



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Estadística Aplicada

**MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL
CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN
SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE**

Lic. Carlos Humberto Mazariegos Ortíz
Asesorado por Msc. Luis Francisco Franco Cabrera

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL
CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN
SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LIC. CARLOS HUMBERTO MAZARIEGOS ORTÍZ

ASESORADO POR MSC. LUIS FRANCISCO FRANCO CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ESTADÍSTICA APLICADA

GUATEMALA, MARZO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Adonai Navas García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 3 de junio de 2017.

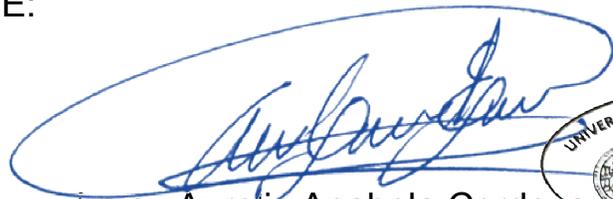


Lic. Carlos Humberto Mazariegos Ortiz

LNG.DECANATO.OI.122.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, Penaeus vannamei EN UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE**, presentado por: **Carlos Humberto Mazariegos Ortiz**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Estadística aplicada después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, febrero de 2022

LNG.EEP.OI.122.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL
CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN
UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE”**

presentado por **Carlos Humberto Mazariegos Ortíz** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Estadística aplicada** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



Guatemala 11 de octubre 2021.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado **“MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE”** del estudiante **Carlos Humberto Mazariegos Ortíz** quien se identifica con número de carné **200740010** del programa de Maestría en Estadística Aplicada.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


MSc. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
Coordinador
Maestría en Estadística Aplicada
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 10 de octubre de 2021

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

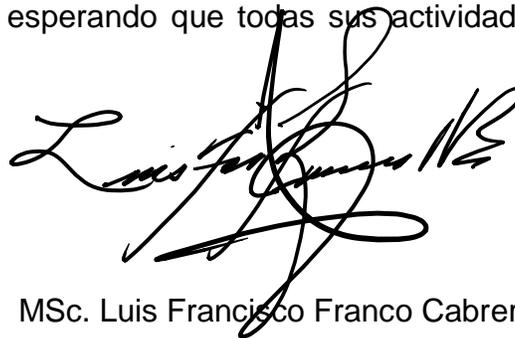
M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio deseo informar que he tenido a la vista el Informe Final de la Tesis del estudiante Carlos Humberto Mazariegos Ortiz, quien se identifica con el Documento Personal de Identificación DPI 2329946921206 y cuyo título del trabajo fue “MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE”. Después de las revisiones correspondientes, el trabajo cuenta con mi **APROBACIÓN**.

Además, he tenido a la vista el artículo científico que se titula “MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE APLICADO AL CRECIMIENTO DEL CAMARÓN BLANCO, *Penaeus vannamei* EN UN SISTEMA CON AIREACIÓN CONSTANTE”, el cual cumple con los requisitos de la revista de la Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

Sin más que agregar y esperando que todas sus actividades marchen con éxito, me despido.

Atentamente.



MSc. Luis Francisco Franco Cabrera

Profesor Titular

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la guía espiritual para forjar el camino día a día.
Mis padres	Víctor Manuel Mazariegos y Margarita Ortiz, por ser el apoyo moral.
Mis hermanos	Por sus consejos en aras de seguir buscando el camino del conocimiento.
Mi novia	Por ser paciente en mi proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la fuente de conocimiento y formación ideológica.
Facultad de Ingeniería	Por brindar programas de formación de educación superior de alta calidad.
Compañeros de la maestría	Por el aprendizaje en las áreas que se desempeñan.
MSc. Luis Franco	Por ayudarme en el camino de la Tesis y apoyarme con su experiencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Diseño de experimentos	9
2.1.1. Qué es un experimento	9
2.1.2. Requisitos de un experimento	10
2.2. Técnicas estadísticas y sus fundamentos	11
2.2.1. Análisis de correlación y regresión múltiple	11
2.2.2. Colinealidad/Multicolinealidad.....	12
2.2.3. Factor de inflación de la varianza –FIV-	12
2.2.4. Principio de parsimonia	13
2.2.5. Pruebas para validar modelos	13
2.2.5.1. Error estándar de estimación múltiple .	13
2.2.5.2. Análisis de la varianza	14
2.2.5.3. Coeficiente de determinación múltiple .	14
2.2.5.4. Coeficiente de determinación ajustado	15
2.2.5.5. Prueba global del modelo de regresión múltiple	15

	2.2.5.6.	Evaluación de los coeficientes de regresión individuales.....	16
	2.2.6.	Experimentos factoriales	16
	2.2.7.	Experimentos de dos factores	17
	2.2.7.1.	Modelo.....	18
	2.2.7.2.	Gráfico de Pareto	19
	2.2.7.3.	Prueba de Kruskal-Wallis	19
2.3.		Generalidades de los camarones peneidos	21
	2.3.1.	Taxonomía	21
	2.3.2.	Morfología externa	21
	2.3.3.	Alimentación.....	22
	2.3.4.	Engorda de camarones peneidos.....	22
	2.3.5.	Sistema extensivo	22
	2.3.6.	Sistema semi-intensivo	23
	2.3.7.	Sistema intensivo	23
	2.3.8.	Sistema biofloc	24
2.4.		Variables de calidad del agua	25
	2.4.1.	Temperatura.....	25
	2.4.2.	Salinidad.....	25
	2.4.3.	Oxígeno disuelto	26
	2.4.4.	Amonio	26
	2.4.5.	Aireación	27
3.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	29
	3.1.	Resumen de variables zootécnicas.....	29
	3.2.	Análisis de regresión múltiple.....	30
	3.2.1.	Colinealidad/multicolinealidad	30
	3.2.2.	Análisis de la varianza.....	32

3.2.3.	Modelos de regresión lineal múltiple para el crecimiento del camarón blanco	36
3.3.	Análisis factorial.....	38
3.3.1.	Análisis de la varianza para el diseño factorial	39
3.3.2.	Proyección del modelo factorial	42
3.4.	Análisis de sobrevivencia	45
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1.	Análisis de regresión múltiple	53
4.1.1.	Escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad	53
4.1.2.	Escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad	54
4.1.3.	Escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad	56
4.1.4.	Escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad	57
4.2.	Análisis factorial.....	60
4.3.	Sobrevivencia	63
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	REFERENCIAS	71
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Importancia de los coeficientes estandarizados por cada modelo.	34
2.	Intervalos de predicción del peso (g) para cada modelo.	35
3.	Análisis de Pareto para el factor salinidad y densidad, para camarones cultivados en un sistema con aireación constante.....	42
4.	Efectos principales para el peso (g) de camarones en un sistema con aireación constante sin efecto de la productividad primaria	43
5.	Efecto de la interacción salinidad-densidad para camarones cultivados con aireación constante sin efecto de la productividad primaria.	44
6.	Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante sin productividad primaria durante el periodo de estudio para los tratamientos a y b.....	47
7.	Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante sin productividad primaria durante el periodo de estudio para los tratamientos c y d.....	48

TABLAS

I.	Descomposición del análisis de la varianza	14
II.	Modelo factorial tipo dos por dos	17
III.	Análisis de varianza para el experimento de dos factores	19
IV.	Resumen del crecimiento semanal en términos de peso (g) de los camarones	29

V.	Resumen de los estadísticos de multicolinealidad.....	31
VI.	Variables finales para el modelo respecto cada escenario	32
VII.	Análisis de la varianza por cada modelo respecto cada escenario.....	32
VIII.	Parámetros de los modelos de regresión lineal múltiple para el crecimiento del camarón marino	37
IX.	Resumen de los modelos de regresión lineal múltiple aplicados al crecimiento del camarón marino	38
X.	Diseño factorial para la media de peso de camarones cultivados en un sistema con aireación constante.....	39
XI.	Estadísticos del diseño factorial para la media del peso de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante.	40
XII.	Coeficientes del diseño factorial para el peso de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante.....	41
XIII.	Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante.	45
XIV.	Sobrevivencia de camarones por tratamientos respecto al tiempo del experimento.....	49
XV.	Estadísticos de la prueba de <i>Kruskal-Wallis</i> , para la sobrevivencia de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R^2_{ajust}	Coefficiente de determinación ajustado
R^2	Coefficiente de determinación múltiple
\hat{Y}	Ecuación general de la regresión múltiple
S_y	Error estándar de regresión múltiple
H	Estadístico de la prueba de <i>Kruskal-Wallis</i>
μ_{ij}	Estimación de la media del modelo factorial
H_1	Hipótesis alterna
H_0	Hipótesis nula
Ppt	Partes por mil
Ppm	Partes por millón
F	Prueba de <i>Fischer</i> para el coeficiente R^2
g	gramos
t	Prueba <i>t-student</i> para los coeficientes individuales
Ck	Valor crítico de los rangos de <i>Kruskal-Wallis</i>

GLOSARIO

Aireación	Medio mecánico para facilitar la difusión de oxígeno al agua mediante turbulencia.
Análisis de regresión múltiple	Método estadístico para estimar una variable dependiente utilizando n cantidad de variables independientes.
Blower	Equipo de aireación mecánica utilizado en estanques para mantener niveles de oxígeno estables.
Crecimiento	Proceso biológico de los seres vivos que implica un cambio en tamaño o forma de los organismos.
Diseño factorial	Método estadístico para establecer la influencia de ciertas variables en un experimento.
Experimento	Cualquier tipo de diseño que lleve al estudio de un fenómeno bajo condiciones controladas.
Homeostásis	Propiedad de los organismos vivos que consiste en mantener una condición interna estable en relación a su medio.
<i>Kruskal-Wallis</i>	Prueba no paramétrica que utiliza los rangos para establecer diferencias entre tratamientos.

<i>Litopenaeus vannamei</i>	Especie de camarón marino de mayor cultivo a nivel mundial del orden de los peneidos.
Productividad primaria	Grupo de organismos microscópicos que utilizan la fotosíntesis como energía para crecimiento y reproducción.
Sistema de cultivo	Cualquier tipo de sistema utilizado para la producción de camarón marino.
Sobrevivencia	Total de organismos vivos en un tiempo definido.

RESUMEN

Las técnicas estadísticas son de utilidad para evaluar diferentes fenómenos de la naturaleza. La aplicación de ellas dependerá del objetivo de estudio y del tipo de variables.

En la acuicultura la estadística se ha convertido en una herramienta indispensable, por lo que el objetivo de este estudio fue aplicar tres técnicas estadísticas: regresión lineal múltiple, diseño factorial 2^k y *Kruskal-Wallis*; para el análisis de variables fisicoquímicas del agua (temperatura, oxígeno, amonio y pH), tiempo (duración del experimento) y zootécnicas (peso) de camarones cultivados en un sistema con aireación constante y ausencia de productividad primaria.

El experimento se realizó en la Estación Experimental de Monterrico. Se utilizaron 16 tanques, divididos en cuatro escenarios: a, 8 ppt y 33 camarones; b, 8 ppt y 75 camarones; c, 15 ppt y 33 camarones; d, 15 ppt y 75 camarones. Cada escenario (tratamiento) tuvo cuatro repeticiones. Los parámetros de calidad del agua fueron monitoreados diariamente para el caso de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno (mg/L) y pH; el amonio (mg/L) fue analizado mediante método de espectrofotometría cada semana. El peso (g) de los camarones fue monitoreado semanalmente para establecer el crecimiento (g) o ganancia en peso (g/día).

El mejor resultado en términos de crecimiento fue el escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad donde se observó mayor sobrevivencia. El mejor modelo para explicar el peso de los camarones fue en el que la variable independiente es la temperatura y el tiempo. Estos resultados aportan

información respecto a la importancia de cultivar camarones bajo distintas condiciones de calidad del agua donde cada parámetro tiene un efecto sobre la variable peso, así como también las condiciones experimentales permiten establecer la importancia de mantener la aireación constante en ausencia de productividad primaria.

OBJETIVOS

General

Establecer un modelo estadístico del crecimiento del camarón blanco, *Penaeus vannamei* a dos densidades y dos salinidades diferentes integrando la variación de pH, oxígeno, amonio y temperatura a través de la regresión múltiple.

Específicos

- Evaluar el comportamiento de las variables de calidad del agua con aireación constante, a dos densidades y dos salinidades diferentes, y compararlas con el peso de los camarones mediante regresión múltiple, para obtener un modelo multivariable.
- Evaluar el crecimiento del camarón blanco *P. vannamei*, a dos densidades y dos salinidades diferentes, mediante el análisis de varianza de dos factores para establecer el modelo de mejor ajuste.
- Determinar el efecto en la sobrevivencia de los camarones, sometidos a un experimento con aireación constante a dos densidades y dos salinidades diferentes, mediante pruebas no paramétricas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tuvo como objetivo innovar en el cultivo de camarón utilizando variables físicas y químicas, para evaluar el crecimiento en términos de peso. Además, este trabajo fue diseñado para conocer cómo es el desarrollo de los camarones en un ambiente sin productividad primaria.

Cada una de las preguntas de investigación fue resuelta llevando a cabo la metodología planteada. Estas preguntas responden al problema mediante la presentación de resultados, con diferentes técnicas estadísticas utilizadas en el proceso.

Se planteó establecer un modelo estadístico del crecimiento del camarón marino *P. vannamei*, bajo condiciones de aireación constante a dos diferentes salinidades (8 y 15 ppt), y dos densidades (33 y 75 camarones por tanque). Además, se registró el amonio en forma de nitrógeno, el pH, el oxígeno y la temperatura durante el ensayo. Estos valores se analizaron con un modelo de regresión múltiple, cuyo valor explica el peso tomando en cuenta dichas variables.

Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza de dos factores. Por último, se registró la sobrevivencia/mortalidad durante el período experimental, cuyos valores fueron analizados con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados aportaron conocimiento de la calidad del agua, como clave para entender y resolver problemas asociados al cultivo de camarón en un sistema sin productividad primaria con aireación constante.

Los resultados sugieren que es posible llevar a cabo el cultivo de camarón, en espacios cerrados con ausencia de productividad primaria. Además, se sugiere que una densidad apropiada para pruebas experimentales es de 33 camarones por metro cuadrado, y 15 ppt de salinidad.

El informe contiene la descripción del problema, haciendo énfasis en la importancia de estudiar la relación de las variables de calidad del agua y su efecto en el crecimiento de los camarones. Luego, se hace un análisis del porqué se justifica realizar el ensayo para entender el fenómeno a través de diversos escenarios.

El marco teórico detalla conceptos fundamentales para entender qué y cómo es el cultivo de camarón marino *P. vannamei*, qué son las variables de calidad del agua y su descripción. Además, se hace referencia a los modelos estadísticos que se usarán para analizar los datos que se obtengan del ensayo. Por otra parte, se detallan los objetivos y, finalmente, el marco metodológico en el cual se describen los algoritmos para llevar a cabo la investigación.

1. MARCO REFERENCIAL

Modelar el crecimiento del camarón bajo diferentes escenas en su entorno, permite establecer información acerca del crecimiento. Se realizó varios estudios de modelación en acuicultura, poblaciones, crecimiento, relación entre variables morfológicas, con el objetivo de mejorar los rendimientos en cultivo, o bien, conocer la etología de los organismos, principalmente en países donde la acuicultura avanza vertiginosamente.

Peacon y Pfister (2006), realizaron un estudio sobre el efecto de la competencia en la variación individual de renacuajos de la rana de la madera (*R. sylvatica*), y encontraron un drástico cambio entre la variación del tamaño y la variación entre la competencia. Se indica también que “la relación entre el tamaño y el tamaño medio puede variar grandemente en función de la competencia” (p. 998); este resultado es importante porque permite deducir algunas implicaciones en el cultivo a altas densidades donde la competencia por alimento es evidente y, donde el crecimiento se ve afectado en la medida que la dominancia de algunos organismos genera heterogeneidad de tallas.

También Barbosa, Brugiolo, Carolsfeld y Leitão (2006) en su estudio con alevines de tilapia para evaluar el efecto de la población en la variación del tamaño individual inicial de los organismos. El experimento consistió en introducir 0.5 y 2 peces/L en acuarios de 8 L (litros); los peces fueron pesados al inicio del experimento y a los 8, 16, 22 y 30 días. Los resultados del estudio sugieren que la heterogeneidad del peso de los alevines se ve afectada por la densidad (a mayor densidad mayor heterogeneidad y viceversa).

Otros investigadores como Hurtado, Domínguez y Gasca-Leyva (2013), en su investigación definieron un modelo de población utilizando curvas características estadísticas para evaluar el efecto de la estructura de tallas. Los autores utilizaron los datos de crecimiento de un estudio experimental llevado a cabo en el Cinvestav, donde tilapias fueron alimentadas a saciedad. Se evaluó el modelo Gompertz y Bertalanffy, así como un modelo logístico y de distribución normal para definir cuál se ajustaba mejor para explicar la estructura de tallas. Los autores concluyen que el modelo “depende únicamente de la distribución inicial de tallas y bajo mortalidad constante, lo cual es limitado, tomando en cuenta que los individuos varían la distribución a través del tiempo y dependientes de otros factores” (p. 16).

En este estudio se utilizó un modelo dinámico con parámetros experimentales y supuestos comparados con modelos de crecimiento para organismos vivos (Von Bertalanffy, Gompertz y el modelo logístico); esta investigación aporta datos interesantes de parámetros importantes para realizar la modelación de tallas. A pesar de que la investigación se desarrolló con tilapias, el modelo puede utilizarse como guía para desarrollarlo en camarones bajo otros parámetros o supuestos. También hay estudios donde han trabajado la modelación en moluscos, Pérez (2010), utilizó datos experimentales de Islandia para reinterpretar a través de la ecuación de *von Bertalanffy*, la edad y el crecimiento a cinco temperaturas del abalón rojo *Haliotis rufescens*.

El autor indica que, al modificar el índice estándar de crecimiento a 2.65, se pueden obtener mejores predicciones. En ese contexto, el autor recomienda que los resultados obtenidos en el estudio pueden ser de interés para la acuicultura.

Es importante resaltar que la mayoría de los organismos acuáticos dependen de la temperatura de su medio para balancear su metabolismo; por lo

tanto, este parámetro del agua puede influir en un modelo predictivo de crecimiento.

Asimismo, Fore et al. (2016), realizó una modelación del crecimiento y el comportamiento alimenticio del Salmón del Atlántico (*Salmo salar* L.) en jaulas, para posteriormente validarlo a escala real. Los resultados aportan herramientas para el estudio individual de los salmones cultivados en jaulas; los autores indican que “el peso estimado de los peces en comparación a los pesos observados pueden estimarse confiablemente” (pág. 277); además, hacen referencia a la importancia de la validación del modelo para predecir el crecimiento y la salud de los salmones.

La aplicación de este estudio puede verse más allá de la modelación del comportamiento de los salmones en el consumo del alimento; incluso, demuestra la necesidad de validar los datos a escala real para obtener mayor confiabilidad en las predicciones.

Por otra parte, la modelación del crecimiento de crustáceos, específicamente del orden de los peneidos, ha tomado mayor relevancia en los últimos años. Algunos estudios incluyen modelos aplicables bajo diferentes ambientes; sin embargo, cada uno tiene sus particularidades.

Así, Araneda, Hernández, Gasca-Leyva y Vela (2013), realizaron un estudio para modelar el crecimiento tomando en cuenta la heterogeneidad en un sistema intensivo de camarón blanco (*P. vannamei*).

El experimento constó de seis densidades (90, 130, 180, 230, 280 y 330 camarones por metro cuadrado), donde se registró el peso y, posteriormente, se analizaron las funciones matemáticas de Gompertz, von Bertalanffy y Pütter.

Los resultados sugieren que, bajo esas condiciones experimentales, la ecuación de mejor ajuste para predecir el crecimiento de los camarones es la de Von Bertalanffy, incluso con base en la heterogeneidad y homogeneidad de tallas que se genera debido a factores intrínsecos de competencia por alimento.

Los autores sugieren que el estudio puede ayudar a los productores a identificar la distribución del tamaño de la población en condiciones intensivas.

Estos resultados pueden ser útiles en la manera que se ajuste el crecimiento de los camarones bajo el diseño experimental planteado. Además, los resultados obtenidos por Araneda et al., (2013), pueden usarse para contrastarlos con los que se obtengan del ensayo.

Franco, Ferreira y Nobre (2006), desarrollaron un modelo de crecimiento para camarones peneidos, tomando como base los principios fisiológicos fundamentales: ingestión, asimilación, producción de heces, respiración y reproducción.

En este caso, se trabajó con organismos descongelados y posteriormente se realizó la biometría. Dado que los autores trabajaron el estudio con el objetivo de conocer algunos parámetros fisiológicos importantes en el crecimiento de los peneidos, se indica, además que “puede ser usado en acuicultura en temas de alimentación y manejo de desechos” (p. 275).

Aragón (2016), analizó el crecimiento individual de *P. vannamei* y *L. stylirostris* con un enfoque multi modelo utilizando las ecuaciones de Gompertz, von Bertalanffy y Logístico; los datos corresponden a un cultivo extensivo de camarón cultivado en estanques de tierra.

Este autor ajustó los modelos tomando como base el principio de máxima verosimilitud y sobre los errores de la estimación. Los resultados obtenidos denotan que las dos especies modeladas tienen un crecimiento sigmoideo y el modelo de mejor ajuste fue el de Gompertz.

Estos modelos descritos en este estudio aportan información relevante sobre la importancia de la simulación, utilizando datos experimentales de peso, longitud, variables metabólicas y alimentación; también, en la manera que se pueda incluir parámetros para estimar ya sea el peso a cierto tiempo, o bien, para estimar rendimientos o capacidad de carga de los sistemas, los modelos tienden a ser más exactos y más útiles.

La tendencia actual para el estudio multiparámetros en la acuicultura, conlleva conocer gran parte de las variables del entorno del camarón.

La salinidad juega un rol importante en el desarrollo de los camarones, debido a que su desarrollo evolutivo involucra cuerpos de agua dulce y salada. Araneda, Pérez y Gasca-Leyva (2008), realizaron un experimento para evaluar el estado de condición de la longitud y el peso del camarón marino en agua dulce. Los resultados indican, como es de esperar, un alto coeficiente de correlación entre las variables mencionadas.

Los autores, además, concluyen que el crecimiento del camarón y la sobrevivencia en agua dulce a nivel intensivo es posible. Estos resultados ayudan a concebir la idea de la importancia de incluir este parámetro en los modelos de crecimiento.

Por otra parte, Valdez, Díaz, Re y Sierra (2008), evaluó la fisiología de la energía del camarón blanco *P. vannamei* a tres diferentes salinidades (20, 26 y

32 ups –unidades prácticas de salinidad-); determinaron que “la mayor parte del amonio excretado es producto del catabolismo de aminoácidos obtenidos a través de la dieta” (p. 111), por tanto existe relación entre la excreción de amonio y salinidad, es decir, las mayores concentraciones de amonio producido fue en camarones cultivados en un medio hiperosmótico.

En otro estudio llevado a cabo con *Litopenaeus stylirostris*, Re, Díaz, Sierra y Gómez-Jiménez (2004), evaluaron el consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora en un experimento a diferentes salinidades (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) con 20 organismos en recipientes de 20 L. Según los resultados, la temperatura tuvo un efecto significativo sobre el consumo de oxígeno y no sobre la salinidad.

Sin embargo, la temperatura y la salinidad si tuvieron un efecto significativo sobre la excreción de amonio y sobre la concentración osmótica en la hemolinfa.

En ese sentido, incluir la salinidad entre las variables de calidad del agua que afectan el crecimiento, puede ser de gran relevancia debido a que tiene características inherentes a los camarones y asociaciones físico-químicas con otros parámetros de calidad del agua.

Chen y Chi-Chung (1991) han estudiado la influencia del amonio en el crecimiento de *P. monodon*; el experimento consistió en exponer a los organismos en un medio con solución con cloruro de amonio en la etapa de PL6.

Los camarones fueron alimentados con concentrado tres veces al día basados en un 20 % del peso del cuerpo al día. El crecimiento, peso y longitud fueron registrados dos veces por semana durante 8 semanas.

Los resultados encontrados por estos autores aportan información sobre la sensibilidad de los peneidos a las concentraciones de amonio y su efecto en el crecimiento durante las primeras etapas de desarrollo. Los autores también refieren los problemas, que pueden causar el amonio en el peso y los valores de tolerancia recomendados para esta especie.

Gran parte de las investigaciones mencionadas con anterioridad se usó con modelos dinámicos para simular las variables dependientes. También, el análisis de varianza mediante dos factores es otra herramienta muy común en los estudios ya descritos debido a que se realizó bajo condiciones experimentales con diferentes tratamientos.

Estas investigaciones permiten valorar la relevancia, que tiene el estudio de las variables de calidad del agua y su influencia en el crecimiento en términos de peso.

En la acuicultura y en especial, en la camaronicultura, la calidad del agua es fundamental para el éxito del cultivo.

Modelar el crecimiento mediante los cambios que puedan darse en el entorno acuático, permite predecir problemas o retrasos en el cultivo; además, conduce a establecer relaciones entre el surgimiento de enfermedades en regímenes específicos de calidad del agua.

2. MARCO TEÓRICO

La información que se presenta a continuación sigue un orden sistemático para entender las bases del estudio. Se inicia mencionando aspectos importantes de la estadística como el diseño de experimentos y la teoría estadística. También se hace mención de la biología de los camarones peneidos, y finalmente se definen las variables de calidad del agua mayormente estudiadas en la producción de camarón.

2.1. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es esencial en la comprensión de cuáles son los pasos para desarrollar un experimento. Si bien es cierto, cada experimento tiene su naturaleza, en adelante se enumeran algunos conceptos importantes.

2.1.1. Qué es un experimento

Puede describirse como una acción que se encamina a analizar, observar o medir las consecuencias en ciertos fenómenos. Hernández, Fernández y Baptista (2006), lo describen como “la manipulación intencionalmente de una acción para analizar sus posibles resultados” (pág. 160). Los mismos autores también mencionan que “se manipulan una o más variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables dependientes en una situación de control” (p. 160).

2.1.2. Requisitos de un experimento

Primer requisito: manipulación intencional de una o más variables. Este primer requisito en el diseño experimental, es una guía para establecer cuántas variables independientes se desea manipular para medir el efecto en la variable dependiente. Hernández et al (2006) mencionan que “manipular es sinónimo de hacer variar o asignar distintos valores a la variable independiente” (p. 161).

La variable considerada como independiente debe cumplir tres requisitos: que anteceda a la dependiente, que varíe o sea manipulada y que esta variación pueda controlarse.

Segundo requisito: medir el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente Hernández et al (2006) definen el segundo requisito como aquel que “consiste en medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente” (p. 168).

Para este segundo requisito, el investigador escoge la cantidad de variables independientes y dependientes, tomando en cuenta el grado o grupos por cada variable cuyo análisis estriba en definir si distintos niveles de las variables independientes producen diferentes efectos.

Tercer requisito: validez interna. La validez interna está supeditada estrictamente al control de las variables independientes, para medir el efecto en las dependientes.

El objetivo de este requisito en el diseño de experimentos radica que cuando “hay control, es posible conocer la relación causal” (Hernández et al., 2006; p.

169), y de esa manera poder comprobar la covariación a través de observaciones controladas.

Para lograr la validez interna es necesario cumplir con algunas consideraciones: varios grupos de comparación (dos como mínimo) y equivalencia de los grupos.

2.2. Técnicas estadísticas y sus fundamentos

Las técnicas estadísticas y sus fundamentos deben abordarse antes de iniciar un experimento. Experimentos como los que se llevan a cabo en ciencias biológicas son complejos, es por ello que previo a iniciar hay que conocer algunos conceptos de estadística.

2.2.1. Análisis de correlación y regresión múltiple

A diferencia del análisis de correlación y regresión simple, este procedimiento emplea variables adicionales (denotadas como $X_1, X_2 \dots X_n$) que ayudan a explicar o predecir mejor la variable independiente (Y). Estas variables independientes adicionales permiten algunas consideraciones nuevas. Además, sirve como técnica descriptiva o como técnica de inferencia (Lind, Marchal & Wathe, 2008).

Ecuación general de la regresión múltiple.

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: a es la intersección en el eje Y, o en otras palabras, es el valor estimado de Y cuando $X_k=0$. b_j es la cantidad en qué Y cambia cuando esa X_j

particular aumenta una unidad, con los valores de todas las demás variables independientes mantenidas constantes. El subíndice j únicamente se utiliza para denotar el número de la variable independiente.

2.2.2. Colinealidad/Multicolinealidad

Cuando dos variables independientes están muy fuertemente correlacionadas, la regresión múltiple no puede ser capaz de determinar cuál es la importante. Al suceder esto, se le denomina colinealidad y su diagrama de dispersión es casi una línea recta (Navidi, 2006).

2.2.3. Factor de inflación de la varianza –FIV-

El factor de inflación de la varianza es importante cuando la multicolinealidad está presente en modelos de regresión, donde hay una cantidad de variables regresoras x_j que tienen relación de dependencia fuerte entre ellas. Los coeficientes de regresión son imprecisos cuando la multicolinealidad está presente y es por eso que el factor de inflación de la varianza se vuelve importante, dado que es una medida de la multicolinealidad. La ecuación del FIV se describe a continuación:

$$FIV(\beta_j) = \frac{1}{(1-R_j^2)} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde: R_j^2 es el coeficiente múltiple de determinación que resulta de la regresión de las X_j .

Existen algunas determinantes para establecer la multicolinealidad, uno de esos es cuando el valor del FIV excede de 10, o bien, cuando excede de 4 o 5.

Algunos softwares establecen el valor del FIV según la metodología de cálculo (Montgomery y Runger, 2010).

2.2.4. Principio de parsimonia

Establece que se debe seleccionar el modelo más sencillo que se ajusta de manera adecuada a la estimación de la variable dependiente con las variables independientes más representativas (Berenson y Levine, 1996). Por otra parte, en el tema biológico, el principio de parsimonia hace referencia a que en temas evolutivos, el menor número de sucesos posibles en forma de caracteres tendrá un efecto parsimonioso (Campbell y Reece, 2007). Navidi (2006), indica que “un modelo debe contener el menor número de variables necesario para ajustar los datos” (p. 584).

2.2.5. Pruebas para validar modelos

A continuación se presentan algunas pruebas para validar modelos estadísticos. Para este trabajo se escogieron modelos acorde a cada una de las técnicas estadísticas.

2.2.5.1. Error estándar de estimación múltiple

El error estándar se basa en la comparación de los valores observados con la desviación estándar. Para la estimación se usan las desviaciones elevadas al cuadrado de la recta de regresión (Lind et al., 2008).

$$Sy = \sqrt{\frac{\sum(Y-\hat{Y})^2}{n-(k+1)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

Y = es la observación actual.

\hat{Y} = es el valor estimado calculado de la ecuación de regresión.

n = es el número de observaciones en la muestra.

K = es el número de variables independientes.

2.2.5.2. Análisis de la varianza

El ANOVA separa la variación debido a los tratamientos y la variación debido al error aleatorio. A continuación, se resume la tabla de ANOVA (Lind et al., 2008).

Tabla I. Descomposición del análisis de la varianza

Fuente	GL	SC	CM	F
Regresión	K	SSR*	MSR= SSR/k	MSR*/MSE*
Residuo	n-(k+1)	SSE*	MSE= SSE/(n-(k+1))	
Total	n-1	SST*		

SSR: variación de regresión; SSE: varianza del error; SST: variación total; MSR: regresión media cuadrática; MSE: error cuadrático medio.

Fuente: elaboración propia.

2.2.5.3. Coeficiente de determinación múltiple

Según Lind *et al* (2008), el coeficiente de determinación se define como el porcentaje de variación en la variable dependiente, Y, explicada por el conjunto de variables independientes $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$. Es un valor entre 0 y 1 que no puede adoptar valores negativos y, finalmente se representa con una letra R.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (\text{Ec. 4})$$

2.2.5.4. Coeficiente de determinación ajustado

El coeficiente de determinación ajustado es un estadístico que indica la variabilidad de una variable respecto a la otra. En la regresión múltiple, un mayor número de variables independientes, podría influir en que las predicciones puedan ser más precisas (Lind et al., 2008).

$$R_{ajust}^2 = \frac{\frac{SSE}{n-(k+1)}}{\frac{SST}{n-1}} \quad (\text{Ec. 5})$$

2.2.5.5. Prueba global del modelo de regresión múltiple

Esta prueba toma como supuesto que todas las variables independientes tienen coeficientes de regresión cero. La hipótesis está dada de la siguiente manera:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 = \text{No todas las } \beta_i \text{ son cero}$$

En efecto, cuando la hipótesis nula es verdadera, los coeficientes de regresión son cero y, por ende, no son de utilidad para estimar la variable dependiente.

Para esta prueba se utiliza la distribución F de Fischer, cuyas características radican en que no puede ser negativa, es una distribución continua, sesgada de manera positiva y asintótica.

$$F = \frac{SSR/k}{SSE/[n-(k+1)]} \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde: SSR es la suma de cuadrados de regresión, SSE suma de cuadrados del error, n el número de observaciones y k es el número de variables independientes.

2.2.5.6. Evaluación de los coeficientes de regresión individuales

Es preciso saber si los coeficientes de cada una de las variables independientes son cero. Por ejemplo, si una β lo es, entonces, implica que esta variable no tiene valor para explicar alguna variación de la variable dependiente, entonces podría eliminarse de la ecuación de regresión.

X_1 $H_0: \beta_1=0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$	X_2 $H_0: \beta_2=0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$	X_3 $H_0: \beta_3=0$ $H_1: \beta_1 \neq 0$
--	--	--

$$t = \frac{b_i - 0}{S_{b_i}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde b_i es cualquiera de los coeficientes de regresión, y S_{b_i} , es la desviación estándar del coeficiente de regresión.

Dónde b_i es cualquiera de los coeficientes de regresión, y S_{b_i} , es la desviación estándar del coeficiente de regresión.

2.2.6. Experimentos factoriales

La palabra factor es utilizada para determinar cualquier característica del experimento tal como la temperatura, el tiempo, o la presión, que puede variar de prueba a prueba. Se definen los niveles de un factor, como los valores reales

utilizados en el experimento. Para ambos casos, lo importante es que se pueden establecer los factores que influyen sobre la respuesta y también las interacciones entre las variables en estudio (Lind et al., 2008).

Los experimentos factoriales pueden ser, ya sea completamente aleatorizados, o bloques completamente aleatorizados.

2.2.7. Experimentos de dos factores

En el experimento de dos factores A y B en niveles a y b respectivamente, se analizan las interacciones involucradas mediante pruebas que evalúan la significancia para los factores principales y la relación entre sus niveles. La tabla para el análisis de dos experimentos factoriales se muestra a continuación.

Tabla II. **Modelo factorial tipo dos por dos**

Factor A	Factor B			
	a	b	Total	Media
a	Y_{111}	Y_{121}	$Y_{11.}$	\bar{y}_{11}
	Y_{112}	Y_{122}	$Y_{12.}$	\bar{y}_{12}
	Y_{113}	Y_{123}	$Y_{13.}$	\bar{y}_{13}
	Y_{114}	Y_{124}	$Y_{14.}$	\bar{y}_{14}
b	Y_{211}	Y_{221}	$Y_{21.}$	\bar{y}_{21}
	Y_{212}	Y_{222}	$Y_{22.}$	\bar{y}_{22}
	Y_{213}	Y_{223}	$Y_{23.}$	\bar{y}_{23}
	Y_{214}	Y_{224}	$Y_{24.}$	\bar{y}_{24}
Total	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{..}$	
Medias	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$		$\bar{y}_{..}$

Fuente: Walpole, Myers, Myers y Ye, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, (2007, p. 565).

Debido a que el número de réplicas es igual para cada tratamiento, el diseño puede considerarse balanceado (Navidi, 2006).

2.2.7.1. Modelo

Los modelos en los experimentos factoriales están definidos por ecuaciones que ayudan a comprender cuáles son los efectos y las interacciones entre las variables.

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \epsilon_{ijk}, \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde: ϵ_{ijk} , mide las desviaciones con respecto de la media μ_{ij} , de los valores y_{ijk} observados en la (ij) -ésima celda.

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 9})$$

Entonces: $(\alpha\beta)_{ij}$ denota el efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B; α_i el efecto del i -ésimo nivel del factor A, β_j el efecto del j -ésimo nivel del factor B, y μ la media conjunta.

Hipótesis

$\dots \alpha_\alpha = 0$	$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_\alpha = 0$	$H_1: \text{Al menos una de las } \alpha_i \text{ no es igual a cero}$	$\dots \beta_\beta = 0$	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_\beta = 0$	$H_1: \text{Al menos una de las } \beta_j \text{ no es igual a cero}$	$\dots (\alpha\beta)_{ab} = 0$	$H_0: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ab} = 0$	$H_1: \text{Al menos una de las } (\alpha\beta)_{ij} \text{ no es igual a cero}$
---------------------------	--	--	-------------------------	--	---	--------------------------------	---	--

Tabla III. Análisis de varianza para el experimento de dos factores

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	f calculada
Efecto principal				
A	SSA	a-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{a-1}$	$f_1 = \frac{S_1^2}{S^2}$
B	SSB	b-1	$S_2^2 = \frac{SSB}{b-1}$	$f_2 = \frac{S_2^2}{S^2}$
Interacciones de dos factores				
AB	SS(AB)	(a-1)(b-1)	$S_3^2 = \frac{SS(AB)}{(a-1)(b-1)}$	$f_3 = \frac{S_3^2}{S^2}$
Error	SSE	ab(n-1)	$S^2 = \frac{SSE}{ab(n-1)}$	
Total	SST	abn - 1		

Fuente: Walpole, Myers, Myers y Ye, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, (2007, p. 565).

2.2.7.2. Gráfico de Pareto

El gráfico de Pareto (que debe su nombre al inventor italiano Wilfredo Pareto) es utilizado en el control de calidad de procesos. Permite visualizar la actividad en relación a ciertos factores (Lind et al., 2008). En el análisis factorial, el gráfico de Pareto, muestra cuál de las relaciones estudiadas, presenta diferencia significativa en relación a un parámetro dado.

2.2.7.3. Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de *Kruskal-Wallis* es homóloga al ANOVA, que se utiliza para datos que están en un nivel de intervalo o razón. Sin embargo, esta prueba se denomina no paramétrica, porque sólo requiere datos a nivel ordinal

(clasificados) y no se requieren suposiciones acerca de la forma de las poblaciones. El requisito para aplicar esta prueba estadística es que las muestras seleccionadas deben ser independientes (Lind et al., 2008).

El estadístico de prueba con $k-1$ grados de libertad (k es el número de poblaciones), es:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left[\frac{(\sum R_1^2)}{n_1} + \frac{(\sum R_2^2)}{n_2} + \dots + \frac{(\sum R_k^2)}{n_k} \right] - 3(n+1) \quad (\text{Ec. 10})$$

$(\sum R_k^2)$ son la suma de los rangos de las muestras 1, 2, 3... k .

$n_1, n_2 \dots n_k$ son los tamaños de las muestras 1,2,... k , respectivamente, n es el número combinado de observaciones de todas las muestras.

En el caso del rechazo de la hipótesis nula de esta prueba, el paso lógico es determinar cuáles diferencias son estadísticamente significativas y cuáles se deben a un error de muestreo. Se utilizó la resta de rangos promedio para detectar diferencias significativas en el estudio cuya metodología involucra el análisis de todos los pares posibles.

$$\text{Rango promedio} = \frac{\bar{R}_i}{\sum R_i} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$\text{Diferencias absolutas de las medias de los tratamientos.} \quad \left\{ \begin{array}{l} |\bar{R}_1 - \bar{R}_2| \\ |\bar{R}_1 - \bar{R}_3| \\ |\bar{R}_1 - \bar{R}_4| \\ |\bar{R}_2 - \bar{R}_3| \\ |\bar{R}_2 - \bar{R}_4| \\ |\bar{R}_3 - \bar{R}_4| \end{array} \right.$$

Los valores absolutos de la resta de los rangos promedio, se comparan con un valor crítico, para determinar si difieren significativamente (Webster, 2010) a través de la siguiente ecuación.

$$C_k = \sqrt{X_{\alpha, k-1}^2 \left[\frac{n(n+1)}{12} \right] \left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right]} \quad (\text{Ec. 12})$$

Dónde: $X_{\alpha, k-1}^2$ es el valor chi-cuadrado para probar la hipótesis y n_i son los tamaños de dos muestras en comparación.

2.3. Generalidades de los camarones peneidos

En este apartado se abordan los conceptos más relevantes de los camarones peneidos como base para entender por qué, para qué y cómo se cultivan.

2.3.1. Taxonomía

Taxonómicamente, los camarones se ubican en el *Phylum Artrópoda* por poseer patas articuladas, dentro de la clase Crustácea, porque tienen caparazón externo o exoesqueleto y al orden Decápoda porque tienen cinco pares de anexos para locomoción.

2.3.2. Morfología externa

Se dividen en tres partes: cefalotórax, en cuya región están ubicados las anténulas, antenas, mandíbulas, maxilas, maxilípedos y periópodos; el abdomen, está formado por seis segmentos y seis pares de anexos denominados pleópodos; telson, el cual está formado por los urópodos cuya función asociada con los pleópodos ayudan a la natación de los animales. Por otra parte, el exoesqueleto también presenta diferentes características que son indispensables para la identificación de los camarones, entre ellas las espinas, suturas y surcos (Martínez, 1999).

La familia *Penaeidae*, tiene el cuerpo comprimido, rostro bien desarrollado y comprimido lateralmente y serrado; pedúnculos oculares moderados a muy alargados, anténulas con dos flagelos. La mandíbula presenta una forma incisiva y el palpo con uno o dos artejos cuyos primeros tres pares de anexos son similares (quelados y planos), incrementándose en longitud. El cuarto y quinto par de anexos son simples y bien marcados (Martínez, 1999).

2.3.3. Alimentación

Los diferentes estados de desarrollo de los animales también presentan diferentes tipos de alimentación, así, por ejemplo: en la etapa de nauplio se alimenta del vitelo del huevo; en el estadio de zoea y mysis, el fitoplancton es el principal alimento; por último, como postlarva se alimenta de zooplancton. Pasada estas etapas, los juveniles y adultos tienden a tener hábitos omnívoros. (Martínez, 1999).

2.3.4. Engorda de camarones peneidos

Existen diferentes sistemas de producción para el cultivo de camarón blanco. Estos dependen básicamente de las variables: densidad de siembra, alimento natural y balanceado e implementación de sistemas de aireación mecánica o de inyección.

2.3.5. Sistema extensivo

Este tipo de cultivo, está dado básicamente por la cantidad de organismos que se siembran por metro cuadrado. Y ha sido uno de los más practicados desde los orígenes del mismo. La densidad de siembra varía de país en país. Pero como una generalidad se puede decir que la densidad de siembra está entre 3-8

camarones por metro cuadrado. Este tipo de explotación requiere de poco cuidado, aunque no significa que no se tenga un criterio altamente técnico para su manejo. Se utilizan piensos de baja proteína y se estimula la producción de fitoplancton como fuente de oxígeno y alimento natural (Tay, 2014).

2.3.6. Sistema semi-intensivo

Este sistema tiene densidades de siembra que pueden ir desde 9 a 25 organismos por metro cuadrado. Dependen de piensos con mejor calidad proteica y aún no de aireación mecánica. El oxígeno en estos cultivos es manejado por medio de la estimulación de fitoplancton y recambios periódicos de agua en las piscinas de cultivo. Las exigencias técnicas de este cultivo, son mayores a las del extensivo, porque se tiene que manejar bajo otras premisas. El manejo va a depender de la zona donde se ubique la finca y al mercado que se atienda (Tay, 2014). Martínez (1999) menciona que el cultivo semi intensivo representa más del 90 % de la superficie cultivada y más del 85 % de la producción de camarón cultivado en el mundo.

2.3.7. Sistema intensivo

En promedio se puede indicar que se siembran alrededor de 65 organismos por metro cuadrado; sin embargo, Martínez (1999), indica que para considerar un sistema intensivo, la densidad debe ser mayor a los 25 camarones por metro cuadrado. Este cultivo depende en su totalidad de alimento balanceado de alta calidad proteica y de aireación mecánica durante todo su desarrollo. Los manejos pueden variar, desde cero recambios de agua hasta fertilizaciones periódicas para mantener buenos niveles de oxígeno. Este parámetro es el factor limitante de toda explotación acuícola (Tay, 2014).

2.3.8. Sistema biofloc

El sistema biofloc fue desarrollado bajo el mismo principio que tienen las plantas de tratamiento de aguas negras convencionales, en las que la microbiota crece a partir de las excretas de los organismos cultivados, transformándolas en productos orgánicos de menor complejidad que pueden ser consumidos por otros organismos y reintegrados a las cadenas alimenticias (Avnimelech y Kochba, 2009).

El término biofloc o bioflóculo (en español) se aplica a un compuesto constituido por un 60 a 70 % de materia orgánica, la cual incluye una mezcla heterogénea de microorganismos (hongos, algas, bacterias, protozoarios, y rotíferos) y de 30 a 40 % de materia inorgánica como coloides, polímeros orgánicos, cationes y células muertas. Pueden alcanzar un tamaño de hasta 1000 μm , son de forma irregular, altamente porosos y permeables a los fluidos (Chu y Lee, 2004).

El desarrollo de flóculos microbianos se forma a partir de una alta relación carbono: nitrógeno en el agua, siendo el nitrógeno proveniente del alimento no consumido y de la excreción propia de la especie de cultivo y el carbono de la adición de una fuente externa de carbohidratos, con poco o nulo recambio y alta oxigenación (Avnimelech, 2012; Emerenciano et al., 2013), en los cuales se utilizan dietas con bajo contenido de proteína cruda (Azim y Litle, 2008) o fuentes de carbono externo tales como melaza (caña de azúcar) salvado de arroz, salvado de trigo, entre otros (Emerenciano et al., 2012), lo que permite el crecimiento de una comunidad microbiana, sobretodo de bacterias heterótrofas, que metabolizan los carbohidratos y toman nitrógeno inorgánico (principalmente NH_4), reduciendo sus niveles y mejorando la calidad del agua (Crab et al., 2009).

El desarrollo de los conceptos y aplicaciones referidas han dado origen al abreviado BFT, (del inglés *Bio-Floc Technology*), que además se fundamenta en mantener las condiciones de calidad del agua en relación con la fijación y control del nitrógeno inorgánico tóxico (NH_4 , NH_3 , NO_2 y NO_3), y en generar *in situ*, proteína microbiana aprovechable como alimento por la especie cultivada (Emerenciano et al., 2013).

2.4. Variables de calidad del agua

Dado que se trabajó con animales acuáticos, es necesario comprender qué variables afectan su entorno no sólo desde el punto de vista biológico sino también comercial.

2.4.1. Temperatura

La temperatura es una de las variables físicas de mayor importancia en los procesos biológicos. En la acuicultura, su efecto implica cambios en las características químicas y físicas del agua. Por ejemplo, el oxígeno se ve afectado a diferentes temperaturas; las reacciones son dos veces más rápidas a 30 que a 20 °C (Boyd, 1990).

2.4.2. Salinidad

Se le denomina así a la concentración total de todos los iones disueltos en el agua. Normalmente, esta variable es reportada como partes por mil (1000 miligramos por litro) o partes por millón (1 gramo por litro). Para el estudio se utilizará la expresión partes por mil o ppt por sus siglas en español y que tienden a confundirse con partes por millón.

Los camarones marinos pueden ser cultivados a diferentes salinidades, sin embargo, Boyd (1990) indica que los cultivadores de camarón, en su mayoría, prefieren cultivar entre 20 y 25 partes por mil; en Guatemala, se están cultivando camarones entre 10 y 18 partes por mil.

2.4.3. Oxígeno disuelto

Es una de las variables críticas en la acuicultura ya que la vida en sí depende del oxígeno. La atmósfera contiene 20.95 % de oxígeno y la forma en la que se da el paso del oxígeno atmosférico al agua depende de la presión. Cuando la presión del oxígeno en el aire es mayor a la presión del oxígeno en el agua, la primera conduce el oxígeno al vital líquido hasta igualar la presión cuyo nombre es conocido como el punto de equilibrio (Boyd, 1990).

El oxígeno disuelto es en gran medida producto de la fotosíntesis del fitoplancton durante el día. En la noche, la respiración de los organismos continúa, por tanto, los niveles de oxígeno tienden a declinar y en algunos casos extremos, los organismos mueren por anoxia o hipoxia. Las deficiencias de oxígeno en los estanques están asociadas al surgimiento de enfermedades, por un lado, y por el otro la saturación está asociado al síndrome de burbuja. Por esta razón, los niveles de oxígeno para cada especie son esenciales para mantener en equilibrio el ecosistema (Boyd, 1990).

2.4.4. Amonio

Es el principal producto de desecho nitrogenado excretado por peces y crustáceos. En acuicultura, la acumulación de amonio no es deseable debido a la toxicidad del amonio no ionizado, cuyos niveles pueden ser letales para los animales acuáticos (Boyd y Tucker, 1998).

En los estanques de acuicultura Boyd y Tucker (1998), mencionan que el amonio producido por las especies cultivadas se da por el catabolismo de las proteínas; la combinación del nitrógeno inorgánico en estanques también es una consecuencia de la adición de alimento. Asimismo, los autores también detallan que “la tasa de producción de amoníaco en los cultivos alimentados es proporcional a la tasa de alimentación: en promedio, alrededor de 0,03 kg de amoníaco-nitrógeno se excreta por animal por kilogramo de alimento de alta calidad (25-40 % de proteína cruda) consumido” (p. 131).

La toxicidad del amonio no ionizado, está en relación a la concentración del mismo en la sangre de los animales acuáticos y su medio externo; el amonio libremente se difunde cruzando el epitelio de las branquias, en respuesta al gradiente de concentración que existe entre el amonio en la sangre y el ambiente. El amonio no ionizado aumenta conforme la acidificación, cuyo resultado depende, en sistemas con productividad primaria, de la muerte de microalgas que van al fondo y aumentan la concentración de CO₂. Por otra parte, los niveles letales surgen cuando la concentración del amonio no ionizado del ambiente aumenta y empieza a acumularse en la sangre causando consecuencias fisiológicas e incluso la muerte (Boyd y Tucker, 1998).

2.4.5. Aireación

En la acuicultura hay diferentes equipos utilizados para la aireación de las piscinas en cultivo, sin embargo, en este párrafo se hará énfasis en la aireación a través piedras difusoras mediante blower. En este tipo de aireación el oxígeno es transferido al agua mientras las burbujas ascienden hasta la superficie. Tucker (2005) menciona que la transferencia de oxígeno es mejor a medida que las burbujas son más pequeñas, y cuando son liberadas a más profundidad.

La profundidad es un aspecto importante porque permite crear un período largo de contacto entre la burbuja y el agua. En ese sentido, Tucker (2005) también indica que a medida que el poro sea más fino y la tasa de difusión de aire sea más lenta, la eficiencia en la transferencia de oxígeno al agua será más eficiente.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos, se presentan los siguientes resultados.

Objetivo 1. Evaluar el comportamiento de las variables de calidad del agua con aireación constante a dos densidades y dos salinidades diferentes, y compararlas con el peso de los camarones mediante regresión múltiple para obtener un modelo multivariable.

3.1. Resumen de variables zootécnicas

El crecimiento en términos de peso (g), es la variable zootécnica para medir el desarrollo de los camarones. En condiciones óptimas el camarón tiende a crecer un gramo semanal; sin embargo, en condiciones experimentales puede variar debido a diferentes factores a las que son sometidos.

Tabla IV. **Resumen del crecimiento semanal en términos de peso (g) de los camarones**

Semana	a	b	c	d
1	2.3	2.2	2.2	2.1
2	3.6	3.5	3.1	3.0
3	4.3	4.9	3.8	3.8
4	5.2	6.5	4.6	4.8
5	6.1	7.7	5.3	5.7
6	7.2	8.9	6.2	6.7
7	7.8	10.1	7.2	7.6

Continuación tabla IV.

8	8.8	11.4	7.9	8.5
a: tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b: tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c: tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d: tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.				

Fuente: elaboración propia.

Para evitar dar ventaja a algunos de los tratamientos, se seleccionaron camarones con similar peso. El crecimiento en la segunda semana fue de 1.3 g en el tratamiento a y b, 0.9 g en el tratamiento c y d. En la tercera semana, el crecimiento fue de 1.4 g en el tratamiento b, 0.7 g en el a y c, y 0.8 g en el d.

En la cuarta, quinta y sexta semana, los tratamientos a y b alcanzaron los 7.2 y 8.9 g; 6.2 g y 6.7 g en los tratamientos c y d. Al finalizar el estudio, el tratamiento que alcanzó mayor peso fue el b con 11.4 g y el que menor peso promedio reportó fue el tratamiento d, cuyo valor es similar al tratamiento a, c y d.

3.2. Análisis de regresión múltiple

La regresión múltiple permite evaluar una cantidad adecuada de variables en un experimento, y por tanto, conocer cuáles de las variables son mejores estimadores para la variable dependiente.

3.2.1. Colinealidad/multicolinealidad

El efecto de la multicolinealidad es común en el análisis de regresión múltiple, por esta razón es necesario realizar pruebas que denoten algún patrón entre las variables independientes (correlaciones ver anexo 1), para establecer cuáles de las variables que se están estudiando simplifican un modelo, o bien, cuáles no tienen mayor relevancia. Para este apartado, se utilizó como referencia

el nivel de tolerancia y el factor de inflación de la varianza (FIV) o VIF por sus siglas en inglés, para filtrar el número de variables independientes para cada escenario.

Tabla V. **Resumen de los estadísticos de multicolinealidad**

Escenario	Estadístico	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)
a	Tolerancia	0.007	0.089	0.010	0.633	0.445
	VIF	152.230	11.256	104.529	1.581	2.245
b	Tolerancia	0.008	0.092	0.005	0.010	0.061
	VIF	118.130	10.854	188.115	102.753	16.467
c	Tolerancia	0.015	0.186	0.018	0.051	0.381
	VIF	67.862	5.364	54.894	19.645	2.628
d	Tolerancia	0.041	0.628	0.018	0.030	0.275
	VIF	24.213	1.592	54.141	33.479	3.637

a: tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b: tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c: tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d: tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.

Fuente: elaboración propia.

La tabla VI, presenta los estadísticos relacionados a cada variable independiente. Los resultados señalan en cada escenario que el tiempo tiene un mayor factor de inflación respecto a las otras variables, debido a que el peso aumenta conforme aumenta el tiempo (tabla IV). Sin embargo, al evaluar la tabla de correlaciones, es posible apreciar que el tiempo y el oxígeno están inversamente correlacionados (R^2 0.99), al igual que el tiempo y el pH (R^2 0.99). En ese sentido, se toma este estadístico como criterio para seleccionar las variables que no van dentro del modelo, quedando únicamente las que su factor de inflación no se ve afectado por las otras variables.

Tabla VI. **Variables finales para el modelo respecto cada escenario**

Escenario	Variables	R²	R² ajustado
a	Tiempo y oxígeno	0.9914	0.9885
b	Tiempo y temperatura	0.9975	0.9966
c	Tiempo y oxígeno	0.9959	0.9945
d	Tiempo y pH	0.9945	0.9927
a: tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b: tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c: tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d: tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.			

Fuente: elaboración propia.

El ajuste calculado para cada escenario con las variables que expliquen el crecimiento de los camarones se resume en la tabla VI. Para el escenario a (33 camarones y 8 ppt de salinidad), el tiempo y el oxígeno podrían ser estimadores del peso (en gramos); para el escenario b (33 camarones y 15 ppt), el tiempo y la temperatura podrían ser estimadores del peso; para el escenario c (75 camarones y 8 ppt), el tiempo y el oxígeno podrían ser estimadores del peso; por último, el escenario d (75 camarones y 15 ppt) el tiempo y el pH pueden ser estimadores del peso.

3.2.2. Análisis de la varianza

El análisis de la varianza se utilizó en este experimento para conocer las características de cada modelo y si existían diferencias significativas entre los escenarios.

Tabla VII. **Análisis de la varianza por cada modelo respecto cada escenario**

Escenario	Fuente	GL	SC	CM	F	p-valor
a	Modelo	2	51.51	25.76	345.17	< 0.0001
	Error	6	0.45	0.07		
	Total corregido	8	51.96			

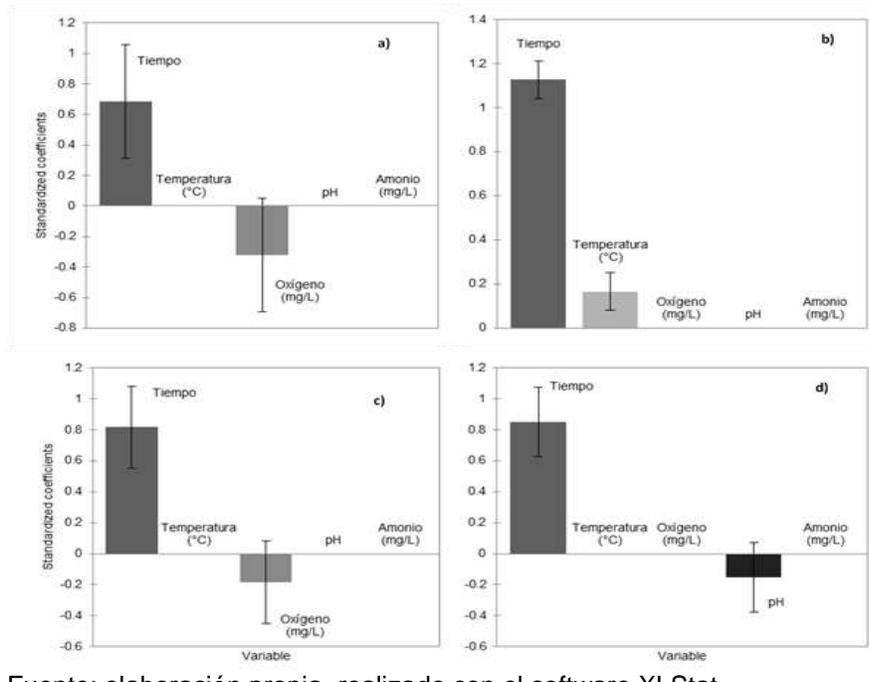
Continuación tabla VII.

b	Modelo	2	101.81	50.90	1182.36	< 0.0001
	Error	6	0.26	0.04		
	Total corregido	8	102.07			
c	Modelo	2	40.49	20.24	722.00	< 0.0001
	Error	6	0.17	0.03		
	Total corregido	8	40.66			
d	Modelo	2	49.69	24.85	546.73	< 0.0001
	Error	6	0.27	0.05		
	Total corregido	8	49.96			
a: tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b: tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c: tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d: tratamiento con 75 camarones y 15 ppt. Fuente: elaboración propia.						

Fuente: elaboración propia.

La tabla VII resume el análisis de la varianza para cada escenario respecto las variables finales. Según los resultados anteriores, al simplificar el número de variables para la estimación del peso, el modelo tiene significancia estadística ($p < 0.0001$) dado que el p-valor es menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$). No obstante, los modelos únicamente incluyen dos variables para la estimación del peso, de las cinco escogidas como determinantes en un cultivo de camarón marino.

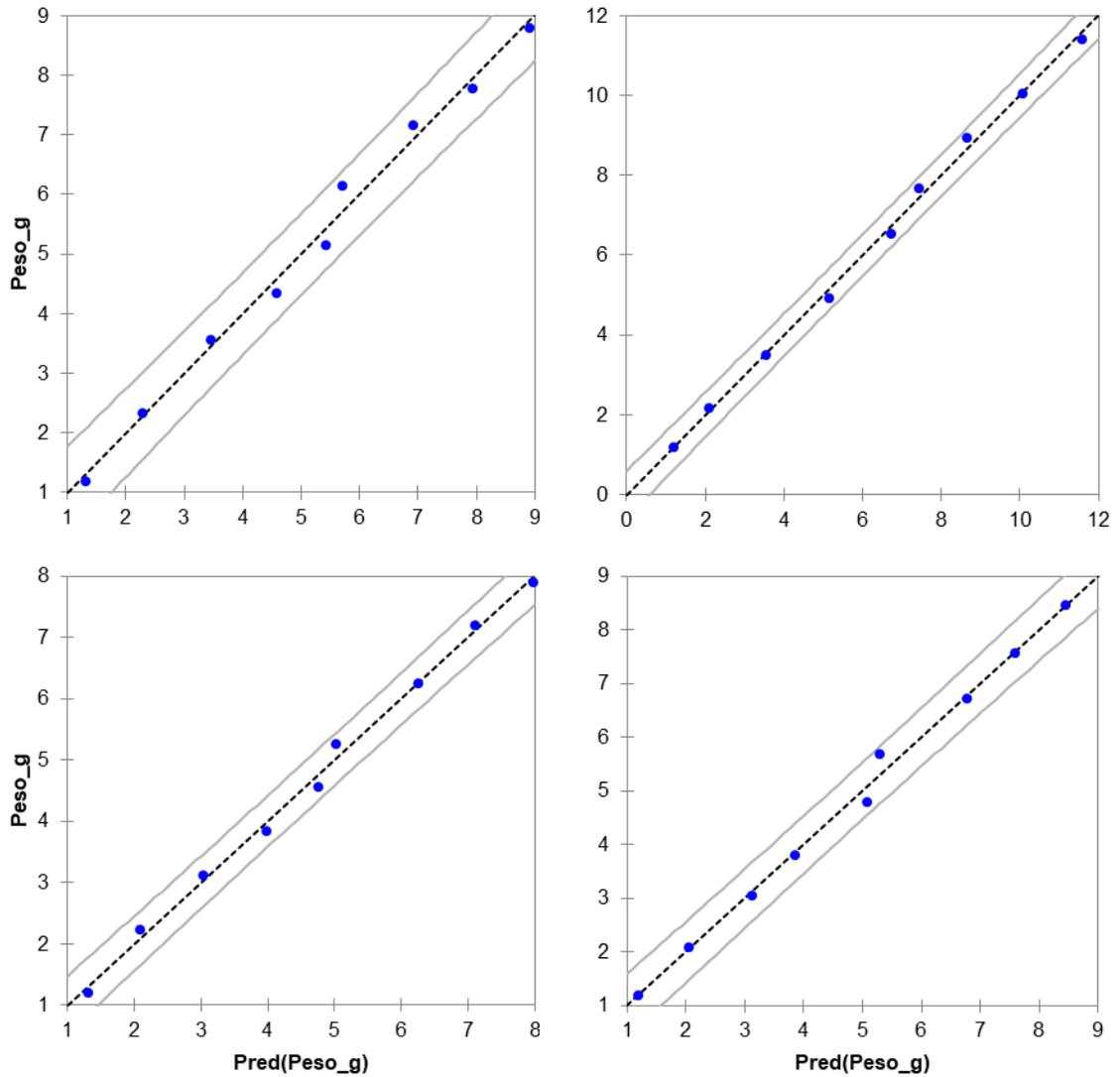
Figura 1. **Importancia de los coeficientes estandarizados por cada modelo**



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

La figura 1, muestra los intervalos de confianza al 95 % para los modelos: superior izquierda, tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; superior derecha, tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; inferior izquierda, tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; inferior derecha, tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.

Figura 2. Intervalos de predicción del peso (g) para cada modelo



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

La figura 2, muestra los intervalos de confianza al 95 % para los modelos: superior izquierda, tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; superior derecha, tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; inferior izquierda, tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; inferior derecha, tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.

En la figura 2 se observan los intervalos de predicción del peso para cada escenario. El escenario b (33 camarones y 15 ppt de salinidad) tiende a ser más preciso respecto a los límites de confianza al 95 % respecto a los otros tres modelos. Los intervalos de predicción están muy cercanos a la recta de ajuste en el escenario b, respecto a los intervalos de los demás escenarios cuyas líneas que representan; dichos intervalos están más separados respecto de la recta, lo cual hace pensar que son menos precisos incluso estando todos los predichos dentro de ambas líneas.

Los coeficientes estandarizados para cada modelo refieren la importancia que tiene cada variable, respecto a las cinco que se estudiaron desde el inicio. Las variables que explican mejor cada modelo están en barras con escala de grises y su respectivo intervalo de confianza al 95 % (figura 1). El tiempo es la variable común en los cuatro escenarios del experimento, por tanto, explica junto al oxígeno, el pH y la temperatura, el crecimiento de los camarones en un sistema con aireación constante sin influencia de la productividad primaria.

3.2.3. Modelos de regresión lineal múltiple para el crecimiento del camarón blanco

Anteriormente se presentaron los resultados de la multicolinealidad, cuya importancia estriba en reducir el número de variables, dada la relación lineal entre las variables explicativas; este procedimiento también coincide con el análisis parsimonioso, cuyo fundamento está basado en el menor número de variables que puedan explicar cierto fenómeno. En ese sentido, el análisis de la varianza simplifica lo obtenido con el análisis de la multicolinealidad, por tanto, los modelos de regresión lineal múltiple para los cuatro escenarios del experimento se resumen en la tabla VI y VII.

Tabla VIII. **Parámetros de los modelos de regresión lineal múltiple para el crecimiento del camarón marino**

Escenario	Fuente	Valor	EE	t	Pr > t	LI (95 %)	LS (95 %)
a	Intercepto	4.56	1.48	3.08	0.02	0.94	8.17
	Tiempo	0.08	0.02	4.49	<0.0001	0.04	0.12
	Oxígeno (mg/L)	-0.43	0.20	-2.10	0.08	-0.92	0.07
b	Intercepto	-33.34	7.21	-4.62	0.00	-51.00	-15.68
	Tiempo	0.19	0.01	32.60	< 0.0001	0.17	0.20
	Temperatura (°C)	1.10	0.23	4.77	0.00	0.53	1.66
c	Intercepto	2.94	0.94	3.11	0.02	0.63	5.25
	Tiempo	0.09	0.01	7.54	<0.0001	0.06	0.11
	Oxígeno (mg/L)	-0.22	0.13	-1.71	0.14	-0.55	0.10
d	Intercepto	16.88	9.35	1.81	0.12	-5.99	39.75
	Tiempo	0.10	0.01	9.30	< 0.0001	0.07	0.12
	pH	-2.15	1.28	-1.68	0.14	-5.29	0.98

a, tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b, tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c, tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d, tratamiento con 75 camarones y 15 ppt. EE, error estándar.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII se resumen los parámetros del modelo con su significancia estadística ($\alpha = 0.05$) y los límites de confianza al 95 %. El escenario a y c, incluyen a la variable tiempo y oxígeno como estimadores del peso; el escenario b, a la temperatura y el escenario d, al pH. Dado que los resultados fueron analizados en XLStat, el software permite incluir algunas variables que no tienen significancia estadística ($p > 0.05$). No obstante, estos resultados pueden cotejarse con la figura 5, donde las ecuaciones del modelo permiten predecir con un buen ajuste el peso de los camarones a través de las variables tiempo, temperatura, oxígeno y pH. En condiciones de cultivo, el oxígeno determina la salud de los animales cuya expresión básica es el crecimiento; el valor de t para este parámetro en el escenario a, fue de -0.43 con intervalos de confianza de -0.92-0.07; y en el escenario c, el valor fue de -0.22 con intervalos de -0.55-0.10.

Tabla IX. **Resumen de los modelos de regresión lineal múltiple aplicados al crecimiento del camarón marino**

Escenario	Modelos	R	R ²
a	$w = 4.56 + 0.08(t) - 0.43(O_2 \text{ mg/L})$	0.9914	0.9885
b	$w = -33.34 + 0.19(t) + 1.10(T \text{ } ^\circ\text{C})$	0.9975	0.9966
c	$w = 2.94 + 0.08(t) - 0.22 (O_2 \text{mg/L})$	0.9959	0.9945
d	$w = 16.88 + 0.09(t) - 2.16(\text{pH})$	0.9945	0.9927

w= peso en gramos, t= tiempo en días, T= temperatura en grados Celcius, O₂= oxígeno en mg/L y pH= potencial de hidrógeno en el agua.
a, tratamiento con 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b, tratamiento con 33 camarones y 15 ppt; c, tratamiento con 75 camarones y 8 ppt; d, tratamiento con 75 camarones y 15 ppt.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la tabla IX resume los modelos para cada escenario. El coeficiente de R y R^2 para el escenario a es de 0.9914 y 0.9885, respectivamente; cuyo valor indica que el peso de los organismos lo explican con un 99 % las variables tiempo y oxígeno para a; tiempo y temperatura para b; tiempo y oxígeno para c y, tiempo y pH para d. Los modelos entonces, debido a la cantidad de variables que se incluyen, son de tipo explicativo y no predictivo.

Objetivo 2. Evaluar el crecimiento del camarón blanco *P. vannamei* a dos densidades y dos salinidades diferentes mediante el análisis de varianza de dos factores para establecer el modelo de mejor ajuste.

3.3. Análisis factorial

El análisis factorial en este experimento permitió evaluar la relación entre las variables dependientes y las independientes. La salinidad y la densidad son variables que explican el crecimiento de los camarones peneidos.

3.3.1. Análisis de la varianza para el diseño factorial

El objetivo del análisis factorial para este experimento, fue evaluar la combinación de densidad y salinidad como determinantes del crecimiento, en términos de peso (en gramos) del camarón blanco *Penaeus vannamei*, en un sistema con aireación constante sin efecto de la productividad primaria. A continuación, se presentan los resultados del análisis factorial para dichas combinaciones.

Tabla X. **Diseño factorial para la media de peso de camarones cultivados en un sistema con aireación constante**

Factor Salinidad	Factor Densidad			
	33	75	Total	Medias
8	8.83	6.09	14.92	7.46
	8.65	7.97	16.62	8.31
	7.67	9.47	17.14	8.57
	10.06	8.04	18.10	9.05
15	11.65	9.47	21.12	10.56
	12.41	8.12	20.53	10.27
	11.34	7.48	18.83	9.41
	10.28	8.78	19.06	9.53
Total	80.90	65.41	146.32	
Medias	10.11	8.18		9.14
Densidad en términos de animales por metro cuadrado y Salinidad en partes por mil (ppt)				

Fuente: elaboración propia.

La tabla X resume la media de peso (en gramos) para cada combinación de salinidad y densidad, del último muestreo de crecimiento de los camarones. Cada nivel constó de cuatro repeticiones para un total de 16 unidades que estuvieron distribuidas aleatoriamente. La media general fue de 9.14 g, superando los 8 gramos que se había propuesto al inicio del experimento. La media de cada

escenario proporciona una estimación del peso de cada población. El diseño factorial, muestra la media del factor densidad y salinidad para cada nivel, con el objeto de encontrar la interacción y las posibles combinaciones de estos.

Tabla XI. **Estadísticos del diseño factorial para la media del peso de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante**

Fuente	GL	SC	CM	valor F	p-valor
Modelo	4	32.76	8.19	9.19	0.02
Covariable					
Sobrevivencia (%)	1	3.4	3.4	3.82	0.077
Efecto principal					
Salinidad	1	1.43	1.43	1.61	0.23
Densidad	1	9.22	9.22	10.35	0.008
Efecto de la interacción					
Salinidad-Densidad	1	4.24	4.24	4.77	0.052
Error	11	9.8	0.89		
Total	15	42.55			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI se muestran los resultados del análisis de la varianza factorial. Dado que el experimento constó de dos factores con dos niveles cada uno y cuatro repeticiones, el diseño está balanceado (tabla XII). Los resultados hacen referencia al peso final de los organismos que fueron introducidos para evaluar el crecimiento.

Dado que los camarones estuvieron sujetos a un ambiente controlado, la sobrevivencia al final del estudio se incluyó como una covariable, es decir, incluso habiendo una marcada diferencia entre el peso de algunos tratamientos, la sobrevivencia pudo tener un efecto en el crecimiento debido a la competencia por alimento y espacio; esta misma variable es difícil de controlar, ya que está sujeta a el estado fisiológico de los animales y a las condiciones de su entorno. El p-valor de la sobrevivencia (0.07) es mayor al nivel de significancia escogido ($\alpha =$

0.05); al igual que la salinidad (0.23) y la interacción entre salinidad-densidad (0.052).

No obstante, habiendo interacciones que no fueron significativas, el modelo si lo fue con un p valor de 0.02 menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

Tabla XII. **Coefficientes del diseño factorial para el peso de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante**

Término	Efecto	Coefficiente	SE coeficiente	T valor	p- valor	VIF
Constante		7.27	0.99	7.35	0.000	
Sobrevivencia (%)		0.04	0.02	1.95	0.077	1.88
Salinidad	0.79	0.4	0.31	1.27	0.231	1.76
Densidad	-1.61	-0.8	0.25	-3.22	0.008	1.12
Salinidad*Densidad	-1.03	-0.52	0.24	-2.18	0.052	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla XII presenta el resumen de los coeficientes que se obtuvieron del análisis de la varianza. Dentro de esta tabla se debe señalar la importancia del p-valor y el valor VIF; el primero denota que hay significancia estadística para el factor densidad ($p < 0.05$), contrario a lo que ocurre con el factor salinidad y la interacción entre ambas. Por otra parte, el factor de inflación de la varianza no supera al valor 2 en cuyo caso se puede concluir que existe moderada colinealidad entre los términos.

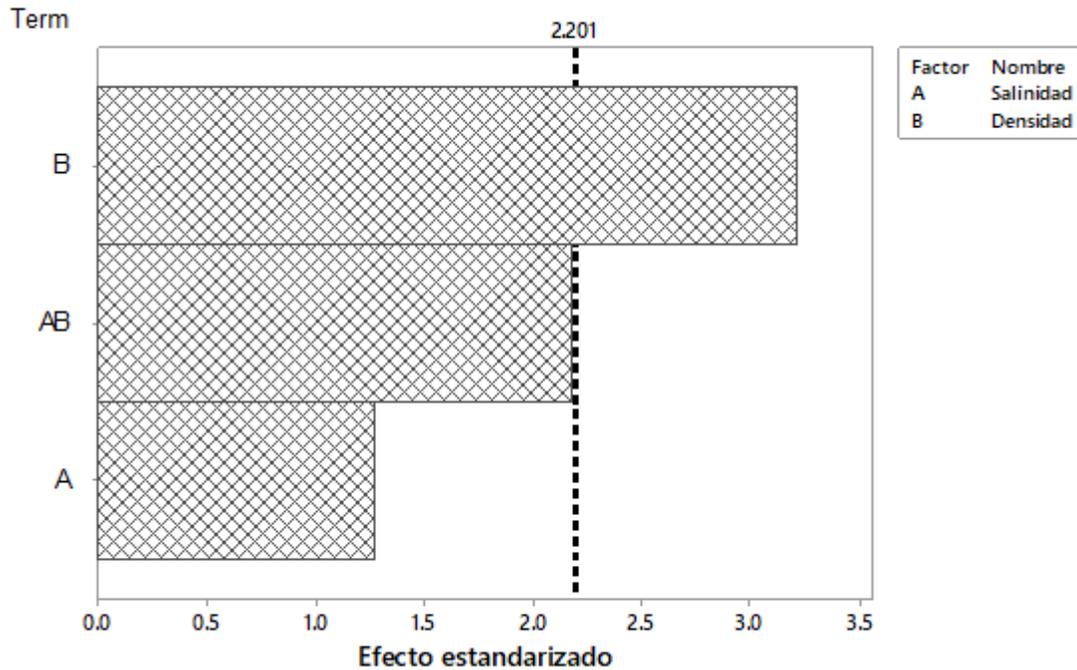
3.3.2. Proyección del modelo factorial

Con los resultados obtenidos en el análisis factorial y a través de los coeficientes que se muestran en la tabla XI el modelo que se obtiene es el siguiente:

$$Peso (g) = 7.27 + 0.0374 (S) + 0.397 (Sal) - 0.805 (D) - 0.515(S * D)$$

Donde S es la covarianza que aporta la sobrevivencia; Sal , es el efecto de la salinidad D , es el efecto de la densidad de animales por metro cuadrado; y $S*D$ es el efecto de la interacción entre salinidad y densidad.

Figura 3. **Análisis de Pareto para el factor salinidad y densidad, para camarones cultivados en un sistema con aireación constante**

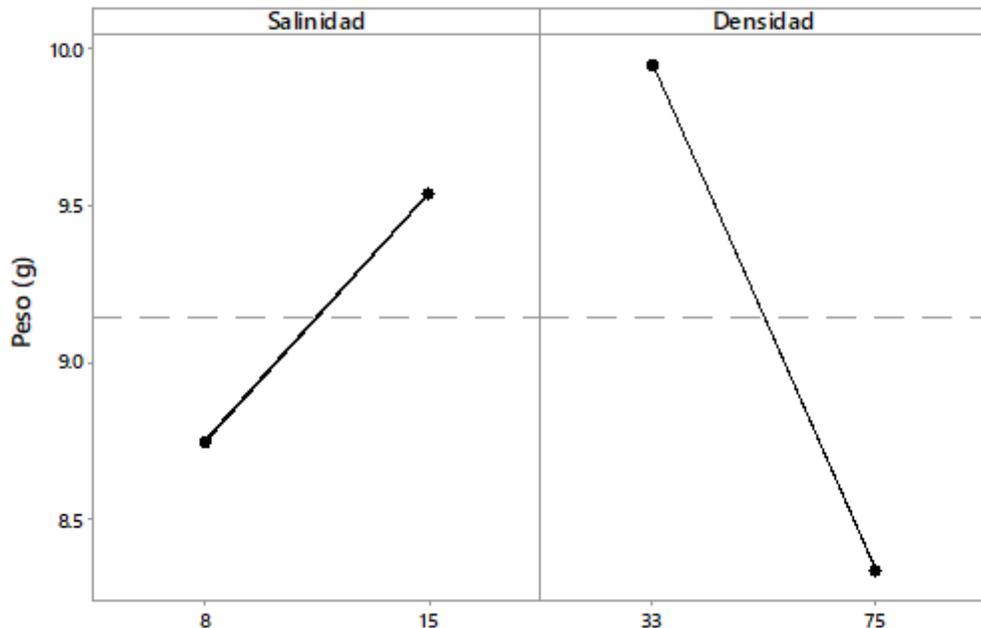


Fuente: elaboración propia, realizado con MiniTab.

El análisis de Pareto que se muestra en la figura 3, considera al factor densidad más importante respecto a los efectos estandarizados. En las figuras siguientes se observa cómo la salinidad y la densidad combinadas entre sí, pueden ser un punto de referencia para comprender el crecimiento de los camarones en un sistema con aireación constante.

La figura 3 coincide con el p valor para la densidad (0.008), cuya cifra es menor al valor de significancia escogido ($\alpha = 0.05$). La relación densidad-salinidad un p-valor de 0.052 cuya representación gráfica en la figura 3, es la línea intermitente vertical cuya cifra coincide con el valor de significancia ($\alpha = 0.05$).

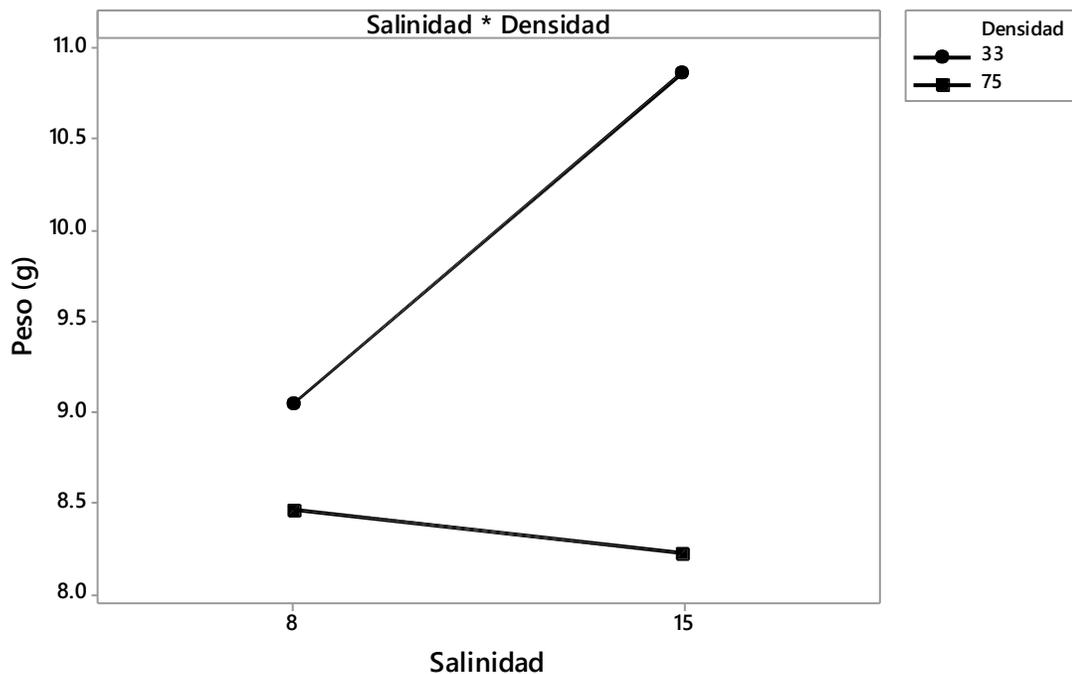
Figura 4. **Efectos principales para el peso (g) de camarones en un sistema con aireación constante sin efecto de la productividad primaria**



Fuente: elaboración propia realizado con MiniTab.

La figura 4 denota los efectos principales del factor salinidad y densidad, en el peso medio al final del experimento. El peso de los camarones al final del estudio (y durante) estuvo supeditado al efecto de la salinidad y la densidad, es decir, a 15 ppt de salinidad y 33 animales, los resultados de crecimiento son más evidentes. Dado que las líneas no son horizontales, existen efectos principales para las variables, de lo cual se puede inferir que el peso analizado bajo los términos de salinidad y densidad son estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$).

Figura 5. **Efecto de la interacción salinidad-densidad para camarones cultivados con aireación constante sin efecto de la productividad primaria**



Fuente: elaboración propia, realizado con MiniTab.

Dada la configuración de la interacción, no existe una relación intrínseca entre ambas ya que no se entrecruzan. No obstante, el valor de peso está en

función de las combinaciones de densidad y salinidad, y las interacciones pueden ser engañosas porque las líneas no son paralelas. En ese sentido, la relación está en función de la configuración de cada factor. La figura 5 muestra la interacción entre el factor salinidad y densidad. Como se mencionó anteriormente, el crecimiento de los camarones fue mayor en los tratamientos que tenían menor densidad (33 animales por metro cuadrado) y mayor salinidad (15 ppt).

Objetivo 3. Determinar el efecto en la sobrevivencia de los camarones sometidos a un experimento con aireación constante a dos densidades y dos salinidades diferentes mediante pruebas no paramétricas.

3.4. Análisis de sobrevivencia

El análisis de sobrevivencia se realizó utilizando la variable discreta n.

Tabla XIII. **Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante**

Tratamiento	Repetición	N_i	N_f	$S = (1 - (\frac{N_i - N_f}{N_i})) * 100$
a	1	33	20	60.61
	2	33	12	36.36
	3	33	15	45.45
	4	33	11	33.33
b	1	33	16	48.48
	2	33	27	81.82
	3	33	25	75.76
	4	33	18	54.55
c	1	75	10	13.33
	2	75	27	36.00
	3	75	40	53.33
	4	75	28	37.33

Continuación tabla XIII.

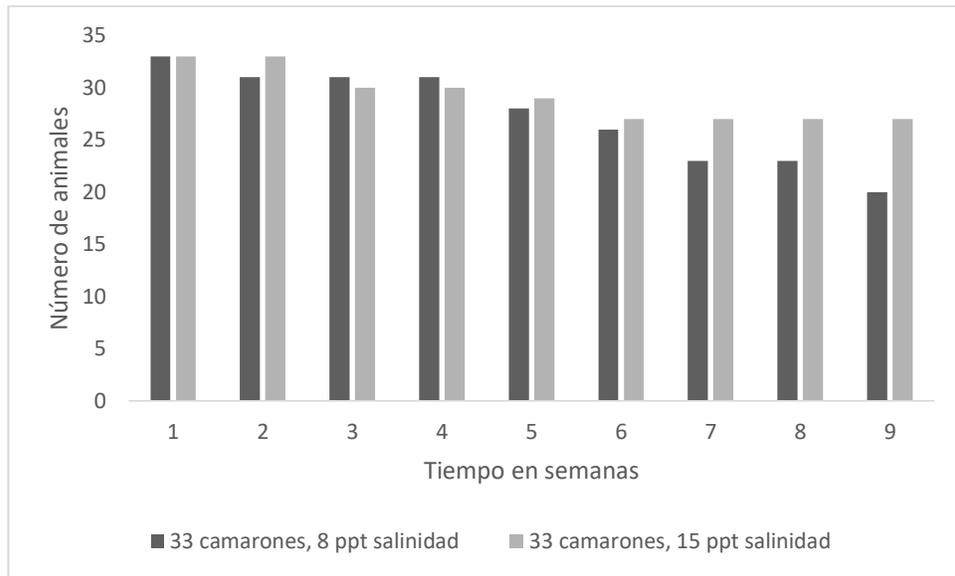
d	1	75	52	69.33
	2	75	32	42.67
	3	75	46	61.33
	4	75	40	53.33
a: 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b, 33 camarones y 15 ppt de salinidad; c: 75 camarones y 8 ppt de salinidad; d: 75 camarones y 15 ppt de salinidad. N_i , población inicial; N_f , población final; S, sobrevivencia.				

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIII muestra los resultados de sobrevivencia a lo largo del período experimental para los cuatro tratamientos. En la figura 6 se resume en forma gráfica la sobrevivencia de los animales conforme las semanas del experimento.

Se inició con 33 animales en ambos tratamientos con 8 y 15 ppt de salinidad; la cantidad de animales que sobrevivieron bajo esas condiciones de cultivo fueron los de 15 ppt de salinidad.

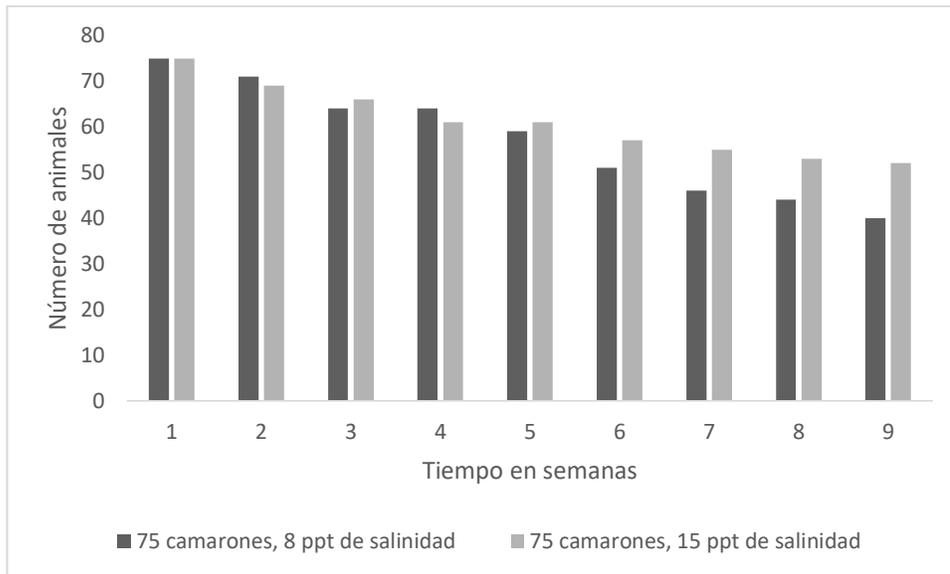
Figura 6. **Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante sin productividad primaria durante el periodo de estudio para los tratamientos a y b**



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

La sobrevivencia en los tanques varió intra y entre tratamientos, incluso los resultados reflejan que la combinación entre menor densidad y mayor salinidad en un sistema de aireación constante tiene mejores resultados (tabla XIII). Sin embargo, la sobrevivencia más alta en la combinación de 75 camarones y 15 ppt fue de 69.33 %. La sobrevivencia más baja fue notable en la combinación con 33 y 75 camarones con 8 ppt de salinidad cuyas cifras alcanzan 33.33 % y 13.33 %, respectivamente. Estos resultados pueden apreciarse en la figura 6 cuya tendencia fue declinando en las cuatro combinaciones.

Figura 7. Sobrevivencia de camarones cultivados con aireación constante sin productividad primaria durante el periodo de estudio para los tratamientos c y d



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

En lo que respecta a los tratamientos c y d con 75 camarones a 8 y 15 ppt de salinidad, la sobrevivencia en número de animales descendió conforme el avance del experimento. En la segunda semana de cultivo de 75 animales introducidos, el tratamiento c tenía 71 animales y el d, 69. A partir de la quinta semana, la cantidad de animales había disminuido en un 32 % para el tratamiento c y 24 % para el tratamiento d. Al final del estudio fue de 40 y 52 para c (75 camarones a 8 ppt) y d (75 camarones a 15 ppt) con una expresión en porcentaje de 53 y 69 %, respectivamente. La influencia de la salinidad en los cuatro escenarios, parece tener un rol importante en la sobrevivencia de los organismos.

Tabla XIV. **Sobrevivencia de camarones por tratamientos respecto al tiempo del experimento**

Tiempo (semanas)	Tratamientos			
	a	b	c	d
1	33	33	75	75
2	31	33	71	69
3	31	30	64	66
4	31	30	64	61
5	28	29	59	61
6	26	27	51	57
7	23	27	46	55
8	23	27	44	53
9	20	27	40	52

a: 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b, 33 camarones y 15 ppt de salinidad; 75 camarones y 8 ppt de salinidad; 75 camarones y 15 ppt de salinidad.

Fuente: elaboración propia.

El análisis de sobrevivencia de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante y cero microalgas, fue planteado con el objeto de conocer cómo reaccionan estos animales a esas condiciones. Dado que el número de animales es una variable discreta, el análisis de Kruskal-Wallis fue seleccionado para evaluar las diferencias entre tratamientos.

El tratamiento con 27 camarones y 15 ppt de salinidad fue el que mayor sobrevivencia presentó dado que de 33 animales introducidos inicialmente, 6 murieron durante todo el período del experimento. Por otra parte, el tratamiento con 75 camarones y 15 ppt, resultó ser el que mayor sobrevivencia presentó de esa combinación. Para el análisis de Kruskal Wallis, fue necesario únicamente tomar como valor representativo la repetición que mayor sobrevivencia presentó de las cuatro, en los cuatro tratamientos (tabla XIV).

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se presentan en la tabla XIV, donde el valor observado ($k=26.59$) supera al valor crítico ($k=7.81$). Las diferencias son estadísticamente significativas dado que el p valor ($p<0.001$) es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). En ese sentido, bajo la hipótesis que la sobrevivencia puede seguir un patrón similar en las combinaciones estudiadas se rechaza y se entiende que existe diferencia en la sobrevivencia de los camarones sometidos a densidad y salinidad diferente.

Tabla XV. **Estadísticos de la prueba de *Kruskal-Wallis*, para la sobrevivencia de los camarones cultivados en un sistema con aireación constante**

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
a	9	20.00	33.00	27.33	4.56
b	9	27.00	33.00	29.22	2.49
c	9	40.00	75.00	57.11	12.43
d	9	52.00	75.00	61.00	7.76
K (observada)	26.59				
K (valor crítico)	7.81				
GL	3				
p-valor	<0.0001				
alpha	0.05				
a: 33 camarones y 8 ppt de salinidad; b, 33 camarones y 15 ppt de salinidad; 75 camarones y 8 ppt de salinidad; 75 camarones y 15 ppt de salinidad.					

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la prueba de *Kruskal-Wallis* que se presentan en la tabla XV indican que el valor de la prueba (K), para los cuatro escenarios evaluados es de 26.59 y el valor crítico (K) es 7.81. El p valor de la prueba es 0.0001 menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$). El procedimiento para la prueba se desarrolló tomando como base el orden de la tabla XIII.

Los valores de la prueba pueden estar supeditados a los mínimos y máximos de los cuatro escenarios. Sin embargo, lo importante a establecer en este procedimiento estadístico es que a pesar de esos indicadores, la sobrevivencia puede estar también supeditada estadísticamente a la suma de los rangos que, en este caso en específico, vienen de los animales que sobrevivieron al final del experimento.

Por otra parte, los resultados de la comparación de los rangos que se muestran en el anexo 24, muestran que el escenario a y b con 33 camarones como densidad difieren de los escenarios c y d con 75 camarones. El valor crítico de referencia calculado para la diferencia de rangos es 17.00 y la diferencia de rangos es de 29.78 para los del escenario a menos los rangos del escenario c; 33.67 para los rangos del escenario a menos los rangos del escenario d; 27.89 para los rangos del escenario b menos los rangos del escenario c; y 31.78 para los rangos del escenario b menos los rangos del escenario d.

Objetivo General. Establecer un modelo estadístico del crecimiento del camarón blanco, *Penaeus vannamei* a dos densidades y dos salinidades diferentes integrando la variación de pH, oxígeno, amonio y temperatura a través de la regresión múltiple.

Finalmente, el modelo de mejor ajuste para la estimación del peso de los camarones, en un ambiente sin productividad primaria es el de 15 ppt de salinidad y 33 camarones como densidad, utilizando como estimador la temperatura en grados Celcius. Estos resultados se basan en las observaciones y las inferencias realizadas con el análisis de regresión múltiple.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de regresión múltiple

A continuación se aborda la discusión de resultados del análisis de la regresión múltiple para los cuatro escenarios del experimento con camarones peneidos.

4.1.1. Escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad

Los resultados de la regresión múltiple en los cuatro escenarios denotan la importancia de al menos una variable de calidad del agua, para la estimación del peso. Dado que el tiempo tiene una correlación positiva con el crecimiento de los animales, será incluido en los modelos.

El planteamiento de la regresión múltiple para evaluar la significancia del modelo para el escenario con 33 camarones y 8 ppt fue analizado con el análisis de la varianza planteando las siguientes hipótesis:

H_0 : el modelo de regresión múltiple no es significativo al 5 % de significancia.

H_1 : el modelo de regresión múltiple es significativo al 5 % de significancia.

Dado que el valor p en el análisis de la varianza (anexo 1) para este modelo fue de 0.0001 menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$), el modelo que describe el peso de los camarones cultivados bajo esta cantidad de animales y a ese grado de salinidad es significativo y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se

concluye que el tiempo y el oxígeno son estimadores explicativos del peso de los camarones cultivados con este escenario al 95 % de confianza.

La multicolinealidad se obtuvo mediante el factor de inflación de la varianza (FIV), cuyos valores pueden verse en el anexo 2. El FIV para el tiempo fue de 152.23 y para el oxígeno 104.53, por tanto, para este modelo estas variables son recomendadas para explicar el peso (g).

El coeficiente de determinación R^2 del modelo es de 0.99. Sin embargo, fue necesario realizar la prueba global del modelo, que se determinó mediante la distribución F de Fischer (anexo 3) donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 : los coeficientes de la regresión son cero.

H_1 : los coeficientes de la regresión no son cero.

Dado que el valor de la prueba F fue de 10.99, se concluye que el coeficiente de determinación es de utilidad para estimar la variable dependiente peso (g) de los camarones cultivados, en un escenario con 33 animales y 8 ppt de salinidad.

El supuesto de normalidad se comprobó gráficamente a través de los predichos del modelo, cuya ley expresa que deben estar al menos el 95 % de los residuos entre $[-1.96 - 1.96]$ y que puede observarse en el anexo 4.

4.1.2. Escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad

El planteamiento de la regresión múltiple para evaluar la significancia del modelo para el escenario con 33 camarones y 15 ppt fue analizado con el análisis de la varianza planteando las siguientes hipótesis:

H₀: el modelo de regresión múltiple no es significativo al 5 % de significancia.

H₁: el modelo de regresión múltiple es significativo al 5 % de significancia.

Dado que el valor p en el análisis de la varianza (anexo 5) para este modelo fue de 0.0001 menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$), el modelo que describe el peso de los camarones cultivados bajo esta cantidad de animales y a ese grado de salinidad es significativo y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tiempo y la temperatura son estimadores explicativos del peso de los camarones cultivados con este escenario al 95 % de confianza.

La multicolinealidad se obtuvo mediante el factor de inflación de la varianza (FIV), cuyos valores pueden verse en el anexo 6. El FIV para el tiempo fue de 118.13 y para la temperatura 10.85, por tanto, para este modelo esas variables son recomendadas para explicar el peso (g).

El coeficiente de determinación R² del modelo es de 0.99. Sin embargo, fue necesario realizar la prueba global del modelo que se determinó mediante la distribución F de Fischer (anexo 7) donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H₀: los coeficientes de la regresión son cero.

H₁: los coeficientes de la regresión no son cero.

Dado que el valor de la prueba F fue de 15.75, se concluye que el coeficiente de determinación es de utilidad para estimar la variable dependiente peso (g), de los camarones cultivados en un escenario con 33 animales y 15 ppt de salinidad.

El supuesto de normalidad se comprobó gráficamente a través de los predichos del modelo, cuya ley expresa que deben estar al menos el 95 % de los residuos entre [-1.96 – 1.96] y que puede observarse en el anexo 8.

4.1.3. Escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad

El planteamiento de la regresión múltiple para evaluar la significancia del modelo, para el escenario con 75 camarones y 8 ppt fue analizado con el análisis de la varianza planteando las siguientes hipótesis:

H₀: el modelo de regresión múltiple no es significativo al 5 % de significancia.

H₁: el modelo de regresión múltiple es significativo al 5 % de significancia.

Dado que el valor p en el análisis de la varianza (anexo 9) para este modelo fue de 0.0001 menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$), el modelo que describe el peso de los camarones cultivados bajo esta cantidad de animales y a ese grado de salinidad es significativo y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tiempo y el oxígeno son estimadores explicativos del peso de los camarones cultivados con este escenario al 95 % de confianza.

La multicolinealidad se obtuvo mediante el valor de inflación de la varianza (FIV) cuyos valores pueden verse en el Anexo 10. El FIV para el tiempo fue de 67.86 y para el oxígeno 19.64, por tanto, para este modelo esas variables son recomendadas para explicar el peso (g).

El coeficiente de determinación R² del modelo es de 0.99. Sin embargo, fue necesario realizar la prueba global del modelo que se determinó mediante la distribución F de Fischer (anexo 11) donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H₀: los coeficientes de la regresión son cero.

H₁: los coeficientes de la regresión no son cero.

Dado que el valor de la prueba F fue de 17.00, se concluye que el coeficiente de determinación es de utilidad para estimar la variable dependiente peso (g) de los camarones cultivados en un escenario con 75 animales y 8 ppt de salinidad.

El supuesto de normalidad se comprobó gráficamente a través de los predichos del modelo cuya ley expresa que deben estar al menos el 95 % de los residuos entre $[-1.96 - 1.96]$ y que puede observarse en el anexo 12.

4.1.4. Escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad

El planteamiento de la regresión múltiple para evaluar la significancia del modelo, para el escenario con 75 camarones y 15 ppt fue analizado con el análisis de la varianza planteando las siguientes hipótesis:

H₀: el modelo de regresión múltiple no es significativo al 5% de significancia.

H₁: el modelo de regresión múltiple es significativo al 5% de significancia.

Dado que el valor p en el análisis de la varianza (anexo 13) para este modelo fue de 0.0001 menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$), el modelo que describe el peso de los camarones cultivados bajo esta cantidad de animales y a ese grado de salinidad es significativo y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tiempo y el oxígeno son estimadores explicativos del peso de los camarones cultivados con este escenario al 5 % de significancia.

La multicolinealidad se obtuvo mediante el valor de inflación de la varianza (FIV) cuyos valores pueden verse en el anexo 14. El FIV para el tiempo fue de 24.21 y para el pH 33.48, por tanto, para este modelo esas variables son recomendadas para explicar el peso (g).

El coeficiente de determinación R^2 del modelo es de 0.99. Sin embargo, fue necesario realizar la prueba global del modelo que se determinó mediante la distribución F de Fischer (anexo 15) donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 : los coeficientes de la regresión son cero.

H_1 : los coeficientes de la regresión no son cero.

Dado que el valor de la prueba F fue de 15.75, se concluye que el coeficiente de determinación es de utilidad para estimar la variable dependiente peso (g) de los camarones cultivados en un escenario con 75 animales y 8 ppt de salinidad.

El supuesto de normalidad se comprobó gráficamente a través de los predichos del modelo cuya ley expresa que deben estar al menos el 95 % de los residuos entre $[-1.96 - 1.96]$ y que puede observarse en el anexo 16.

La estimación del peso de los camarones en un ambiente sin productividad primaria y aireación constante ha sido poco estudiada aplicando modelos estadísticos. Sin embargo, las variables de calidad del agua han sido profundamente estudiadas para conocer la influencia que tienen en la producción de este animal.

En el escenario a y c (33 camarones y 8 ppt, 75 camarones y 8 ppt), el oxígeno es la única variable que se incluye en los modelos de predicción del peso de los camarones; en el escenario b (33 camarones y 15 ppt) la temperatura y, en el escenario d (75 camarones y 15 ppt), el pH. Los modelos incluyen aquellas variables que están mayormente correlacionadas (DeFries y Fulker, 1985) y que han pasado por un procedimiento para conocer la multicolinealidad entre variables (Graham, 2003).

Zhang, Zhang, Li, y Huang, (2006), desarrollaron un experimento donde evaluaron el efecto de algunas variables como pH, temperatura, salinidad y el peso del animal para conocer los niveles letales de oxígeno en los camarones, cuyos resultados son de referencia para conocer por qué cada modelo difiere en la inclusión de variables.

Dado que el consumo de oxígeno está supeditado al crecimiento, a las reacciones fisiológicas de los animales y a la interacción de otras variables físico químicas, el gradiente de oxígeno en el agua tenderá a disminuir conforme aumente el peso o biomasa en el tiempo (Rosas et al., 1999; Villarreal, Hinojosa, y Naranjo, 1994). En ese sentido, el modelo a (33 camarones y 8 ppt de salinidad) y c (75 camarones y 8 ppt de salinidad) incluyen al oxígeno como variable de calidad del agua que influye en el crecimiento.

No obstante, el oxígeno disminuyó tangencialmente conforme aumentó la biomasa en cada tanque y cuya correlación es negativa, es decir, conforme crece el animal (y aumenta la biomasa) la demanda de oxígeno disuelto aumenta (por reacciones fisiológicas y descomposición de materia orgánica) y los niveles de este factor abiótico tienden a disminuir.

La temperatura es quizá una de las variables más influyentes en el cultivo de camarones debido que a partir de los cambios que esta presenta, varían los patrones de comportamiento zootécnico de los animales (Wyban, Walsh, y Godin, 1995).

Por otra parte, la salinidad también tiene un efecto en la fisiología del animal, que permite establecer relaciones intrínsecas entre el crecimiento y estas variables. La temperatura únicamente se incluye en un modelo en el escenario b (33 camarones y 15 ppt de salinidad), y es en este modelo donde los camarones

alcanzaron el mayor peso (11 g) y la mayor sobrevivencia (75 %); para este caso en específico, la salinidad es importante en la biología, en el cultivo y en el consumo de oxígeno del animal en diferentes etapas del crecimiento (Esparza-Leal, Ponce-Palafox, Valenzuela-Quiñónez, Arredondo-Figueroa, y García-Ulloa Gómez, 2010; Valenzuela-Quiñónez, Rodríguez-Quiroz, Ponce-Palafox, y Esparza-Leal, 2011).

En el modelo d (75 camarones y 15 ppt), el pH influyó en el crecimiento de los camarones; este parámetro está asociado al deterioro de la calidad del agua principalmente por la materia orgánica (Ma, Song, Wan, y Gao, 2013) que se acumula producto del alimento no consumido, excretas y metabolismo.

4.2. Análisis factorial

El análisis factorial fue planteado para establecer cuál de los cuatro escenarios, brinda las condiciones idóneas para la variable peso (g) de los camarones en cultivo, con la combinación de la salinidad y la densidad. En el presente estudio, la combinación de 33 camarones y 15 ppt de salinidad generó el mayor peso alcanzado 12.41 g.

La densidad juega un papel fundamental en el desarrollo de los camarones dado que la competencia por espacio y alimento se hace cada vez más complejo conforme aumenta el número de animales por unidad de área. Ruiz-Velazco, Hernández-Llamas, y Gomez-Muñoz (2010), indican que a mayor densidad mayor rendimiento, cuya afirmación se basa en la modelación estadística; esta afirmación puede tener varias connotaciones, dado que también el área de cultivo juega un rol importante en la decisión de llevar a cabo cultivos de baja o alta densidad.

El modelo estuvo balanceado con dos factores (salinidad y densidad) y cuatro réplicas por cada uno. El análisis de varianza responde a tres preguntas principales para plantear las hipótesis que validan las pruebas (Navidi, 2006) las cuales son:

¿El modelo aditivo vale?

¿Si es así, la media del resultado es la misma para todos los niveles del factor renglón?

¿Si es así, la media del resultado es la misma para todos los niveles del factor columna?

En base a lo anterior, las hipótesis planteadas fueron:

Si el modelo aditivo es válido, las hipótesis a probar son las siguientes:

$$H_0: \gamma_{11} = \gamma_{12} = \dots = \gamma_{ij} = 0$$

$$H_0: \gamma_{11} \neq \gamma_{12} \neq \dots \neq \gamma_{ij} \neq 0$$

Dado que los resultados demostraron que hay un efecto significativo en el peso de los camarones debido a la interacción de la salinidad y la densidad, las otras dos preguntas también requirieron el planteamiento de sus hipótesis respectivas.

Las hipótesis para los resultados de los niveles del renglón son las siguientes:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_I = 0$$

$$H_0: \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \dots \neq \alpha_I \neq 0$$

Las hipótesis para los resultados de los niveles del factor columna son las siguientes:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_I = 0$$

$$H_0: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots \neq \beta_I \neq 0$$

Los resultados del análisis de varianza y los coeficientes se muestran en las tablas VI, VII y VIII. El p valor para el modelo (0.002) es menor al valor de significancia ($\alpha = 0.05$); sin embargo, el p valor del factor salinidad es 0.231 y sobrepasa el valor de significancia ($\alpha = 0.05$), caso contrario ocurre con la densidad cuyo p valor es de 0.008. La interacción entre ambos factores generó un p valor de 0.52 que es mayor al p valor ($\alpha = 0.05$). Y por último, la sobrevivencia es una covariable que tiene un p valor también mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$).

El p valor de la interacción (0.052), no es muy distante respecto al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), cuyo dato es básico para analizar el planteamiento de las hipótesis. No se rechaza la hipótesis nula y por tanto se asume que todas las interacciones son iguales a 0. En ese sentido, el modelo tiene suficiente evidencia para decirse que es válido y creíble dado que presente un p-valor (0.02) menor al nivel de significancia. Al concluir de esta manera, las hipótesis subsiguientes a la validez del modelo son representativas si y solo si, si los factores presentan p valores pequeños (Navidi, 2006).

La comprobación de los supuestos se muestra en el anexo 18 y 19 con el gráfico de probabilidad normal y residuos. Gráficamente, los supuestos se cumplen, lo cual ayuda a validar la información obtenida en el análisis factorial, para la densidad de camarones y la salinidad como parámetro del agua.

Bajo la interpretación anterior donde la salinidad no tiene efectos en términos estadísticos, pero sí en términos naturales, la salinidad en el cultivo de camarón es importante para llevar a cabo las funciones metabólicas (osmoregulación); en el presente estudio la concentración más adecuada para llevar a cabo un cultivo sin productividad primaria fue de 15 ppt cuyo resultado coincide con lo encontrado por Spanopoulos-Hernández, Martínez-Palacios, Vanegas-Pérez, Rosas, y Ross, (2005). Cultivar a baja salinidad es posible incluso en 0 ppt (Araneda, Pérez, y Gasca-Leyva, 2008), el escenario b con 8 ppt y 33 camarones tuvo un crecimiento máximo de 10.06 g.

4.3. Sobrevivencia

El análisis de sobrevivencia se basó en la cantidad de animales que sobrevivieron a un sistema sin productividad primaria y aireación constante. Las mediciones son del orden no paramétrico, por tanto, el análisis de *Kruskal-wallis* fue escogido para dar mayor soporte a la información de este apartado.

Dado que la sobrevivencia en términos de animales vivos al final del experimento no cumple el supuesto de normalidad, los supuestos a comprobar son: las muestras son aleatorias e independientes, y fueron extraídas de sus respectivas poblaciones, es decir, de cada escenario o tratamiento. En ese sentido, las hipótesis de la prueba fueron las siguientes:

H₀: las distribuciones de las poblaciones de cada escenario son idénticas.

H₁: de todas las poblaciones de cada escenario, por lo menos una de ellas tiende a mostrar valores mayores que al menos una de las demás.

El valor de la prueba de Kruskal-Wallis fue de 26.59 (tabla XVI) y el valor crítico 7.81. Dado que el valor observado (K) supera el valor crítico, se concluye

que existe una diferencia entre los camarones que sobrevivieron a los cuatro escenarios de prueba donde la densidad y la salinidad fueron los factores de estudio ($p < 0.0001$).

La diferencia de rangos entre los escenarios está supeditada a los animales que sobrevivieron durante el experimento. Lo importante de esta prueba radica en que incluso siendo significativa la prueba, los escenarios con menos camarones como densidad tendrán mejor sobrevivencia, que los que estuvieron con más densidad en un sistema como el evaluado en este experimento. Sin embargo, estos resultados no deben ser conclusivos, sino más bien, como referencia para entender el problema.

La sobrevivencia en el cultivo de camarón representa uno de los parámetros de mayor interés en un sistema, debido a que representa el éxito en relación al rendimiento en un ciclo de cultivo. La acuicultura de camarones se hace mayormente en aguas con alta productividad primaria, dado que los camarones utilizan dicho componente natural como alimento suplementario. En el presente estudio, la ausencia de productividad primaria representó uno de los principales aspectos a superar para mantener el experimento.

De los cuatro escenarios, es evidente que aquel con 33 camarones y 15 ppt de salinidad, tuvo un máximo de sobrevivencia en una de las unidades experimentales de 81.82 %, y seguida de otra con 75.76 % (tabla XV). La sobrevivencia más baja se dio en el escenario con 8 ppt de salinidad y 75 camarones con 13.33 %, y aquel con 8 ppt y 33 camarones con 33.33 %. La sobrevivencia de los camarones y la composición bioquímica, es afectada por la ausencia de micro algas en un sistema de cultivo (Izquierdo et al., 2006; Wasielesky, Atwood, Stokes, y Browdy, 2006) versus otro tipo de sistema que brinda condiciones idóneas para el desarrollo de los organismos.

Sin embargo, este estudio demuestra que es posible cultivar camarones en un sistema con aireación constante y en ausencia de productividad primaria, pero de la misma manera, se necesita ahondar más en este tipo de ambiente para el desarrollo de los camarones en cultivo.

Finalmente, los métodos estadísticos utilizados en este experimento abren la oportunidad de análisis de datos que se generan constantemente en el sector de la camaronicultura en Guatemala. Los métodos estadísticos no sólo son herramientas que se deben aplicar en los experimentos, sino más bien, deben ser aplicados en los análisis de rutina en las fincas de producción. En este experimento, es evidente, tal cual en la realidad, que la temperatura y el oxígeno juegan un rol importante en la homeostásis de los organismos.

El análisis factorial que se desarrolló en este experimento, brinda información importante sobre la densidad y la salinidad en el rendimiento de los animales en términos de peso (g). En la producción de camarón la salinidad y la densidad hoy en día son dos aspectos fundamentales al inicio, durante y al final del ciclo de producción.

Por otra parte, la sobrevivencia cuyo valor está sujeto a muchas variables desde el aspecto biológico, pasando por el ambiente hasta los parámetros físicos y químicos. La relación de los animales con el espacio en que están confinados define en gran parte la salud de los animales. En este experimento el análisis de la varianza no paramétrica utilizando como variable respuesta el número de animales en relación a los escenarios experimentales, evidencia que la densidad y la salinidad son importantes tanto desde el punto de vista biológico, como físico químico.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el análisis de regresión múltiple, el modelo de mejor ajuste se puede considerar explicativo y no predictivo debido al número de variables que se incluyen en él. El escenario con 15 ppt y 33 camarones fue el que mejores resultados presentó en términos de crecimiento.
2. El análisis factorial refleja que el mayor peso alcanzado por los camarones durante el período experimental fue de 12.41 g en un ambiente con 15 ppt de salinidad y 33 camarones.
3. Los camarones cultivados a 15 ppt y a una densidad inicial de 33 camarones alcanzaron 81 % de sobrevivencia al final del período de estudio, cuyo valor también tiene relación con los modelos encontrados. La covarianza en el modelo factorial indica que la sobrevivencia es importante para establecer si efectivamente este escenario tiene mejores resultados que los otros con cambios de salinidad y densidad.
4. El mejor modelo de regresión múltiple para la estimación del peso de los camarones bajo la influencia de distintas variables de calidad del agua se obtuvo en el escenario de 15 ppt de salinidad y 33 camarones como densidad, utilizando como estimador la temperatura en grados Celsius, $w = -33.34 + 0.19 (t) + 1.10(T^\circ)$.

RECOMENDACIONES

1. Incluir otras variables físicas y químicas en los experimentos de acuicultura para estimar con mayor precisión la variable dependiente.
2. Utilizar el análisis factorial para estudios transversales en el cultivo de camarón para establecer patrones antes, durante y al final de los ciclos de cultivo de tal manera que se pueda obtener información de las variables de crecimiento, sanidad y productividad.
3. Utilizar la estadística inferencial en los experimentos de acuicultura para mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje y coadyuvar al proceso de investigación científica en las unidades académicas.
4. Continuar con los experimentos sin productividad primaria que permitan visualizar el cultivo de camarón desde otra perspectiva en zonas con escaso recurso hídrico.

REFERENCIAS

1. Aragón, E.A. (2016). *Crecimiento individual de camarón blanco Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) y camarón azul Litopenaeus stylirostris (Stimpson, 1874) (Decapoda: Penaeidae), con un enfoque multimodelo.* Latin American Journal of Aquaculture, 44(3), 480-486.
2. Araneda, M., Pérez, E.P., Gasca-Leyva, E. (2008). White shrimp *Penaeus vannamei* culture in fresh water at three densities: condition state based on length and weight. *Aquaculture*, 283, 13-18.
3. Araneda, M.E., Hernández, J.M., Gasca-Leyva, E., Vela, M.A. (2013). *Growth modelling including size heterogeneity: Application to the intensive culture of White shrimp (P. vannamei) in fresh 71omme.* Aquacultural Engineering, 56, 1-12.
4. Avnimelech, Y., y Kochba, M. (2009). *Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15N tracing.* Aquaculture 287: 163-168.
5. Avnimelech, Y. (2012). *Biofloc technology –a practical guide book.* The World Aquaculture Society, Baton Rouge: 272.

6. Azim, M., y Little, D. (2008). *The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. *Aquaculture* 283(1-4): 29-35.
7. Barbosa, J. M., Brugiolo, S.S., Carosfeld, J. y Leitão, S. S. (2006). *Heterogeneous growth in fingerlings of the Nile tilapia Oreochromis niloticus: Effects of density and initial size variability*. *Brazilian Journal of Biology*, 66(2A): 537-541.
8. Berenson, M.L. y Levine, D.M. (1996). *Estadística básica en administración*. México: Pearson.
9. Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Auburn University.
10. Boyd, C. E., y Tucker, C.S. (1998). *Pond 72ommercial72 water quality management*. New York, USA: Springer Science + Bussines media.
11. Campbell, N.A., Reece, J.B. (2007). *Biología*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
12. Chen, J.C. y Chi-Chung, T. (1991). *Influence of ammonia on growth of Penaeus monodon Fabricius post-larvae*. *Aquaculture and Fisheries Management*, 22, 457-462.
13. Chu, C. y Lee, D. (2004). *Multiscale structures of biological flocs*. *Chemical Engineering Science* 59: 1875-1883.

14. Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W. y Avnimelech, Y. (2009). *Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia*. *Aquaculture Engineering* 40: 105-112.
15. DeFries, J. C., y Fulker, D. W. (1985). *Multiple regression analysis of twin data*. *Behavior Genetics*, 15(5), 467–473.
16. Emerenciano, M., Gaxiola, G. y Cuzon, G. (2012). *Biofloc technology applied to shrimp broodstock*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge: 271-230.
17. Emerenciano, M., Cuzon, G., Arevalo, M. y Gaxiola, G. (2013). *Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs*. *Aquaculture Research*: 22-36.
18. Esparza-Leal, H. M., Ponce-Palafox, J. T., Valenzuela-Quiñónez, W., Arredondo-Figueroa, J. L., y García-Ulloa Gómez, M. (2010). *Effects of density on growth and survival of juvenile pacific white shrimp, *penaeus vannamei*, reared in low-salinity well water*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(4), 648–654.
19. Fore, M., Alver, M., Alfredsen, J.A., Marafiati, G., Senneset, G., Birkevold, J., Willumsen, F., Terjesen, B. F. (2016). *Modelling growth performance and feeding behavior of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in 73 commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation trough full-scale experiments*. *Aquaculture*, 464, 268-278.

20. Franco, A.R., Ferreira, J. G., Nobre, A. M. (2006). *Use of a growth model for penaeid shrimp*. *Aquaculture*, 259, 268-277.
21. Graham, M. H. (2003). Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84(11), 2809–2815.
22. Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
23. Hurtado, M., Domínguez, R., Gasca-Leyva, E. (2013). *Efecto de la estructura de tallas bajo un modelo dinámico de población utilizando curvas características*. *Abstraction and Application*, 9, 11-18.
24. Izquierdo, M., Forster, I., Divakaran, S., Conquest, L., Decamp, O., y Tacon, A. (2006). *Effect of green and clear water and lipid source on survival, growth and biochemical composition of Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 12(3), 192–202.
25. Lind, D.A., Marchal, W.G., Wathen, S.A. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y a la economía*. México: McGraw Hill Hispanoamericana.
26. Ma, Z., Song, X., Wan, R., y Gao, L. (2013). *A modified water quality index for intensive shrimp ponds of Litopenaeus vannamei*. *Ecological Indicators*, 24, 287–293.
27. Martínez, L.R. (1999). *Cultivo de camarones peneidos, principios y prácticas*. México: AG Editor.

28. Montgomery, D.C., Runger, G.C. (2010). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Estados Unidos. John Wiley and Sons, Inc.
29. Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros*. México: McGraw Hill Hispanoamericana.
30. Peacor, S.D., Pfister, C.A. (2006). *Experimental and model analyses of the effects of competition on individual size variation in Wood frog (*Rana sylvatica*) tad poles*. *Journal of Animal Ecology*, 75, 990-999.
31. Pérez, E. P. (2010). *Una modificación de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento del abalón rojo *Haliotis rufescens* para su uso en acuicultura*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(2): 303-310.
32. Re, A.D., Díaz, F., Sierra, E., Gómez-Jiménez, S. (2004). *Consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora de *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad*. *Ciencias marinas*, 30(3): 443-453.
33. Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola, G., Brito, R., Sánchez, A., y Soto, L. A. (1999). *The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 234(1), 41–57.

34. Ruiz-Velazco, J. M. J., Hernández-Llamas, A., y Gomez-Muñoz, V. M. (2010). *Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 114–119.
35. Spanopoulos-Hernández, M., Martínez-Palacios, C. A., Vanegas-Pérez, R. C., Rosas, C., y Ross, L. G. (2005). *The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps Litopenaeus stylirostris (Stimpson, 1874)*. *Aquaculture*, 244(1–4), 341–348.
36. Tay, C. (2014). *La camaronicultura en la costa sur de Guatemala, contexto, avance 2005-2012 y su perspectiva de expansión futura* [Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4608.pdf
37. Tucker, C. (2005). *Pond aeration*. Missisipi: Missisipi State University.
38. Valdés, G., Díaz, F., Re, A. D., Sierra, E. (2008). *Efecto de la salinidad sobre la fisiología energética del camarón blanco Litopenaeus vannamei (Boone)*. *Hidrobiológica*, 18(2): 105-115.
39. Valenzuela-Quiñónez, W., Rodríguez-Quiroz, G., Ponce-Palafox, J. T., y Esparza-Leal, H. M. (2011). *Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en*

el camarón blanco Litopenaeus vannamei. Revista de Biología Marina Y Oceanografía, 46(3), 303–311.

40. Villarreal, H., Hinojosa, P., y Naranjo, J. (1994). Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. *Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Physiology*, 108(2–3), 331–336.
41. Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., y Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.
42. Webster, A.L. (2010). *Estadística aplicada a los negocios y a la economía*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill Interamericana.
43. Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., y Browdy, C. L. (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1–4), 396–403.
44. Wyban, J., Walsh, W. a, y Godin, D. M. (1995). *Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (Penaeus vannamei)*. *Aquaculture*, 138(95), 267–279.
45. Zhang, P., Zhang, X., Li, J., y Huang, G. (2006). *The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of whiteleg shrimp, Litopenaeus vannamei (Boone, 1931)*. *Aquaculture*, 256(1–4), 579–587.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la varianza para el escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Modelo	2	51.51	25.76	345.17	< 0.0001
Error	6	0.44	0.07		
Corrección total	8	51.96			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Multicolinealidad a través del valor FIV para el escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad

Estadístico	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)
Tolerancia	0.0066	0.0888	0.0096	0.6325	0.4454
FIV	152.2302	11.2564	104.5291	1.5810	2.2454

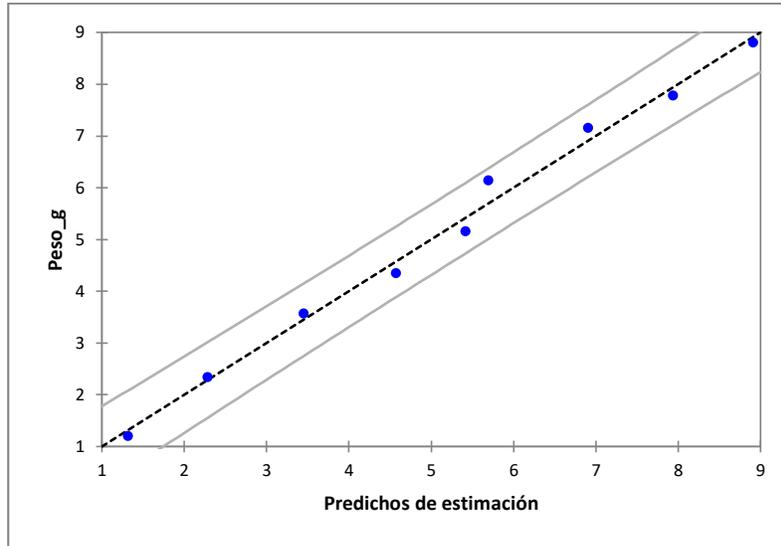
Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Prueba global del coeficiente R² para el escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad

SCR	SCE	n	k	F
0.27	0.07	9	2	10.99

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Residuos del modelo para el escenario con 33 camarones y 8 ppt de salinidad



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 5. Análisis de la varianza para el escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	2	101.80	50.9048	1182.363 2	< 0.0001
Error	6	0.26	0.0431		
Corrección total	8	102.06			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. **Multicolinealidad a través del valor FIV para el escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad**

Estadístico	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amoni o (mg/L)
Tolerancia	0.0085	0.0921	0.0053	0.0097	0.0607
FIV	118.1299	10.8536	188.1148	102.753 4	16.4665

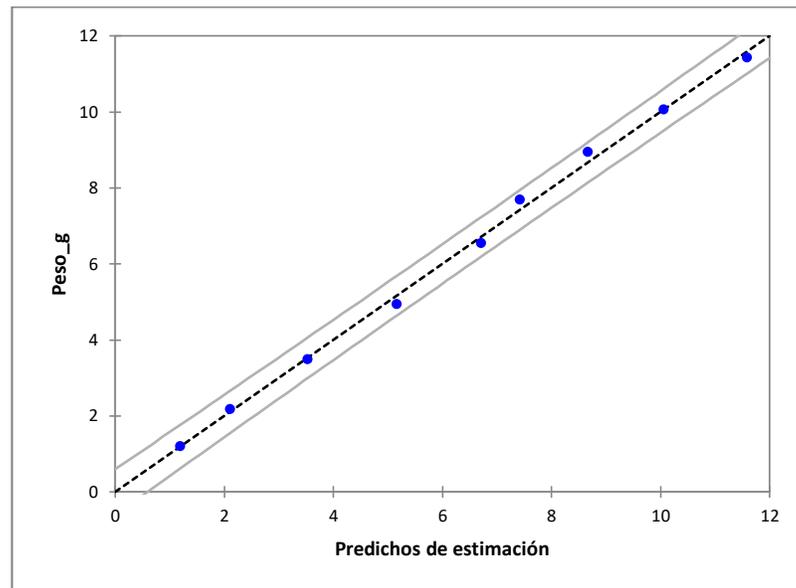
Fuente: elaboración propia.

Anexo 7. **Prueba global del coeficiente R² para el escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad**

SCR	SCE	n	k	F
0.21	0.04	9	2	15.75

Fuente: elaboración propia.

Anexo 8. **Residuos del modelo para el escenario con 33 camarones y 15 ppt de salinidad**



Fuente: elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 9. **Análisis de la varianza para el escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	2	40.4881	20.2440	721.9975	< 0.0001
Error	6	0.1682	0.0280		
Corrección total	8	40.6563			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 10. **Multicolinealidad a través del valor FIV para el escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad**

Estadístico	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)
Tolerancia	0.0147	0.1864	0.0182	0.0509	0.3806
VIF	67.8618	5.3644	54.8942	19.6448	2.6275

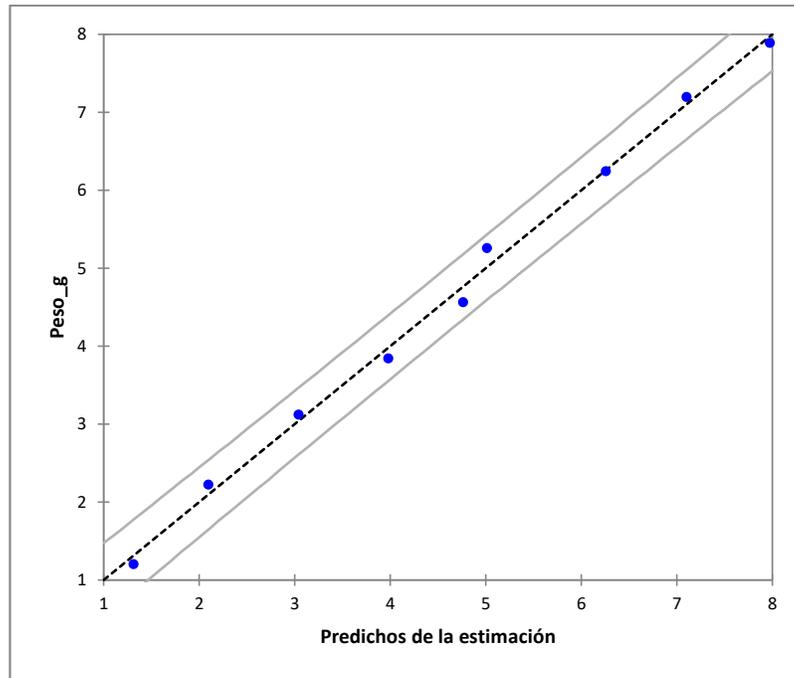
Fuente: elaboración propia.

Anexo 11. **Prueba global del coeficiente R² para el escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad**

SCR	SCE	n	k	F
0.17	0.03	9	2	17

Fuente: elaboración propia.

Anexo 12. Residuos del modelo para el escenario con 75 camarones y 8 ppt de salinidad



Fuente: elaboración propia, elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 13. Análisis de la varianza para el escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	2	49.6902	24.8451	546.728 5	< 0.0001
Error	6	0.2727	0.0454		
Corrección total	8	49.9628			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 14. Multicolinealidad a través del valor FIV para el escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad

Estadístico	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)
Tolerancia	0.0413	0.6280	0.0185	0.0299	0.2749
VIF	24.2134	1.5923	54.1411	33.4786	3.6374

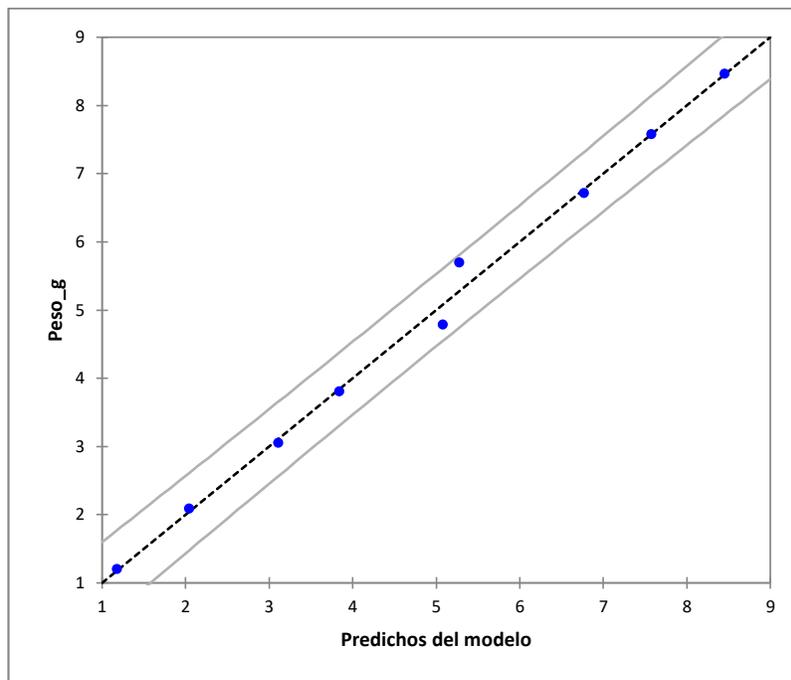
Fuente: elaboración propia.

Anexo 15. Prueba global del coeficiente R² para el escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad

SCR	SCE	n	k	F
0.21	0.04	9	2	15.75

Fuente: elaboración propia.

Anexo 16. Residuos del modelo para el escenario con 75 camarones y 15 ppt de salinidad



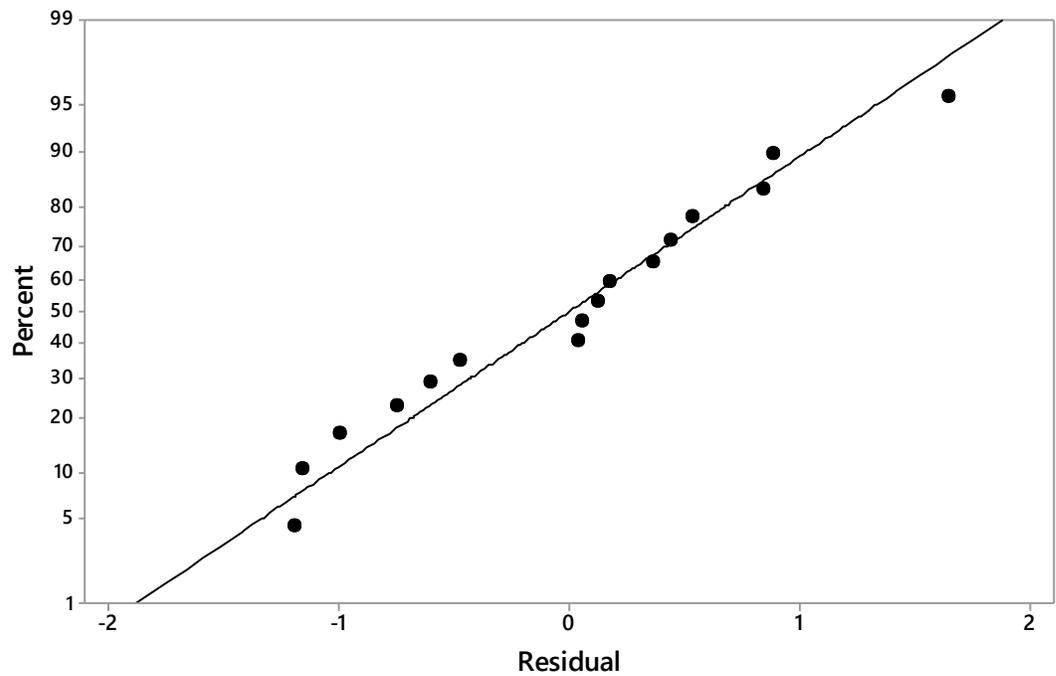
Fuente: elaboración propia, elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 17. **Resumen del modelo factorial para salinidad y densidad**

Suma	R ²	R ² ajustado	R ² predichos
0.94	76.97%	68.59%	49.62%

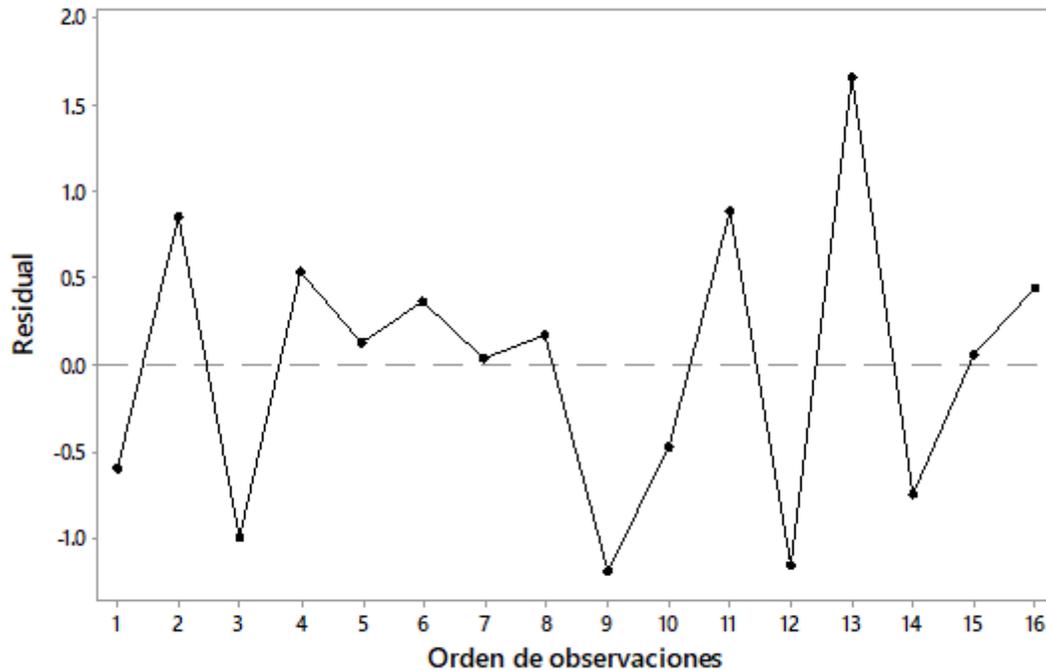
Fuente: elaboración propia.

Anexo 18. **Gráfico de probabilidad normal del diseño factorial para densidad y salinidad**



Fuente: elaboración propia, elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 19. **Gráfico de residuos del diseño factorial para densidad y salinidad**



Fuente: elaboración propia, elaboración propia, realizado con el software XLStat.

Anexo 20. **Matriz de correlaciones para el escenario a del análisis de regresión lineal múltiple del apartado de resultados**

Variab les	Tiemp o	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)	Peso_g
Tiempo	1.00	-0.74	-0.97	0.01	-0.10	0.99
Temperatura (°C)	-0.74	1.00	0.58	-0.07	0.09	-0.69
Oxígeno (mg/L)	-0.97	0.58	1.00	0.04	0.01	-0.98
pH	0.01	-0.07	0.04	1.00	0.31	-0.03
Amonio (mg/L)	-0.10	0.09	0.01	0.31	1.00	-0.11
Peso_g	0.99	-0.69	-0.98	-0.03	-0.11	1.00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 21. **Matriz de correlaciones para el escenario b del análisis de regresión lineal múltiple del apartado de resultados**

Variables	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)	Peso_g
Tiempo	1.00	-0.80	-0.97	-0.92	-0.24	0.99
Temperatura (°C)	-0.80	1.00	0.67	0.59	0.20	-0.74
Oxígeno (mg/L)	-0.97	0.67	1.00	0.93	0.12	-0.98
pH	-0.92	0.59	0.93	1.00	0.45	-0.95
Amonio (mg/L)	-0.24	0.20	0.12	0.45	1.00	-0.28
Peso_g	0.99	-0.74	-0.98	-0.95	-0.28	1.00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 22. **Matriz de correlaciones para el escenario c del análisis de regresión lineal múltiple del apartado de resultados**

Variables	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)	Peso_g
Tiempo	1.00	-0.70	-0.97	-0.92	-0.21	1.00
Temperatura (°C)	-0.70	1.00	0.56	0.49	0.20	-0.68
Oxígeno (mg/L)	-0.97	0.56	1.00	0.93	0.12	-0.98
pH	-0.92	0.49	0.93	1.00	0.38	-0.94
Amonio (mg/L)	-0.21	0.20	0.12	0.38	1.00	-0.24
Peso_g	1.00	-0.68	-0.98	-0.94	-0.24	1.00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 23. **Matriz de correlaciones para el escenario d del análisis de regresión lineal múltiple del apartado de resultados**

Variables	Tiempo	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH	Amonio (mg/L)	Peso_g
Tiempo	1.00	-0.44	-0.97	-0.94	-0.36	1.00
Temperatura (°C)	-0.44	1.00	0.34	0.42	0.38	-0.42
Oxígeno (mg/L)	-0.97	0.34	1.00	0.95	0.27	-0.97
pH	-0.94	0.42	0.95	1.00	0.50	-0.96
Amonio (mg/L)	-0.36	0.38	0.27	0.50	1.00	-0.40

Continuación anexo 23.

Peso_g	1.00	-0.42	-0.97	-0.96	-0.40	1.00
--------	------	-------	-------	-------	-------	-------------

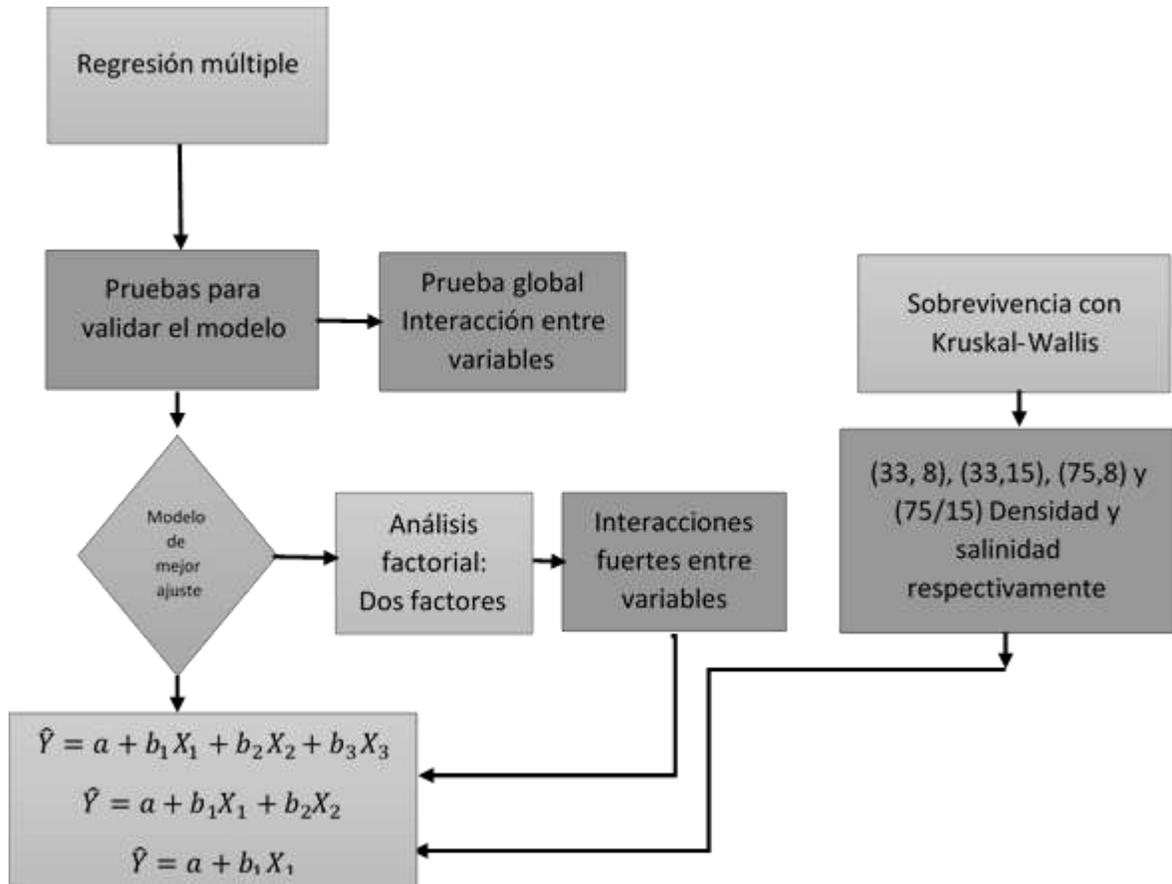
Fuente: elaboración propia.

Anexo 24. **Matriz de correlaciones para el escenario d del análisis de regresión lineal múltiple del apartado de resultados**

Diferencia de rangos	Valor
$ \bar{R}_1 - \bar{R}_2 $	1.89
$ \bar{R}_1 - \bar{R}_3 $	29.78
$ \bar{R}_1 - \bar{R}_4 $	33.67
$ \bar{R}_2 - \bar{R}_3 $	27.89
$ \bar{R}_2 - \bar{R}_4 $	31.78
$ \bar{R}_3 - \bar{R}_4 $	3.89
Valor crítico de comparación	17.00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 25. **Flujograma de análisis de la información para el experimento con *Penaeus vannamei***



Fuente: elaboración propia, en Microsoft Word.

Anexo 26. **Formato de registro de datos para el peso y longitud de los camarones**

Fecha:		Nombre:	
Tratamiento		Repetición	Observaciones
No.	Peso (gr)		
1			
2			
n			

Fuente: elaboración propia.

**Anexo 27. Formato de registro de datos para pH y oxígeno
diariamente**

Fecha		Nombre		
Tratamiento		Repetición		
Variable	HORA			
	8:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	
pH				
Oxígeno (mg/L)				
Temperatura (°C)				
SDT (mg/L)				

Fuente: elaboración propia.

Anexo 28. Formato de registro para datos de amonio

Fecha:	Nombre:
Tratamiento:	Repetición
Variable	Valor
Amonio	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 29. Formato de registro de datos para mortalidad

Fecha	Cantidad de animales muertos	Tratamiento/repetición

Fuente: elaboración propia.

Anexo 30. Formato de compilación de datos para regresión múltiple

Datos	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
	Peso (g)	Amonio (mg/L)	pH	Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	SDT (mg/L)
1						
2						
3						
<i>n</i>						

Fuente: elaboración propia.

Anexo 31. **Formato de compilación de información para el análisis factorial**

Factor B: Salinidad (ppt)	Factor A: Población por tanque		Medias
	33	75	
8	$\mu_1 (8,33)$	$\mu_1 (8,75)$	$\bar{\mu}_1$
	$\mu_2 (8,33)$	$\mu_2 (8,75)$	
	$\mu_3 (8,33)$	$\mu_3 (8,75)$	
	$\mu_4 (8,33)$	$\mu_4 (8,75)$	
15	$\mu_1 (15,33)$	$\mu_1 (15,75)$	$\bar{\mu}_2$
	$\mu_2 (15,33)$	$\mu_2 (15,75)$	
	$\mu_3 (15,3)$	$\mu_3 (15,75)$	
	$\mu_4 (15,33)$	$\mu_4 (15,75)$	
Medias	$\bar{\mu}_1$	$\bar{\mu}_2$	$\bar{\mu}$

Fuente: elaboración propia.