, se valida la posibilidad rentable de este tipo de actividad en un sentido similar a lo reportado por Araneda (2010).

## **8. CONCLUSIONES**

En este trabajo se validó la rentabilidad potencial de este tipo de actividad de producción de camarón en agua de baja salinidad ( $\leq 5$ ppt) en una unidad de cultivo que puede significar la utilización óptima del agua en zonas agrícolas donde el líquido es escaso.

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que se cumplió con todos los objetivos propuestos para este trabajo de tesis, ya que fue posible desarrollar un modelo bioeconómico para la optimización del cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad en Baja California Sur.

Este análisis aporta al conocimiento de los aspectos bioeconómicos en el cultivo de camarón blanco en agua de baja salinidad ya que integra y modela los principales aspectos biológicos, tecnológicos y económicos considerados al decidir, gestionar y administrar la producción en un sistema de cultivo.

El modelo bioeconómico proyectó de manera eficaz los valores óptimos de producción que maximizan y optimizan la mayor rentabilidad, reflejando lo que ocurre en la engorda de camarón blanco en agua de baja salinidad, además deja abierta la opción de incluir otros parámetros importantes para la mejora en el rendimiento del cultivo, permitiendo una mejor utilidad y eficiencia.

El modelo bioeconómico desarrollado tiene potencial para ser utilizado como herramienta de apoyo para predecir resultados en múltiples escenarios de manejo de la producción de camarón blanco en agua de baja salinidad, lo que le confiere una mayor eficacia y confiabilidad al momento de tomar de decisiones.

## **9. RECOMENDACION**

La selección del lugar es uno de los aspectos más importantes en la ubicación de cualquier granja acuícola y para ello se tienen que considerar un sin número de factores; Baja California Sur, reúne los mejores parámetros para la realización de un cultivo exitoso de camarón blanco en agua de baja salinidad si así se propusiera. Por lo anterior, se recomienda a los diferentes sectores empresarial, gubernamental, educativo y de investigación interesados en el desarrollo acuícola que se realice una mayor colaboración para la generación de oportunidades y apoyo a nuevos emprendimientos que fomenten el desarrollo biotecnológico y económico de la acuicultura en esta modalidad.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera M.E., F. Hernández, E. Mendieta & C. Herrera. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. "Ra Ximhai, Vol. 8, Núm. 3, pp. 71-74.
- Almendárez-Hernández L.C. 2015. La Bioeconomía Acuícola como herramienta para la toma de decisiones empresariales. *ContactoS*, 3(98): 14 - 18.
- Allsopp M., P. Johnston & D. Santillo. 2008. La industria acuícola y de engorde: Un reto de sostenibilidad. Laboratorio de Greenpeace, Universidad de Exeter, Reino Unido. Greenpeace Internacional. Amsterdam. 24 p.
- Aragón-Noriega E.A. 2016. Crecimiento individual de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) y camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) (Decapoda: Penaeidae) con un enfoque multi-modelo. *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora. Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(3): 480-486.
- Araneda M.E. & E. Gasca-Leyva. 2008. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: Condition state based on length and weight. *Aquaculture* 283: 13-18.
- Araneda M.E. & R. Miranda. 2013. Análisis y modelación bio-económica: Una herramienta de gestión para decisiones de producción e inversión en acuicultura. 5 p. [www.aquainnovo.com](http://www.aquainnovo.com).
- Araneda M.E. 2010. Análisis de la producción intensiva del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en agua dulce: enfoque bioeconómico. Tesis de doctorado en ciencias. Universidad Marista. Mérida, Yucatán, México. 170 p.
- Araneda M.E., J.M. Hernández & E. Gasca-Leyva. 2011. Optimal harvesting time of farmed aquatic populations with nonlinear size-heterogeneous growth. *Natural Resource Modelling* 24, 477-513.
- Araneda M.E., J.M. Hernández, E. Gasca-Leyva & Vela M.A. 2013. Growth modelling including size heterogeneity: Application to the intensive culture of white shrimp (*P. vannamei*) in freshwater. *Aquacultural Engineering*, 56, 1-121.

- Araneda M.E., J.M. Hernández, R. Dominguez & M.A. Vela. 2018. Harvest time optimization considering the stocking density and heterogeneity of sizes in the culture of white shrimp in freshwater. *Aquaculture Economics & Management* 22(4):431-457.
- Arzola J.F., L.M. Flores, A. Izabal & Y. Gutiérrez. 2008. Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad. *AquaTIC*, núm. 28 pp. 8-15.
- Arzola J.F., P. Piña, M. Nieves & M. Medina. 2013. Supervivencia de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Rev. MVZ Córdoba* 18(Supl):3618-3625.
- Audelo J. M., D. Voltolina & E. Romero-Beltrán. 2012. Culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) with zero water exchange and no food addition: an eco-friendly approach. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(2): 441-447, 2012.
- Bjorndal T. (1988). Optimal harvesting of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 5, 139–159.
- Briggs M., S. Funge, R. Subasinghe & M. Phillips. 2004. Introductions and Movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. *FAO Fisheries Technical Paper* 476.
- Burgos-Namuche F. 2012. Modelo de programación matemática para la optimización de las utilidades bajo niveles de riesgo en una empresa de cultivo de langostino del Perú. Tesis para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de sistemas. Lima-Perú. 183 p.
- Burnham K.P., & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multi-model inference: a practical information theoretic approach. Springer, Nueva York, 488 p.
- Cacho O.J.1997. System modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*; 1: 45-64.
- Estrada-Pérez A., J.M.J. Ruiz-Velazco, A. Hernández-Llamas, I. Zavala-Leala & L. Martínez-Cárdenas. Deterministic and stochastic models for analysis of partial harvesting strategies and improvement of intensive commercial production of

- whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquacultural Engineering* 70 (2016) 56–62.
- Estrada-Pérez M. 2016. Modelo bioeconómico de la producción semintensiva de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) Tesis para la obtención del grado de: Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras. Xalisco, Nayarit. 105 p.
- FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 250 p.
- Fierro-Sañudo J.F. 2011. Análisis de factibilidad económica del cultivo integral de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y cultivo hidropónico de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill) utilizando agua de pozo con baja salinidad y baja tasa de recambio. Tesis para obtener el título de Biólogo Acuicultor. Universidad Autónoma de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa. 63 p.
- Godínez-Siordia D.E., M.C. Chávez-Sánchez & S. Gómez-Jiménez. 2011. Acuicultura epicontinental del camarón blanco del pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, núm. 1: 55-62.
- González-Becerril A. 2001. Modelación Bioeconómica de un Sistema de Producción de Camarón *Litopenaeus stylirostris* en Escuinapa, Sinaloa, México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias pecuarias. Tecoman, Colima, México. 68 p.
- González-Romero M. A., J. M. J. Ruiz-Velazco, M. Estrada-Pérez, J. T. Nieto-Navarro, I. Zavala-Leal & A. Hernández-Llamas. 2018. Assessing uncertainty of semi-intensive production of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using partial harvesting programs. *Aquaculture Research*. 2018; 49:953-962.
- González-Romero M., I. Zavala-Leal, J.M.J. Ruiz-Velazco, J.T. Nieto- Navarro & D. Domínguez-Ojeda. 2017. Modelo de producción para el cultivo semi intensivo de camarón *Litopenaneus vannamei* con el esquema de una precosecha. Universidad Autónoma de Nayarit. 15 p.

- González-Romero M.A., A. Hernández-Llamas, J.M.J. Ruiz-Velazco, T.N. Plascencia-Cuevas & J.T. Nieto-Navarro. 2014. Stochastic bio-economic optimization of pond size for intensive commercial production of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 433 (2014) 496-503.
- Hernández-Guerra J.M., M. León-Santana & C.J. León-González. 2003. Optimización dinámica en la gestión del cultivo de dorada en la región mediterránea y canarias. Departamento de Métodos Cuantitativos en Economía y Gestión, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 34 p.
- Hernández-Llamas A. 2016. Stochastic assessment of economic losses associated with hurricane hazard for whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* cultivated in floating cages in northwestern Mexico. *Aquaculture Research*, 2016, 47, 3359–3362.
- Hernández-Llamas A., & H. Villarreal-Colmenares. 1999. TEMA: A software reference to shrimp *Litopenaeus vannamei* farming practices. *Aquaculture Economics & Management*. Volume 3, 1999 - Issue 3.
- Hernández-Llamas A., & M. Zarain-Herzberg. 2011. Bioeconomic modeling and risk analysis of raising shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages in northwestern Mexico: Assessment of hurricane hazard, stochastic variability of shrimp and feed prices, and zootechnical parameters. *Aquaculture* 314 (2011) 261–268.
- Hernández-Llamas A., A. González-Becerril, S. Hernández-Vázquez & S. Escutia-Zuñiga. 2004. Bioeconomic analysis of intensive production of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquaculture Research*, 2004, 35, 103-111.
- Hernández-Llamas A., J. M.J. Ruiz-Velazco & V.M. Gómez-Muñoz. 2013. Economic risk associated with white spot disease and stochastic variability in economic, zootechnical and water quality parameters for intensive production of *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Aquaculture* (2013) 5, 121–131
- Hernández-Llamas A., J. M.J. Ruiz-Velazco & V.M. Gómez-Muñoz. 2011. A stochastic approach for analysis of the influence of white spot disease, zootechnical parameters, water quality, and management factors on the variability of

- production of shrimp *Litopenaeus vannamei* cultivated under intensive commercial conditions. *Aquacultural Engineering* 45 (2011) 66– 73.
- Marcillo-Morla F. 1999. Evaluación de proyectos acuícolas: Aspectos económicos y financieros. Manual de evaluación de proyectos. Centro de educación continua. Jefferson College. 58 p.
- Martínez-Cordoba L.R., M. Martínez & E. Cortez. 2009. Camaronicultura Mexicana y mundial: ¿Actividad sustentable o industria contaminante? *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (3) 181-196.
- McGraw W., D. Davis, D. Teichert-Coddington, D. Rouse. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: Influence of age, salinity endpoint and rate of salinity reduction. *Journal of the World Aquaculture Society.* 33: 78-84.
- Miranda I., J.L. Valles, R. Sánchez & Z. Álvarez. 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. Universidad del Zulia; Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica*, vol. XX, núm. 4. 339-346.
- Mogrovejo-Vera A.E., & D. Reyes-Andrade. 2019: "Proceso de empaque del camarón y su impacto en el costo unitario de producción". Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 15 p. En línea:  
<https://www.eumed.net/rev/oel/2019/04/empaque-camaron-costo.html>.
- Montoya R.A., & M. Velasco. 2001. Shrimp production simulation models, a powerful tool to increase farming efficiency, *The Advocate.*, 32-34.
- Parmenter K.J. 2007. Survival of pacific White shrimp, in low salinity and mixed-ion environments. Thesis Master of Science. Biological Sciences. Clemson University. Carolina del Sur, EUA. 38 p.
- Roy L.A., D. Allen, I. P. Saoud, C.A. Boyd, H.J. Pine & C. E. Boyd. 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. *Reviews in Aquaculture* Vol. 2: 191–208.
- Roy, L. A., D. A. Davis, I. P. Saoud & R.P. Henry. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262: 461- 469.

- Ruíz Velazco Arce, J.M de J. 2011. Modelo Bioeconómico para el análisis de riesgo del cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de grado de Doctor en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz B.C.S. 161 p.
- Sower A., & J. Tomasso. 2006. Production characteristics of *Litopenaeus vannamei* in low-salinity water augmented with mixed salts. *Journal of the World Aquaculture Society*. 37: 214-217.
- Tamayo A. M. 1998. Camarón blanco en agua dulce: una nueva opción. II Simposium Internacional de Acuicultura. Mazatlán, Sinaloa, México. 206-212.
- Tian X., P.S. Leung & E. Hochman, E.1993. Shrimp growth functions and their economic implications, *Aquaculture. Engineering* 12, 81-96.
- Timmons M.B., Ebeling, J.M. & Piedrahita R.H. 2009. *Acuicultura en sistemas de recirculación*, LLC Edición. Ithaca, USA: Cayuga Aqua Ventures, 959 p.
- Torres-Mesa A.C., M.O Tovar, H. Hurtado & E. Gómez. 2015. Excreción de nitrógeno amoniacal total a diferentes densidades de siembra de *Cyprinus carpio* en condiciones de laboratorio Orinoquia - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Vol. 19 - No 1.
- Valdenebro-Ruíz O. (2009) Simulación Bio-económica: herramienta de la tecnología de la información para la competitividad de las granjas camaroneras de México. Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Ciencias Agropecuarias y Veterinaria. Cd. Obregón Sonora, México. 20 p.
- Valenzuela W., G. Rodríguez & H. Esparza. 2010. Cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en agua de pozo de baja salinidad como alternativa acuícola para zonas de alta marginación. *Ra Ximbai* 6(1):1-8
- Van Wyk P., Davis-Hodgkins M, Laramore C.R, Main K.L, Mountain J, Scarpa J. 1999. Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems. FDACS contract M520. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, Florida, USA. 229 p.

- Wijayanto D., D.B. Nursanto, F. Kurohman & R. Nugroho. 2017. Profit maximization of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) intensive culture in Situbondo Regency, Indonesia. Faculty of Fisheries and Marine Science, Diponegoro University, Semarang City, Indonesia. AACL Bioflux, 10:1436-1444.
- Yu R., & P. Leung. 2006. Optimal partial harvesting schedule for aquaculture operations. Marine Resource Economics, 21: 301-315.
- Yu R., P. Leung & P.K Bienfang. 2009. Modeling partial harvesting in intensive shrimp culture: A network-flow approach. European Journal of Operational Research 193(1):262-271.
- Zagorodny A., A. Sviridov & V. Chmelnitsky.1993. Mathematical Modelling of the fish rearing in closed water systems. From discovery to commercialization. Carrillo, M. Dahle, L. Morales, J. Sorgeloos, P. Svennevig, N. Wyban, J. Eds. Oostende Belgium European aquaculture soc. no. 19. 286.

## 11. ANEXOS