

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



“EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA, PROBIÓTICOS Y TIPOS DE ALIMENTOS, SOBRE EL CRECIMIENTO, SUPERVIVENCIA Y RELACIÓN BENEFICIO-COSTO DEL CAMARÓN BLANCO (*Penaeus vannamei*), EN UN CULTIVO SUPERINTENSIVO CON GEOMEMBRANAS”

M. EN C. EULALIO ARÁMBUL MUÑOZ

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras.

Junio de 2020; Xalisco, Nayarit.

Oficio de aprobación


Xalisco, Nayarit; 29 de junio de 2020

DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
P R E S E N T E

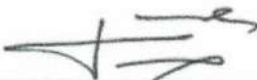
Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: “Efecto de la densidad de siembra, probióticos y tipos de alimentos, sobre el crecimiento, supervivencia y relación beneficio-costo del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), en un cultivo superintensivo con geomembranas”, que presenta el M.C. Eulalio Arámbul Muñoz para obtener el Grado de Doctor en Ciencias con opción terminal en Ciencias Pesqueras, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E



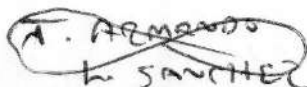
Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca
Director



Dr. Jesús T. Ponce Palafox
Codirector



Dr. Eugenio A. Aragón Noriega
Asesor



Dr. José Armando López Sánchez
Asesor



Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez
Asesor

Dedicatoria

A Doña Mariana (mi madre):

Por su gran amor manifestado en todos sus gestos de atención, por la gran herencia que me brindó con la educación que me dio. Por todo lo que hizo y sigue haciendo por mí, gracias por ser mi madre. Te amo.

A mi esposa Erika Yaneth:

Gracias por todo tu apoyo, gracias por ser ese puerto seguro en donde me puedo refugiar, gracias por tu amor, por tu amistad, por apoyar y motivar mis pasos. Este título es tuyo y mío, ya que sin tí no hubiese sido posible. Te amo.

A mis hijos Ian, Zianya y a mi bebé aún no nacido:

Los amo con todo mi corazón ya que son la fuente única de motivación para seguir adelante. Este logro se los ofrezco como compensación por todo lo que nos hemos perdido juntos, algún día entenderán que todo este esfuerzo es por y para ustedes. Los amo mi campeón, mi deyna y mi bebé.

Agradecimientos

Extiendo mi más profundo agradecimiento por la oportunidad de estudiar el Doctorado a la Universidad Autónoma de Nayarit, a la Unidad Académica de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera y a su Director el Dr. J. Marcial de Jesús Ruiz Velasco Arce por todas las facilidades brindadas.

Al Dr. Sergio G. Castillo V., mi director de tesis le agradezco que haya creído en mí, por brindarme su confianza, su apoyo y la oportunidad con todas las facilidades que ello implicó, sus consejos tan acertados que fueron claves para poder obtener el grado, sobre todo agradezco su amistad fundamental para una armoniosa colaboración profesional.

A los doctores Jesús T. Ponce Palafox, Alberto Aragón Noriega, Armando López Sánchez y Guillermo Rodríguez Domínguez por sus revisiones críticas del protocolo, avances y documento final. Agradezco todos los aportes que permitieron fortalecer la presente investigación. Gracias por su confianza y amistad.

Al Dr. Milton Spanopoulos Hernández por su apoyo en la revisión del protocolo de investigación y por las facilidades otorgadas en el Laboratorio de Nutrición Acuícola del Instituto Nacional de México, campus Mazatlán, a la Dra. Angélica Vianey Carvajal G. y a la Ingeniero Ana María Gallegos Labias por su apoyo en los análisis proximales de las muestras de camarón y alimentos balanceados.

A mis compañeros del Laboratorio de Bioingeniería Costera: M. C. Raúl Claro de los Santos, M. C. Delia, Cesar, Ing. Genaro y Jesús por su apoyo incondicional en los experimentos ya que sin su ayuda no hubiera sido posible. A la empresa MaltaCleyton[®] por su apoyo con el alimento balanceado, al laboratorio de producción de postlarvas de camarón ALAPSA. Al Biólogo Juan Manuel por su asesoría tan asertiva durante los experimentos.

A mis hermanos del grupo de Oración y Evangelización: David y Adriana, Paco y Lili, comadre Lupita, Churty y Gloria, Vidal y Omar...gracias por su amistad y por estar al pendiente de este proyecto de vida. A mis hermanos Biol. José Peña y Biol. Jesús de José.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, a la Facultad de Ciencias del Mar y a la casa del Estudiante Mártires 7 de Abril, "*Sursum Versus*".

Contenido	Pág.
Página del título	i
Oficio de aprobación	ii
Oficio de conformidad del comité tutorial	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Contenido	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
Agradecimientos a fuentes de financiamiento	xvii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
RESUMEN GENERAL	4
ABSTRACT	6
ÁREA DE ESTUDIO	8
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
CAPÍTULO 1. Análisis de los efectos de tres diferentes densidades de siembra (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³), sobre el crecimiento y la supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (<i>P. vannamei</i>) durante un ciclo de cultivo.	10
1.1 Resumen específico	11
1.2 Introducción	12
1.3 Material y métodos	14
1.3.1 Calidad del agua	15
1.3.2 Crecimiento y supervivencia	15
1.3.3 Análisis en fresco y bacteriológicos	16
1.3.4 Análisis proximales	17
1.4 Resultados	22
1.4.1 Calidad del agua	22
1.4.2 Crecimiento y supervivencia	29
1.4.3 Análisis en fresco y bacteriológicos	31
1.4.4 Análisis proximales	32
1.5 Discusión	33
1.6 Conclusiones	35
1.7 Referencias.	36
CAPITULO 2. Comparación de los efectos de tres diferentes tipos de alimentos balanceados (MaltaCleyton® superintensivo, MaltaCleyton® mediana densidad, Silver cup®) sobre el crecimiento y supervivencia de un cultivo superintensivo de camarón blanco (<i>P. vannamei</i>) durante un ciclo de cultivo.	42
2.1 Resumen específico	43
2.2 Introducción	44
2.3 Material y métodos	47
2.3.1 Calidad del agua	48
2.3.2 Crecimiento y supervivencia	49

2.3.3	Análisis en fresco y bacteriológicos	50
2.3.4	Análisis proximales	51
2.4	Resultados	55
2.4.1	Calidad del agua	55
2.4.1	Crecimiento y supervivencia	63
2.4.2	Análisis en fresco y bacteriológicos	65
2.4.3	Análisis proximales	66
2.5	Discusión	67
2.6	Conclusiones	71
2.7	Referencias.	72
CAPITULO 3.	Comparación de los efectos de tres diferentes tipos de probióticos (EPICIN®-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM®, Neutrobacter®), sobre el crecimiento y la supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (<i>P. vannamei</i>) durante un ciclo de cultivo	79
3.1	Resumen específico	80
3.2	Introducción	81
3.3	Material y métodos	84
3.3.1	Calidad del agua	85
3.3.2	Crecimiento y supervivencia	86
3.3.3	Análisis en fresco y bacteriológicos	87
3.4	Resultados	89
3.4.1	Calidad del agua	89
3.4.2	Crecimiento y supervivencia	98
3.4.3	Análisis en fresco y bacteriológicos	99
3.4.4	Conteo de células	100
3.4.5	Correlación de Pearson	101
3.5	Discusión	102
3.6	Conclusiones	105
3.7	Referencias	106
CAPITULO 4.	Análisis de la relación beneficio-costo en un cultivo superintensivo de camarón blanco (<i>P. vannamei</i>) en densidades de 500 Plm⁻³, probiótico comercial a base de <i>Bacillus sp.</i>, y alimento balanceado sin proteína de origen marino durante cuatro ciclos anuales.	112
4.1	Resumen específico	113
4.2	Introducción	114
4.3	Material y métodos	117
4.3.1	Ingreso neto	117
4.3.2	Punto de equilibrio	117
4.3.3	Relación beneficio-costo	118
4.3.4	Tasa interna de retorno (TIR)	118
4.4	Resultados	119
4.4.1	Ingreso neto	119
4.4.1.1	Costos totales	120
4.4.2	Punto de equilibrio	121

4.4.3 Relación beneficio-costo	122
4.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)	122
4.5 Discusión	123
4.6 Conclusiones	125
4.7 Referencias	126
DISCUSIÓN GENERAL	130
CONCLUSIÓN GENERAL	132
REFERENCIAS	133
CURRICULUM VITAE	136

Tabla	Índice de Tablas	Pág.
I	Parámetros de la calidad del agua (Media \pm DE) para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (300 Plm ⁻³ , 500 Plm ⁻³ , 700 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo.	22
II	Variables de respuesta (Media \pm DE) para para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (300 Plm ⁻³ , 500 Plm ⁻³ , 700 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo.	30
III	Resultados de análisis proximal del alimento balanceado utilizado en el cultivo	32
IV	Resultado de análisis proximal (Media \pm DE) de los organismos cultivados durante un ciclo de cultivo.	32
V	Parámetros de la calidad del agua (Media \pm DE) para los tratamientos MaltaCleyton [®] superintensivo (T1), MaltaCleyton [®] mediana densidad (T2), Silver cup [®] (T3) de un cultivo superintensivo de camarón un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm ⁻³ .	56
VI	Variables de respuesta (Media \pm DE) para los tratamientos (MaltaCleyton [®] superintensivo (T1), MaltaCleyton [®] mediana densidad (T2), Silver cup [®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm ⁻³ .	64
VII	Análisis proximal de los alimentos (MaltaCleyton [®] superintensivo (T1), MaltaCleyton [®] mediana densidad (T2), Silver cup [®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm ⁻³ .	66
VIII	Parámetros de la calidad del agua (Media \pm DE) para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®]) durante un ciclo de cultivo.	90
IX	Variables de respuesta (Media \pm DE) para los tratamientos (EPICIN [®] -HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM [®] (T2), Neutrobacter [®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm ⁻³ .	98
X	Correlación de Pearson entre el número de cé/ml ⁻¹ y las variables de la calidad del agua de un cultivo superintensivo de camarón utilizando tres tipos de probióticos T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] , durante un ciclo de cultivo.	101

XI	Costos fijos anuales del cultivo de camarón en nueve geomembranas de 35 m ³ , con una densidad de siembra de 500 Plm ⁻³ , alimento sin harina de pescado Silver cup [®] y probiótico Neutrobacter [®] durante cuatro ciclos de cultivo.	120
XII	Costos variables anuales del cultivo de camarón en nueve geomembranas de 35 m ³ , con una densidad de siembra de 500 Plm ⁻³ , alimento sin harina de pescado Silver cup [®] y probiótico Neutrobacter [®] durante cuatro ciclos de cultivo.	121
XIII	Calculo de la tasa interna de retorno (TIR)	122

Figura	Índice de figuras	Pág.
1	Producción mundial de pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018).	1
2	Localización del área de estudio; Laboratorio de Bioingeniería Costera, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit.	8
3	Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a tres densidades (300 Plm ⁻³ , 500 Plm ⁻³ , 700 Plm ⁻³). Geomembranas circulares de 35 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force® (2 HP), sopladores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.	14
4	Comportamiento de las concentraciones de la temperatura (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ .	23
5	Comportamiento de las concentraciones de O ₂ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; O ₂ = oxígeno	24
6	Comportamiento de las concentraciones de la salinidad (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ .	24
7	Comportamiento de las concentraciones del pH (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ .	25
8	Comportamiento de las concentraciones de NAT (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; NAT = nitrógeno amoniacal total.	26
9	Comportamiento de las concentraciones de NH ₃ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; NH ₃ = amonio no ionizado.	26
10	Comportamiento de las concentraciones de NO ₂ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; NO ₂ = nitritos.	27

11	Comportamiento de las concentraciones de NO ₃ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; NO ₃ = nitratos.	28
12	Comportamiento de las concentraciones de PO ₄ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; PO ₄ = fosfatos.	28
13	Comportamiento de las concentraciones de PT (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ ; PT = fósforo total.	29
14	Comportamiento del crecimiento del camarón durante un ciclo de cultivo superintensivo. Dónde T1 (300 Plm ⁻³), T2 (500 Plm ⁻³) T3 (700 Plm ⁻³). P<0.05.	30
15	Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulos y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1 =300 Plm ⁻³ , T2 = 500 Plm ⁻³ , T3 =700 Plm ⁻³ .	31
16	Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a una densidad de 500 Plm ⁻³ , alimentados con tres alimentos comerciales: MaltaCleyton [®] alta densidad (T1), MaltaCleyton [®] media densidad (T2), Silver cup [®] sin harina de pescado (T3), en geomembranas circulares de 35 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force [®] (2 HP), sopladores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.	48
17	Comportamiento de las concentraciones de temperatura (°C) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton [®] superintensivo, T2= MaltaCleyton [®] mediana densidad y T3= Silver cup [®] sin harina de pescado. P<0.05.	56
18	Comportamiento de las concentraciones de oxígeno (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton [®] superintensivo, T2= MaltaCleyton [®] mediana densidad y T3= Silver cup [®] sin harina de pescado. P<0.05.	57
19	Comportamiento de las concentraciones de salinidad (‰) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton [®]	58

	superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	
20	Comportamiento de las concentraciones de pH (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	58
21	Comportamiento de las concentraciones de NAT (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	59
22	Comportamiento de las concentraciones de NH ₃ (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	60
23	Comportamiento de las concentraciones de NO ₂ (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	60
24	Comportamiento de las concentraciones de NO ₃ (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	61
25	Comportamiento de las concentraciones de PO ₄ (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	62
26	Comportamiento de las concentraciones de PT (mgL ⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.	62

27	Comportamiento de las concentraciones de CaCO_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.	63
28	Comportamiento del crecimiento del camarón en un cultivo superintensivo en geomembranas circulares (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.	64
29	Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulos y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado.	65
30	Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a una densidad de 500 Plm^{-3} , alimentados con alimento comercial: Silver cup® sin harina de pescado, en geomembranas circulares de 1.5 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Aplicándoles probióticos comerciales EPICIN®-HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM® (T2), Neutrobacter® (T3) durante 13 semanas. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force® (2 HP), sopladores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.	85
31	Comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®. $P < 0.05$.	91
32	Comportamiento de las concentraciones de O_2 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®. $P < 0.05$.	91
33	Comportamiento de las concentraciones de salinidad (‰) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®. $P < 0.05$.	92

34	Comportamiento de las concentraciones de pH (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	93
35	Comportamiento de las concentraciones de NAT (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	93
36	Comportamiento de las concentraciones de NH ₃ (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	94
37	Comportamiento de las concentraciones de NO ₂ (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	95
38	Comportamiento de las concentraciones de NO ₃ (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	95
39	Comportamiento de las concentraciones de PO ₄ (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	96
40	Comportamiento de las concentraciones de PT (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	97
41	Comportamiento de las concentraciones de CaCO ₃ (mgL ⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	97

42	Comportamiento del crecimiento del camarón durante un ciclo de cultivo superintensivo de camarón (500 Plm ⁻³). Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	99
43	Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulos y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] .	100
44	Conteo del número de células de los probióticos utilizados en el cultivo superintensivo de camarón (500 orgm ⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN [®] -HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM [®] , T3= Neutrobacter [®] . P<0.05.	101
45	Punto de equilibrio en el cultivo de camarones en un sistema superintensivo, con una densidad de siembra de 500 Plm ⁻³ , alimento balanceado sin harina de pescado Silver cup [®] y probiótico Neutrobacter [®] , un ciclo de cultivo.	122

Agradecimientos a fuentes de financiamiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante los estudios de Doctorado. CVU 622887.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La acuicultura sigue creciendo más rápido que otros sectores principales de producción de alimentos, no obstante ya no muestra las elevadas tasas de crecimiento anuales de las décadas de 1980 y 1990 (11.3 % y 10.0 %, excluidas las plantas acuáticas). El crecimiento anual medio descendió al 5.8 % durante el período 2000-2016 (Figura 1), sin embargo se siguió registrando un crecimiento de dos dígitos en un pequeño número de países individuales, especialmente en África entre 2006 y 2010 (FAO, 2018). Esta industria ha tenido gran desarrollo debido a su alta efectividad en la producción de crustáceos principalmente. La industria del cultivo de camarón se inició en el Este de Indonesia (Java) en la década de los 80's (Taw, 2005) y vino a ser una actividad altamente significativa para la industria (Fakhri *et al.*, 2013). A nivel mundial, en el año 2014 la producción de animales acuáticos procedentes de la acuicultura ascendió a 73.8 millones de toneladas, con un valor de primera venta estimado de 160,200 millones de dólares (USD). Éste total se compuso de 49.8 millones de toneladas de peces de escama (99,200 de USD), 16.1 millones de toneladas de moluscos (19,000 millones de USD), 6.9 millones de toneladas de crustáceos (36,200 millones de USD) y 7.3 millones de toneladas de otros animales acuáticos como los anfibios (3,700 millones de USD). China produjo 45.5 millones de toneladas en 2014, es decir, más del 60 % de la producción pesquera mundial procedente de la acuicultura (FAO, 2016).

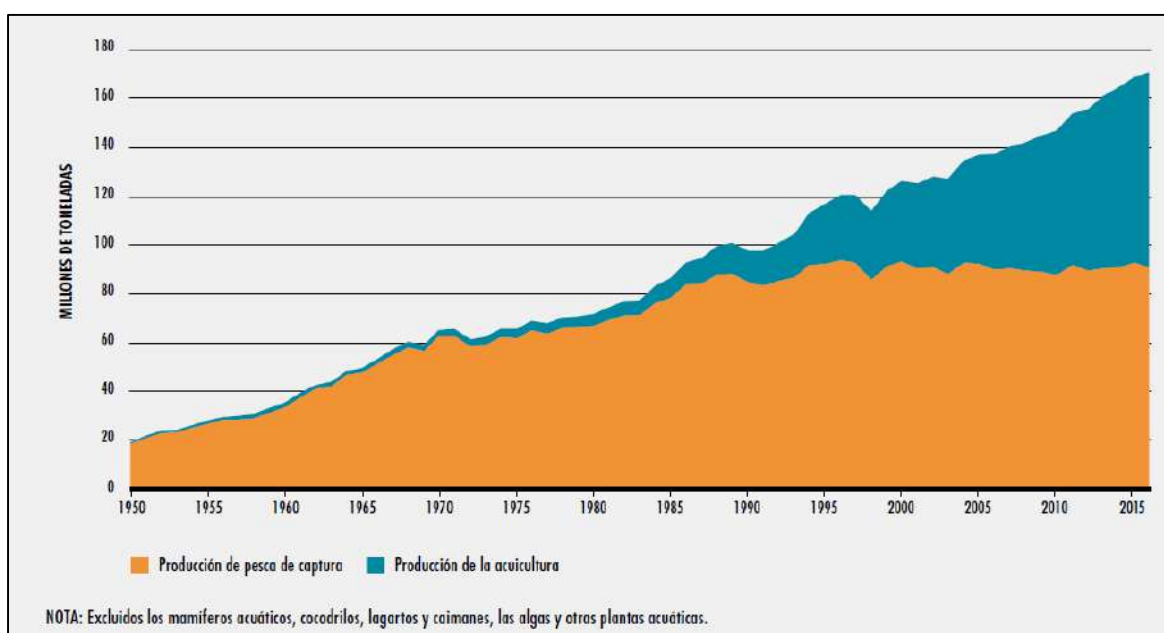


Figura 1. Producción mundial de pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018).

Por esta razón, la acuicultura representa una alternativa significativamente relevante para la alimentación mundial, por lo cual se han empleado esfuerzos para que esta industria continúe siendo fundamental para la alimentación mundial. A pesar de los esfuerzos aplicados a la pesca de captura, los indicadores muestra una tendencia a la baja de la producción (Pauly y Zeller, 2016), en consecuencia la acuicultura se ha posicionado en un papel de suma importancia en atención a la creciente demanda de productos de origen marino y de mariscos (FAO, 2018; Belton *et al.*, 2014; Hall *et al.*, 2011). A nivel mundial, la acuicultura apoya medios de vida y contribuye a la seguridad alimentaria y económica mediante la entrega fuentes de proteínas animales, nutrientes e ingresos (Belhabib *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2010; Godfray *et al.*, 2010).

La industria camaronícola, se perfila como una alternativa sumamente atractiva para dar solución a este tipo de problemática, en la última década, la industria camaronera en América Latina ha tenido que buscar otras alternativas para su expansión, principalmente debido a enfermedades y problemas ambientales. Las estrategias y sistemas más utilizados han sido el uso de alimentos comerciales mejorados (Mishra *et al.*, 2008), diferentes tratamientos de manejo de alimentos (Jescovitch *et al.*, 2018), diferentes densidades de población, reducción del tamaño del estanque, cosechas parciales (Yu y Leung, 2006), sistemas de aireación, recirculación de agua (RAS) (Ray & Lots, 2017), biofloc (Esparza-Leal *et al.*, 2015) y sistemas fotoheterotróficos (Moreno-Figueroa *et al.*, 2017).

Lalramchhani *et al.* (2019) mencionan que en los cultivos de camarón, el alimento es uno de los insumos más críticos, por lo tanto es necesario hacer todo lo posible para garantizar el uso eficiente de los alimentos balanceados (Kungvankij y Chua, 1986). La presencia de menos proteína en el alimento afecta negativamente el crecimiento y el estado de salud de camarones cultivados, mientras que el exceso de proteína en el alimento conduce al deterioro de la calidad del agua por aumento en las concentraciones de metabolitos nitrogenados (Cho *et al.*, 1994). Además, cuando la proteína está presente en la dieta por encima del nivel de requerimiento óptimo, la asimilación y el crecimiento no son proporcionales al consumo. En este sentido, diversas técnicas han surgido para solventar la problemática de los alimentos balanceados, desde experimentos con diferentes concentraciones de proteína, hasta sistemas de cultivo a base de conglomerados biológicos (biofloc y fotoheterotróficos). Desde el punto

de vista nutricional, los sistemas de biofloc (BFT) y fotoheterotróficos (FH) presentan algunas ventajas como reducción en el factor de conversión alimentaria (FCA) (Wasielesky *et al.* 2006), aplicación de dietas bajas en proteínas (Azim y Litle, 2008; Ballester *et al.*, 2010); y el uso de fuentes alternativas de proteínas que reemplazan a las convencionales de alto costo, como harina de pescado y harina de soya (Scopel *et al.*, 2011; Bauer *et al.*, 2012). Estas tres posibilidades dan como resultado una disminución de los costos de producción por la disponibilidad continua de fuente de alimento natural (conglomerados biológicos) en forma de bacterias, protozoos, nematodos, microalgas, rotíferos y copépodos (Decamp *et al.*, 2002; Ray *et al.*, 2010a) consumidos por los organismos cultivados.

Pero este tipo de sistemas de cultivo necesitan atenciones particulares, sobre todo el apoyo de la adición de fuentes de carbón orgánico externo y probióticos, estos tipos de apoyo y el manejo adecuado de la columna de agua, permite mejorar la supervivencia de las larvas a través de diferentes mecanismos (Kesarkodi-Watson, 2008). También permite eliminar o reducir drásticamente los remplazos de agua (recambios) evitando así el incremento de los costos de operación, mejorando la relación beneficio-costos. Además incentiva la capacidad de las bacterias para transformar el amonio no ionizado y nitritos presente en los tanques para liberar nitrógeno eliminando su toxicidad, análoga a lo que sucede en un filtro biológico en un sistema de recirculación agua (RAS) (Crab *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2009). De esta manera, la producción de camarón puede mejorarse reduciendo los efectos ambientales de la emisión de efluentes asociados con el reemplazo de agua.

Los cultivos superintensivos de camarón se encuentran en pleno desarrollo y existen una gran variedad de sistemas aplicados a estos tipos de cultivos, los cuales tratan de aumentar la biomasa de producción (Wasielesky *et al.* 2006; Vinatea *et al.* 2010; Shi *et al.* 2011; Hostins *et al.*, 2015), sin embargo pocos estudios han examinado el balance de costo y beneficio bajo producción comercial para lograr una gestión económica óptima y poder abordar problemas imprevistos cuando se invierte en este tipo de cultivos.

RESUMEN GENERAL

En los últimos años la acuicultura en México se ha ido diversificando en varios aspectos de operatividad en los cultivos, desde aumentar la intensidad de siembra, buscar alternativas en los alimentos balanceados, hasta utilizar cultivos de apoyo como alimento vivo y probióticos. Con el fin de mejorar los rendimientos de producción, aumentar la calidad del producto cultivado y de hacer más eficientes los costos de operatividad; principalmente en el camarón blanco *Penaeus vannamei*. Estos intentos, ha permitido a la industria optimizar los terrenos de cultivo, utilizando estanques recubiertos con liners, estanquería de concreto, race ways y geomembranas circulares. Se han reducido considerablemente las áreas de cultivo y se han propuesto reducir el impacto a los fondos de los estanques por la actividad acuícola. A su vez, esto los ha orillado a aprovechar el mayor tiempo posible durante todo el año utilizando invernaderos, los cuales permiten mantener a una temperatura constante el agua y evitar las pérdidas por depredadores oportunistas. Lo cual ha permitido que esta actividad se vea afectada positivamente.

La búsqueda constante en las mejoras de los alimentos balanceados, ha abierto una brecha de oportunidad para determinar las concentraciones de proteína según la etapa de crecimiento de los organismos, las densidades de confinamiento y los rendimientos esperados. A su vez, existe una competencia comercial por las materias primas utilizadas para este tipo de alimentos, lo cual según la tendencia de las pesquerías a nivel mundial (FAO, 2018) las materias primas cada vez son más caras, afectando directamente los costos de producción de esta industria; sin embargo últimamente se ha buscado utilizar otras fuentes de proteína, tanto vegetal como animal, realizando ajustes en los requerimientos esenciales para un buen crecimiento de los camarones.

Los cultivos de apoyo, han surgido como una alternativa viable para mantener las condiciones de la calidad del agua de manera óptima, actúan como prebiótico colonizando los tractos digestivos de los organismos, provocando una resistencia mayor hacia las enfermedades de origen bacteriano y mayor resistencia a las enfermedades causadas por virus; sin embargo, los costos de estos productos en ciertas magnitudes puede afectar los costos de operatividad en la industria. Es por ello que se busca comparar probióticos

comerciales con diferentes precios, para determinar que probiótico produce resultados favorables a un menor costo.

Para poder analizar este tipo de factores, se realizó la presente investigación para comparar densidades de siembra, alimentos balanceados y probióticos, así como la relación beneficio-costos en este tipo de cultivos. En el capítulo 1 se analizó los efectos de las diferentes densidades de siembra (300 Plm^{-3} , 500 Plm^{-3} , 700 Plm^{-3}), arrojando como resultados más prometedores, que los cultivos a altas densidades de siembra (500 orgm^{-3}) son altamente productivos, alcanzando tallas de 7.65 g en 90 días, con sobrevivencias superiores al 74 %. En el capítulo 2 se compararon los efectos de tres diferentes tipos de alimentos balanceados (MaltaCleyton® superintensivo, MaltaCleyton® mediana densidad, Silver cup®), sobresalen los resultados del alimento sin harina de pescado, el cual fue superior en la biomasa total producida, y en peso final, además que la supervivencia mostró menor desviación estándar, lo que sugiere una mejor uniformidad en los tratamientos. En el capítulo 3 se compararon los efectos de tres diferentes tipos de probióticos (EPICIN®-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM®, Neutrobacter®), sobresale que la supervivencia, peso final, TEC, FCA, biomasa final, fue estadísticamente igual que el probiótico más demandado en el mercado, pero a menor costo de adquisición. Por último se analizó la relación beneficio-costos en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) en densidades de 500 Plm^{-3} , probiótico comercial a base de *Bacillus sp.* y alimento balanceado sin proteína de origen marino durante cuatro ciclos de 90 días cada uno; se observó que en un proyecto inicial, desde la infraestructura, equipo y gastos de operatividad, estos tipos de cultivos son económicamente viables, obteniendo una relación beneficio-costos de 1:1.21, con una tasa interna de retorno de 11.6 %. Es concluyente que el uso de otras alternativas en la densidad de siembra, el uso de alimentos balanceados con fuente de proteína no marina y el uso de probióticos comerciales más económicos, permiten una supervivencia y crecimiento que permitan la viabilidad económica de los cultivos superintensivos de camarón blanco (*P. vannamei*) en geomembranas circulares en invernadero con ciclos constantes durante el año.

ABSTRACT

In recent years, aquaculture in Mexico has been diversifying in various aspects of crop operations, from increasing the intensity of sowing, to seeking alternatives in balanced food, to using support crops as live food and probiotics. In order to improve production yields, increase the quality of the cultivated product and make operating costs more efficient; mainly in the white shrimp *Penaeus vannamei*. These attempts have allowed the industry to optimize the farmland, using liner-coated ponds, concrete ponds, race ways and circular geomembranes. Farming areas have been considerably reduced and it has been proposed to reduce the impact to the pond bottoms by the aquaculture activity. This, in turn, has led them to take advantage of as much time as possible throughout the year by using greenhouses, which allow the water to be kept at a constant temperature and prevent losses by opportunistic predators. This has allowed this activity to be positively affected.

The constant search for improvements in feed has opened a gap of opportunity to determine protein concentrations according to the stage of growth of the organisms, the densities of confinement and the expected yields. At the same time, there is commercial competition for the raw materials used for this type of feed, which according to the trend in world fisheries (FAO, 2018), raw materials are becoming more and more expensive, directly affecting the industry's production costs. However, lately there has been an attempt to use other sources of protein, both vegetable and animal, making adjustments to the essential requirements for good shrimp growth.

Support crops have emerged as a viable alternative to maintain water quality conditions in an optimal way. They act as a prebiotic, colonizing the digestive tracts of the organisms, causing a greater resistance to diseases of bacterial origin and greater resistance to diseases caused by viruses; however, the costs of these products in certain magnitudes can affect the operating costs in the industry. That is why we seek to compare commercial probiotics with different prices, to determine which probiotic produces favorable results at a lower cost.

To be able to analyze this type of factors, the present investigation was made to compare densities of sowing, balanced foods and probiotics, as well as the relation benefit-cost in this type of cultures. In chapter 1 it was analyzed the effects of the different densities of sowing (300 Plm^{-3} , 500 Plm^{-3} , 700 Plm^{-3}), showing as more promising results, that the crops at high

densities of sowing (500 Plm^{-3}) are highly productive, reaching sizes of 7.65 g in 90 days, with survival rates higher than 74 %. In chapter 2 the effects of three different types of feeds were compared (MaltaCleyton[®] super intensive, MaltaCleyton[®] medium density, Silver cup[®]). The results of the feed without fishmeal stand out, which was superior in the total biomass produced, and in final weight, besides that the survival showed less standard deviation, which suggests a better uniformity in the treatments. In chapter 3, the effects of three different types of probiotics were compared (EPICIN[®]-HATCHERIES, EM1 EM Technology[®], Neutrobacter[®]), and it was noted that survival, final weight, specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), and final biomass were statistically equal to the most demanded probiotic in the market, but at a lower acquisition cost. Finally, it was analyzed the benefit-cost relationship in a super-intensive white shrimp (*P. vannamei*) culture in densities of 500 Plm^{-3} , commercial probiotic based on *Bacillus sp.* and balanced feed without protein of marine origin during four cycles of 90 days each; it was observed that in an initial project, from the infrastructure, equipment and operational expenses, these types of cultures are economically viable, obtaining a benefit-cost relationship of 1.21:1, with an internal rate of return of 11.6 %.

It is conclusive that the use of other alternatives in the density of sowing, the use of balanced food with a source of non-marine protein and the use of more economic commercial probiotics, allow a survival and growth that allows the economic viability of the super-intensive white shrimp (*P. vannamei*) crops in circular geomembranes in greenhouses with constant cycles during the year.

ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, perteneciente a la Universidad Autónoma de Nayarit, en San Blas Nayarit. El laboratorio está localizado en los 21°29'53" de latitud Norte y 105°12'3" de longitud Oeste (Figura 2).

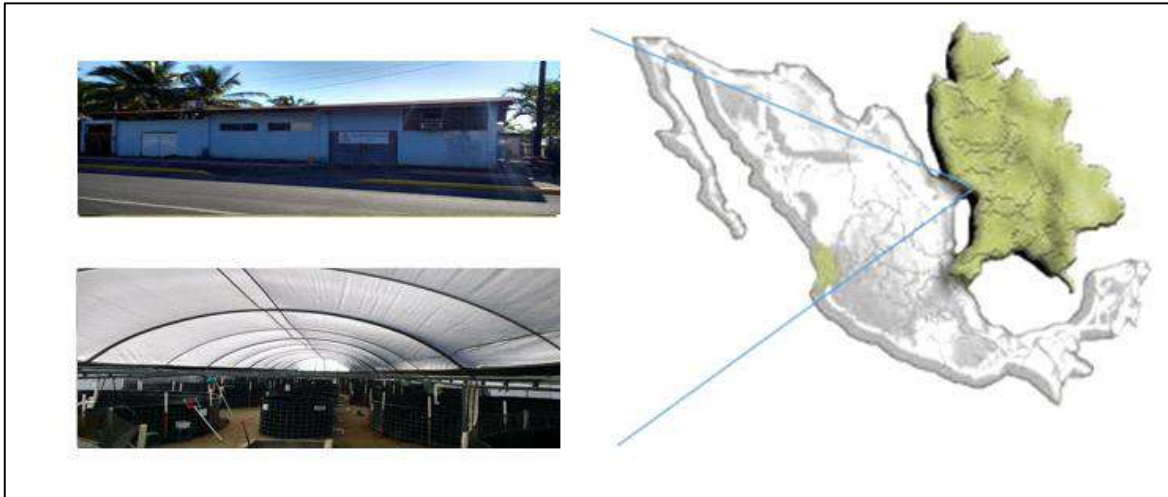


Figura 2. Localización del área de estudio; Laboratorio de Bioingeniería Costera, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit.

HIPÓTESIS

En el cultivo superintensivo de camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) en densidades superiores a 200 orgm^{-3} , el uso de probióticos y alimento especial para este tipo de cultivos, son una alternativa que permite cultivar a altas densidades, mejorar el crecimiento y la supervivencia de postlarvas y juveniles. Lo anterior porque los probióticos son componentes capaces de cambiar en *P. vannamei* el microambiente del tracto digestivo fomentando su colonización con organismos no enteropatógenos y el alimento especializado permite que los camarones cultivados obtengan los nutrientes necesarios para un desarrollo que se refleje en los indicadores económicos.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar el efecto de la densidad de siembra, tipos de probióticos y alimentos balanceados, sobre el crecimiento y supervivencia del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), en un cultivo superintensivo con geomembranas.

Objetivos específicos.

1. Analizar los efectos de tres diferentes densidades de siembra (300 Plm^{-3} , 500 Plm^{-3} , 700 Plm^{-3}), sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.
2. Comparar los efectos de tres diferentes tipos de alimentos balanceados (MaltaCleyton® superintensivo, MaltaCleyton® mediana densidad, Silver cup®) sobre el crecimiento y supervivencia de un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo
3. Comparar los efectos de tres diferentes tipos de probióticos (EPICIN®-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM®, Neutrobacter®), sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo
4. Analizar la relación beneficio-costos en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) en densidades de 500 Plm^{-3} , probiótico comercial a base de *Bacillus sp.* y alimento balanceado sin proteína de origen marino en cuatro ciclos de cultivo.

CAPITULO 1. Análisis de los efectos de tres diferentes densidades de siembra (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³), sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

1.1. Resumen específico

Se cultivó durante 13 semanas (90 días) camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) Pl_{15} (aproximadamente 0.0011 g) a tres densidades de siembra ($T1=300 Plm^{-3}$, $T2=500 Plm^{-3}$, $T3=700 Plm^{-3}$) por triplicado en geomembranas circulares de $35m^3$, para determinar que densidad de siembra es la mejor para cultivar esta especie de camarón bajo condiciones semi-controladas en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (UAN) en San Blas Nayarit, México. Se alimentaron con balanceado comercial *at libitum* (40 %-20 % proteína), con una tasa de alimentación del 15 %-2 %. A través de biometrías se obtuvo su crecimiento y supervivencia semanalmente. Los parámetros físico-químicos de la calidad del agua solo mostraron diferencias significativas en las concentraciones de NO_2 . El T3 presentó las concentraciones más elevadas de O_2 (5.37 ± 0.52^a), con respecto a los otros tratamientos (T3 y T2). Las menores concentraciones de NO_2 se registraron en el T1 (0.041 ± 0.04^b). No se registraron diferencias significativas en temperatura, salinidad, pH, NAT, NH_3 , NO_3 , PT y PO_4 . Las variables de respuesta muestran que existen diferencias significativas en todas las variables de respuesta a excepción de la TEC; supervivencia T3 (81.4 ± 12.39^a), peso final y TC/semanal T1 (9.73 ± 0.81^a , 0.69 ± 0.27^a) y FCA T3 (1.54 ± 0.15^a). Se concluye que la densidad de siembra afecta directamente proporcional al crecimiento de los organismos e inversamente proporcional a la supervivencia. Sin embargo, aunque las descargas de materia orgánica en la columna de agua va en aumento en proporción de las densidades, el buen manejo del cultivo y aplicaciones de probióticos u otras fuentes de carbono (melazas) en porcentajes adecuados, puede controlar y mitigar el deterioro de la calidad del agua, además como apoyo a la alimentación de los camarones cultivados.

1.2 Introducción

En los cultivos de camarón, sobre todo en los cultivos superintensivos, se les provee de grandes cantidades de alimento artificial (Tacon *et al.*, 2002) y mantienen una alta biomasa de camarón, en las geomembranas se pueden llegar a presentar floraciones excesivas de fitoplancton, bajas concentraciones de oxígeno y niveles elevados de amonio (NH_4), ocasionando condiciones estresantes para el camarón, lo que trae como consecuencia una baja supervivencia y malas producciones (Boyd, 2003). Como resultado de la presión que enfrentan los productores para mejorar la bioseguridad, la calidad del agua y la producción, ha surgido una tendencia en muchos países por el desarrollo de sistemas intensivos de producción con un mínimo de recambio de agua (Tacon *et al.*, 2002). Este tipo de sistemas se llevan a cabo principalmente en tanques de concreto o plástico, o en geomembranas pequeñas (200 org/m^2) (Ray *et al.*, 2011), debido a la eficiencia en la remoción del nitrógeno (N_2) inorgánico es posible reducir e incluso eliminar el recambio de agua. Los costos de alimentación disminuyen más de 25 % al utilizar la biomasa microbiana como fuente de proteína (Avnimelech, 2007).

Además este tipo de cultivos se presenta como alternativa por su nivel de bio-seguridad y por sus ventajas en el aumento del rendimiento (Brito *et al.*, 2014a) y menores residuos de compuestos nitrogenados (NAT) (Castillo-Soriano *et al.*, 2013). Además este tipo de cultivos cuentan con los denominados cultivos de apoyo, que consisten en la aplicación de probióticos, los cuales aumentan la resistencia a las infecciones (Keysami *et al.*, 2012), mejora la actividad enzimática en el proceso de digestión (Nimrat *et al.*, 2013), mejora los niveles de crecimiento (Shen *et al.*, 2010) y estimula la proliferación de plancton y comunidades bacterianas benéficas (Maia *et al.*, 2013). Además la aplicación de melaza viene a fortalecer el principal factor de crecimiento intensivo de la bacteria heterotrófica que consume el carbón orgánico (De Schryver, 2008). Por ello, frecuentemente es necesario adicionar cantidades significativas de fuente de carbón, como melazas (Avnimelech, 2007). En la actualidad, este tipo de cultivos pueden lograr producciones de 80 ton/ha. Sin embargo, los costos de operación son relativamente altos y se requiere de una numerosa y especializada fuerza laboral.

Los cultivos de camarón en geomembranas vienen a ser una buena alternativa que mejore los rendimientos en supervivencia y crecimiento, diversos autores coinciden en ese sentido (Samocha *et al.*, 2004; Collins *et al.*, 2005; Sowers y Tomasso, 2006; Arzola-González *et al.*, 2008; Roy *et al.*, 2009; Miranda *et al.*, 2010; Roy y Davis, 2010; Valenzuela-Quiñonez *et al.*, 2010; Godínez-Siordia *et al.*, 2011; Wuditsin y Boyd, 2011; Prapaiwong y Boyd, 2012, Arámbul *et al.*, 2019). Se han realizado estudios del efecto de la densidad de siembra y la estacionalidad en la producción de camarón azul *Litopenaeus stylirostris*, Aragón *et al.* (2000), señalan que de acuerdo con el desempeño de la especie en distintas densidades de siembra y épocas de cultivo, concluyen que para el ciclo de primavera la mejor densidad de siembra es de 15 PL/m² y para el ciclo de verano-otoño de 20 PL/m². Resultados mencionados por algunos autores (Wyban *et al.*, 1995; Flores, 1994; Limsuwan, 2005) después de haber trabajado con altas densidades de camarón cultivado, reportan que durante la pre-engorda con 1000 PL/m² los camarones alcanzan condiciones normales de crecimiento entre 1 a 1.5 g en un periodo de 4 a 6 semanas, estiman que la mortalidad para esta etapa es del 30 % y la densidad final la establecen en 350 juveniles/m².

El objetivo de la presente investigación fue analizar los efectos de tres densidades de siembra (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³), sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

1.3 Material y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Universidad Autónoma de Nayarit. Se cultivó camarón blanco *Penaeus vannamei* durante un ciclo de 13 semanas (90 días) en geomembranas circulares (35 m³), a tres densidades 300 Plm⁻³ (T1), 500 Plm⁻³ (T2) y 700 Plm⁻³ (T3), por triplicado (Figura 3). Las postlarvas P1₁₅ (0.011 g) fueron provista por el Laboratorio “Acopio de Larvas y Asesoría en Proyectos S.A. de C.V.”. La temperatura (°C) y oxígeno (mgL⁻¹) se midieron cada dos horas con un oxímetro YSI 550A[®], el pH con un potenciómetro Hanna pHep Tester[®] (previamente calibrado con solución Buffer 4, 7 y 10) y la salinidad (‰) con un refractómetro Vital Sine SR-6[®] (7:00 y 19:00 hr.), la tasa de alimentación fue de un 15-2 % de la biomasa, el alimento que se le suministró contenía niveles de proteína del 40-25 %, el primer mes se alimentó cada dos horas a boleó y el resto del ciclo se alimentó en comederos (cuatro por geomembranas). Se realizaron adiciones diarias de melaza (20 % de la tasa de alimentación diaria) y probiótico semanalmente EPICIN[®] HATCHERIES (2 gm⁻³) cuyos ingredientes activos son *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*.

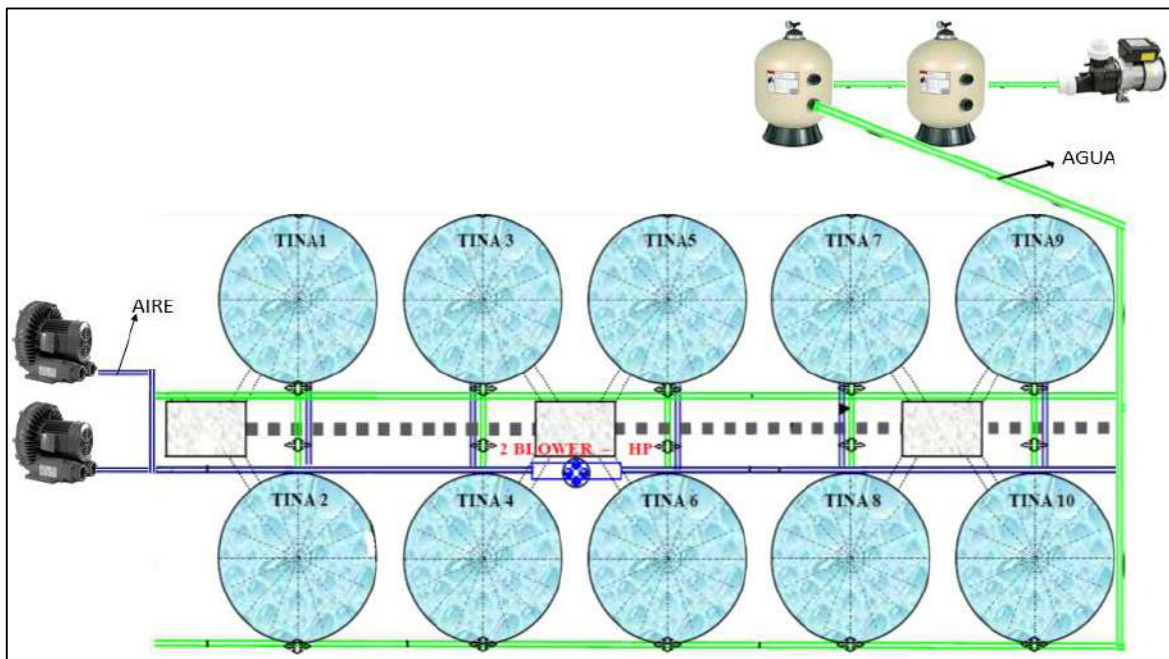


Figura 3. Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a tres densidades (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³). Geomembranas circulares de 35 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force[®] (2 HP), soplores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.

1.3.1 Calidad del agua

Semanalmente se tomaron muestras de agua en cada geomembrana para medir las variaciones en las concentraciones de los parámetros físico-químicos: nitrógeno amoniacal total (NAT), amonio ($\text{NH}_3\text{-NH}_4$), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4) y fósforo total (PT). Para la determinación de amonio (NH_3) se utilizó el método de indofenol. El amonio reacciona con salicilato alcalino en presencia de cloro para formar un indofenol verde-azul complejo, los catalizadores se incorporan para garantizar el desarrollo completo y rápido de color. Los nitritos (NO_2) a través de la reacción con el ácido sulfanílico, el compuesto resultante es un compuesto rojizo que de acuerdo a su intensidad es la concentración de la variable. Para la determinación de los nitratos (NO_3) primero se reducen a nitritos, el nitrito resultante se determina mediante la reacción de diazonio para formar un tinte rojizo. Los fosfatos (PO_4) se determinaron a través de hacerlos reaccionar en condiciones ácidas con molibdato de amonio para formar ácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico para formar un color azul característico del molibdeno. Todos los métodos antes descritos fueron leídos con un fotómetro YSI 9500[®] direct-read photometer[®] con su respectivo kit de materiales y reactivos.

Los resultados de la calidad del agua fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23[®], realizándoles una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar las diferencias entre los tratamientos.

1.3.2 Crecimiento y supervivencia

La supervivencia se calculó al finalizar el ciclo de cultivo según Steffens, 1987 ($S = (T_I / T_F) * 100$); donde S es la supervivencia, T_I y T_F son organismos sembrados y organismos supervivientes respectivamente. Las biometrías se realizaron semanalmente para determinar el crecimiento en peso (g), con base a ello se estimó la tasa de crecimiento (TC), la cual se obtuvo mediante la fórmula $TC = Pg/t$ (Steffens, 1987), donde: Pg = peso ganado (peso final (g) – peso inicial (g)); t = tiempo de cultivo. La tasa específica de crecimiento (TEC),

presentada como %/día se calculó con la fórmula $TEC = ([\ln Pf - \ln Pi] / t) * 100$ (Ricker, 1979; Hopkins, 1992), donde \ln = logaritmo natural; Pf = peso final (g); Pi = peso inicial (g); t = días de cultivo. El factor de conversión alimenticia (FCA) se calculó con la siguiente fórmula $FCA = \text{Cantidad de alimento suministrado} / \text{Biomasa generada}$, se determinó el porcentaje del índice de rendimiento (IR) mediante la fórmula $I.R. = C * S$, donde C = tasa de crecimiento, S =supervivencia (Aragón *et al.*, 1999).

Los resultados del crecimiento y supervivencia fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23[®], realizándoles prueba de normalidad Kolomogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

1.3.3 Análisis en fresco y bacteriológicos

Semanalmente se realizaron análisis en fresco del camarón bajo la metodología de Morales-Covarrubias (2014). El análisis en fresco es la técnica que se utiliza para monitorear el estado de salud de los organismos y realizar diagnósticos presuntivos en el laboratorio y campo. Este análisis consiste en la disección del camarón en todos sus estadios, para observar las alteraciones y patógenos que presenten sus órganos y tejidos.

Para la realización de los análisis en fresco se utilizó:

- Microscopio compuesto, con objetivos de 4X, 20X, 40X, 60X y 100X.
- Portaobjetos y cubreobjetos.
- Kit de disección.
- Cajas de Petri.
- Pizeta.
- Guantes.
- Agua de mar esterilizada.
- Jeringas desechables.
- Manual.

Técnica.

1. Los organismos se miden y se pesan para obtener el peso y el tamaño promedio.
2. Se analiza la superficie del organismo para detectar deformaciones en el rostrum y en el sexto segmento abdominal, así como cutícula delgada, epicomensales, decoloración, coloración rojiza, melanización, ampollas y necrosis de cutícula, pleópodos, pereiópodos y antenas.
3. Se selecciona una pequeña porción de cada tejido u órgano. Las porciones se colocan en sendos portaobjetos limpios. Se les adicionan unas gotas de agua de mar esterilizada y se pone el cubre objetos.

Las muestras que se tomaron fueron:

- a) Branquias. Se coloca una pequeña porción en el portaobjetos para buscar: cambios en la coloración de los filamentos branquiales (como melanización, necrosis, áreas blanquecinas bien definidas), presencia de protozoarios, bacterias filamentosas, detritus del fondo de los estanques, restos de microalgas, hongos, bacterias, melanizaciones y deformaciones.
- b) Hepatopáncreas. Se elimina todo el exoesqueleto del cefalotórax para descubrir el hepatopáncreas y el estómago. Se observa la coloración, el tamaño de la hepatopáncreas para definir si hay atrofia o hipertrofia del órgano. Se retira la membrana del hepatopáncreas y se parte por la mitad, para observar la coloración del fluido, textura, melanización y necrosis tubular. También se observa la cantidad de lípidos presentes, desprendimientos de células del epitelio de los túbulos.
- c) Porcentaje de prevalencia. Posteriormente se calcula el porcentaje de prevalencia y se determina el grado de severidad.

1.3.4 Análisis proximales

Se realizaron análisis proximales de los organismos, al inicio y final de cada experimento, así como de los alimentos empleados a través de los métodos de humedad (Gravimétrica), cenizas (Gravimétrica), lípidos (Soxhlet), proteína (Micro Kjeldahl) según la metodología AOAC (1990).

- Humedad. Secar el crisol en la mufla a 110 °C durante 30 min, transcurrido el tiempo se saca el crisol de la mufla y se coloca en el desecador por 30 min. Una vez enfriado el crisol, se coloca en la báscula analítica y se pesa, el valor dado se anota como “A”. Se colocan 5 g de la muestra y se pesa, el dato resultante se anota como “B”. Posteriormente se coloca el crisol con la muestra en la mufla a 105 ° C por 90 min. Se saca el crisol y se coloca en el desecador por 30 min. Por último se pesa el crisol con la muestra seca y se anota el valor como “C”. el porcentaje de humedad se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} \times 100$$

- Cenizas. Se rotulan dos crisoles y se llevan a la mufla a 550 °C por 30 min, posteriormente se colocan los crisoles en el desecador por 30 min; posteriormente se pesaran los crisoles en la báscula analítica y se anotan los datos de cada peso. Se colocan 2 g de la muestra en cada crisol, posteriormente se colocan los crisoles en el reverbero para calcinar toda la materia orgánica hasta que se deje de observar la presencia de gases. Una vez la muestra calcinada, las muestras se colocan en la mufla a 550 °C hasta que se observe ceniza color gris. Las muestras son retiradas y llevadas al desecador por 30 min; posteriormente se pesan y se anotan los resultados. El porcentaje de ceniza se determinó con la siguiente formula:

$$\% \text{ Ceniza} = ((W_f - W_c) / M) \times 100$$

Dónde:

W_f : Peso final (crisol + cenizas)

W_c : Peso inicial (crisol vacío)

M : Peso de muestra

- Lípidos: En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente.

Reactivos, Materiales y Equipo

Eter de petróleo, punto de ebullición 40–60 °C.

- Aparato de extracción Soxhlet.
- Horno de laboratorio ajustado a 105 °C.

- Desecador.
- Dedales de extracción.

Procedimiento

Sacar del horno los matraces de extracción sin tocarlos con los dedos, enfriarlos en un desecador y péselos con aproximación de miligramos.

Se pesa en un dedal de extracción manejado con pinzas, de 3 a 5 g de la muestra seca con aproximación de miligramos y se coloca en la unidad de extracción. Conectar al extractor el matraz con éter de petróleo a 2/3 del volumen total. Posteriormente se lleva a ebullición y se ajusta el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. La duración de la extracción dependerá de la cantidad de lípidos en la muestra; para materiales muy grasosos será de 6 horas. Al término, se evapora el éter por destilación o con rotovapor. Colocar el matraz en el horno durante 1.5 hr para eliminar el éter. Enfriar los matraces en un desecador y pesar con aproximación de mg. El porcentaje de lípidos se determinó con la siguiente formula:

$$\text{Lípidos (\%)} = 100((B - A)/C)$$

Dónde:

A = Peso del matraz limpio y seco (g)

B = Peso del matraz con grasa (g)

C = Peso de la muestra (g)

- Proteína: Por su costo es este el nutriente más importante en la dieta en una operación comercial; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio.

a) Método simple propuesto por Chow *et al.* (1980)

Reactivos:

- Óxido de mercurio, grado reactivo.

- Sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro, grado reactivo.
- Ácido sulfúrico (98 %), libre de Nitrógeno.
- Parafina.
- Solución de hidróxido de sodio al 40 %; disolver 400 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 1,000 ml.
- Solución de sulfato de sodio al 4 %.
- Solución indicadora de ácido bórico; agregar 5 ml de una solución con 0.1 % de rojo de metilo y 0.2 % de verde de bromocresol a un litro de solución saturada de ácido bórico.
- Solución estándar de ácido clorhídrico 0.1N.

Materiales y Equipo

- Unidad de digestión y destilación Kjeldahl.
- Matraces Kjeldahl de 500 ml.
- Matraces Erlenmayer de 250 ml.
- Perlas de ebullición.

Procedimiento:

Pesar con precisión de miligramos 1 g de muestra y colocar en el matraz Kjeldahl agregar 10 g de sulfato de potasio, 0.7 g de óxido de mercurio y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Colocar el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta que la solución se vea clara, continuar calentando por media hora más. Si se produce mucha espuma, adicionar un poco de parafina. Dejar enfriar; durante el enfriamiento adicionar poco a poco alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Ya frío agregue 25 ml de solución de sulfato de sodio y mezclar.

Agregar una perla de ebullición y 80 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40 % manteniendo inclinado el matraz. Se formarán dos capas. Conectar rápidamente el matraz a la unidad de destilación, caliente y coleccionar 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.

Al terminar de destilar, remover el matraz receptor, enjuagar la punta del condensador y titular con la solución estándar de ácido clorhídrico. El porcentaje de proteína se determinó con la siguiente formula:

$$\text{Nitrógeno en la muestra (\%)} = 100[(A \times B)/C] \times 0.014]$$

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} * 6.25$$

Dónde:

A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

B = Normalidad del ácido estándar

C = Peso de la muestra (g)

1.4 Resultados

1.4.1 Calidad del agua

A lo largo del cultivo la calidad del agua presentó variaciones, sin embargo la temperatura en cada uno de los tratamientos fueron mínimas, la temperatura media fue de 27.07 °C, mientras que las concentraciones de O₂ se registraron se mantuvieron por encima de 5 mgL⁻¹, no existen diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos. La salinidad no presentó variaciones significativas, la cual se mantuvo en una media de 33.63 ± 1.2 UPS. Las condiciones más ácidas (pH) se registraron en los tratamientos T2 y T3 (7.99 ± 0.25, 7.89 ± 0.27 respectivamente), existen diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos T2-T3 y el T1 (8.02 ± 0.23). Respecto a las variaciones de los compuestos nitrogenados, solo se registraron diferencias significativas (P<0.05) en los nitritos (NO₂), las máximas concentraciones de NO₂ se registraron en los tratamientos T1 y T2 (0.048 ± 0.02^a mgL⁻¹, 0.050 ± 0.02^a mgL⁻¹ respectivamente), el T3 presentó las mínimas concentraciones (0.041 ± 0.04^b mgL⁻¹). Sin embargo el PT no presentó diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos T3 (0.50 ± 0.22 mgL⁻¹), T1 (0.46 ± 0.12 mgL⁻¹) y el T2, (0.52 ± 0.15 mgL⁻¹) (Tabla I).

Tabla 1. Parámetros de la calidad del agua (Media ± DE) para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo.

Parámetro	Tratamiento		
	Media ± desviación estándar		
	T1	T2	T3
Temperatura (°C)	26.90 ± 2.3 ^a	27.18 ± 2.2 ^a	27.14 ± 2.2 ^a
O ₂ (mgL ⁻¹)	5.37 ± 0.52 ^a	5.20 ± 0.59 ^a	5.20 ± 0.74 ^a
Salinidad (UPS)	33.64 ± 1.25 ^a	33.62 ± 1.26 ^a	33.65 ± 1.24 ^a
pH	8.02 ± 0.23 ^a	7.99 ± 0.25 ^a	7.89 ± 0.27 ^a
NAT (mgL ⁻¹)	1.23 ± 0.61 ^a	1.25 ± 0.44 ^a	1.08 ± 0.54 ^a
NH ₃ (mgL ⁻¹)	0.06 ± 0.08 ^a	0.08 ± 0.15 ^a	0.05 ± 0.04 ^a
NO ₂ (mgL ⁻¹)	0.048 ± 0.02 ^a	0.050 ± 0.02 ^a	0.041 ± 0.04 ^b
NO ₃ (mgL ⁻¹)	1.47 ± 0.52 ^a	1.51 ± 0.73 ^a	1.67 ± 0.82 ^a
PT (mgL ⁻¹)	1.44 ± 0.23 ^a	1.49 ± 0.25 ^a	1.76 ± 0.79 ^a
PO ₄ (mgL ⁻¹)	0.46 ± 0.12 ^a	0.52 ± 0.15 ^a	0.50 ± 0.22 ^a

Dónde: T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a las tres densidades de siembra (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³). P<0.05. NAT=nitrógeno amoniacal total, NH₃ =Amonio no ionizado, NO₂ =Nitritos, NO₃ = Nitratos, PO₄= Fosfatos, P= Fósforo total.

Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA (P<0.05).

La temperatura se comportó de manera similar en cada uno de los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($P < 0.05$). La temperatura máxima se registró en la las dos primeras semanas ($< 31\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la menor se presentó en la semana 10 ($> 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), posteriormente empezó a incrementarse hasta alcanzar una temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la semana 13 (Figura 4).

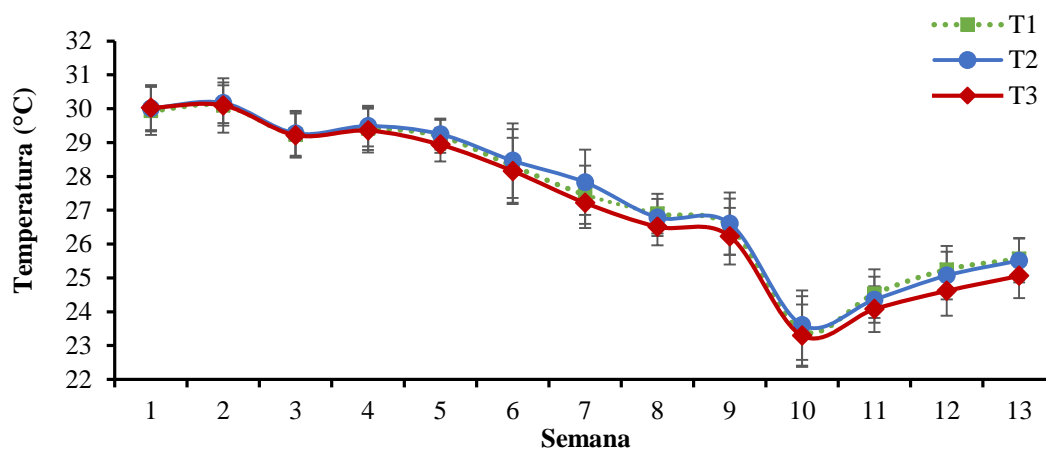


Figura 4. Comportamiento de las concentraciones de la temperatura (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 = 300 Plm^{-3} , T2 = 500 Plm^{-3} , T3 = 700 Plm^{-3} .

Las concentraciones de O_2 se mantuvieron por encima de los 5 mgL^{-1} y la máxima se registró en la semana tres (6 mgL^{-1}). Conforme avanzó el cultivo, esta concentración fue disminuyendo paulatinamente hasta la semana 13. No se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($P < 0.05$) (Figura 5).

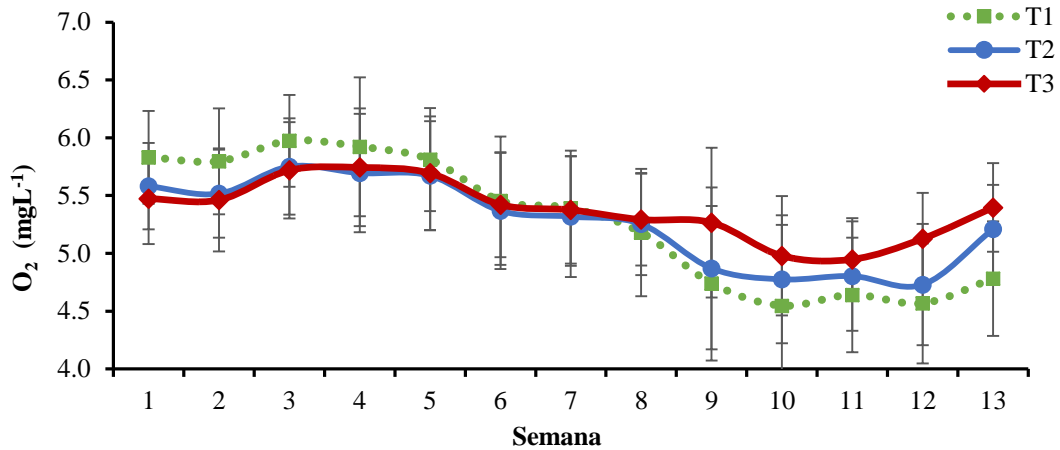


Figura 5. Comportamiento de las concentraciones de O₂ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³; O₂ = oxígeno.

Las concentraciones de salinidad (Figura 6) se mantuvo constante durante las 13 semanas de cultivo en todos los tratamientos. De la semana uno a la cuatro se mantuvo en 32 UPS, sin embargo, a partir de la semana cinco empezó a incrementarse hasta alcanzar una concentración de 35 UPS. No hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos.

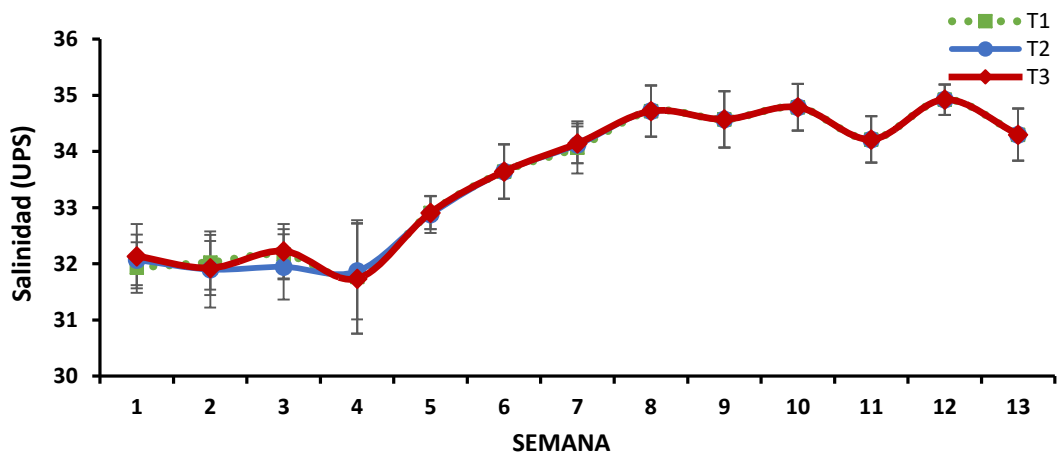


Figura 6. Comportamiento de las concentraciones de la salinidad (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³.

El pH en los tres tratamientos (Figura 7) se mantuvo por encima de 7.6 y menor de 8.6, sin embargo las concentraciones pH disminuyeron gradualmente conforme transcurrió el cultivo. En la semana 10 se registraron las menores concentraciones, posteriormente a esa semana, las concentraciones se incrementaron. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$).

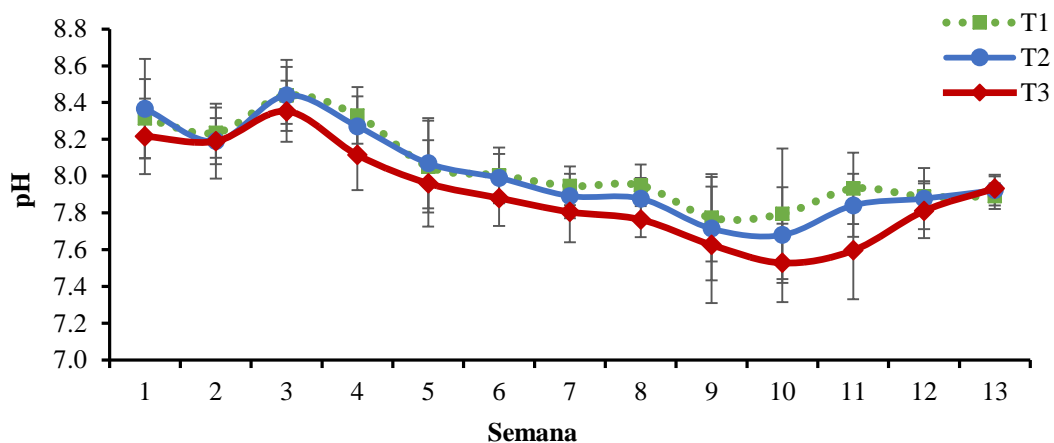


Figura 7. Comportamiento de las concentraciones del pH (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³.

En la Figura 8 se observa que las concentraciones de NAT iniciaron prácticamente en cero, sin embargo estas concentraciones se fueron incrementando en el transcurso del cultivo debido a los procesos físico-químicos del agua, el cual se afectó por el ciclo natural del nitrógeno.

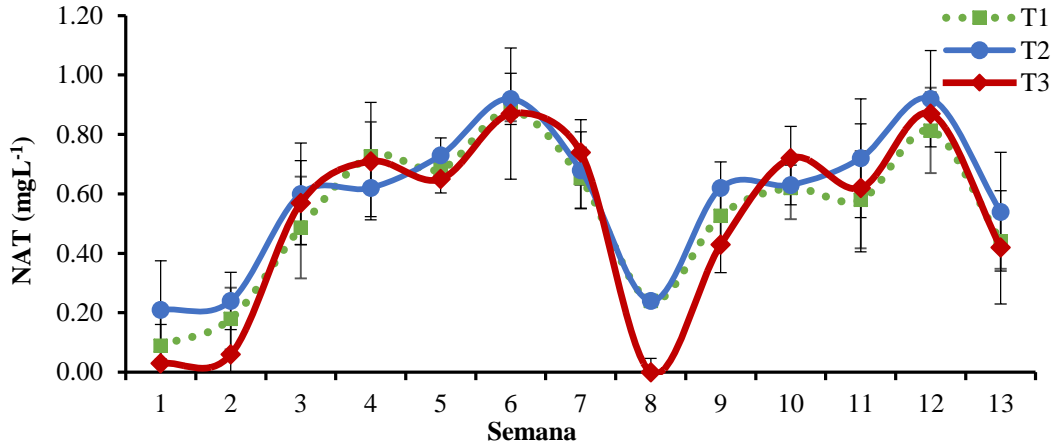


Figura 8. Comportamiento de las concentraciones de NAT (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³; NAT = nitrógeno amoniacal total.

Las concentraciones de NH₃ oscilaron durante el cultivo, las cuales no se mantuvieron estables debido a la maduración del agua (ciclo del nitrógeno), cuando las concentraciones aumentaban se les vertía melaza como fuente de carbono orgánico externo. Se puede observar que en los tres tratamientos el NH₃ se comportó de manera similar independientemente de las densidades del tratamiento (Figura 9).

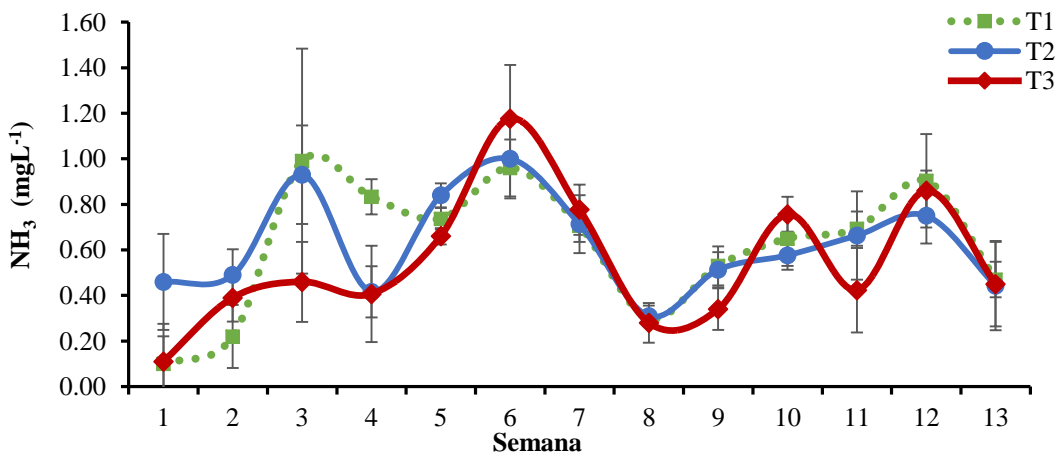


Figura 9. Comportamiento de las concentraciones de NH₃ (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³; NH₃ = amonio no ionizado.

El NO_2 se mantuvo por debajo de los 0.08 mgL^{-1} durante todo el cultivo, independientemente de las densidades (Figura 10). Sin embargo el T1 se mantuvo por debajo de las concentraciones de los otros tratamientos, encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$) en algunas semanas de cultivo (semana 1, 4, 5, 9, 11 y 13). Los tratamientos T2 y T3 tuvieron un comportamiento similar.

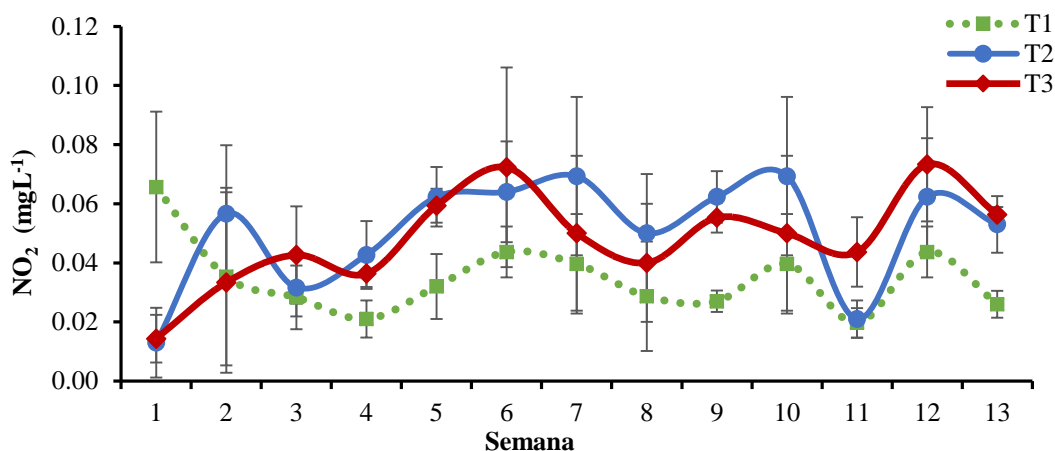


Figura 10. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 = 300 Plm^{-3} , T2 = 500 Plm^{-3} , T3 = 700 Plm^{-3} ; NO_2 = nitritos.

En la Figura 11, se observa que el comportamiento de NO_3 no superó las concentraciones de 3.5 mgL^{-1} , no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. A partir de la semana cuatro, dichas concentraciones se mantuvieron en el rango de 2 a 2.5 mgL^{-1} .

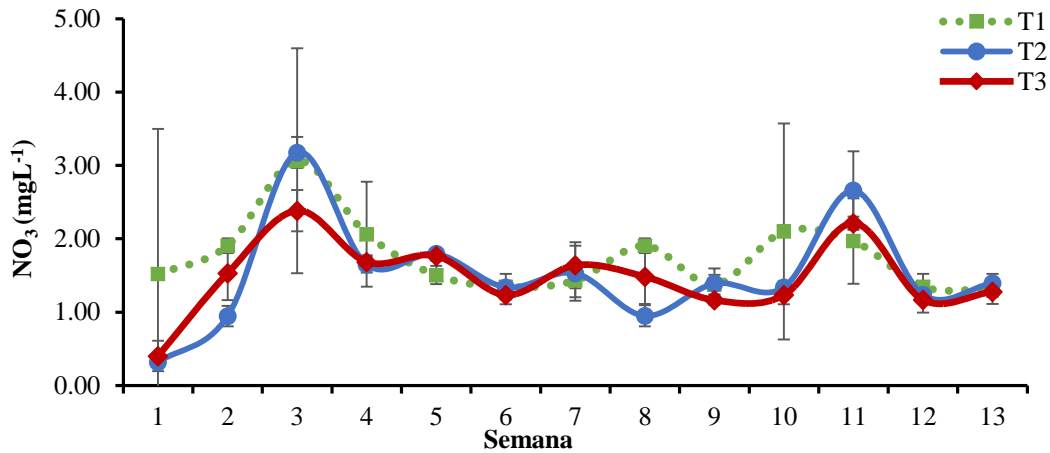


Figura 11. Comportamiento de las concentraciones de NO₃ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³; NO₃ = nitratos.

El PO₄ se mantuvo por debajo de los límites tolerables para la especie. No se encontraron diferencias significativas (P<0.05), durante todo el cultivo las concentraciones fueron >1 mgL⁻¹. Solo en las semanas tres y 11 el T2 tuvo diferencias significativas (P<0.5) con respecto a los otros dos tratamientos (Figura 12).

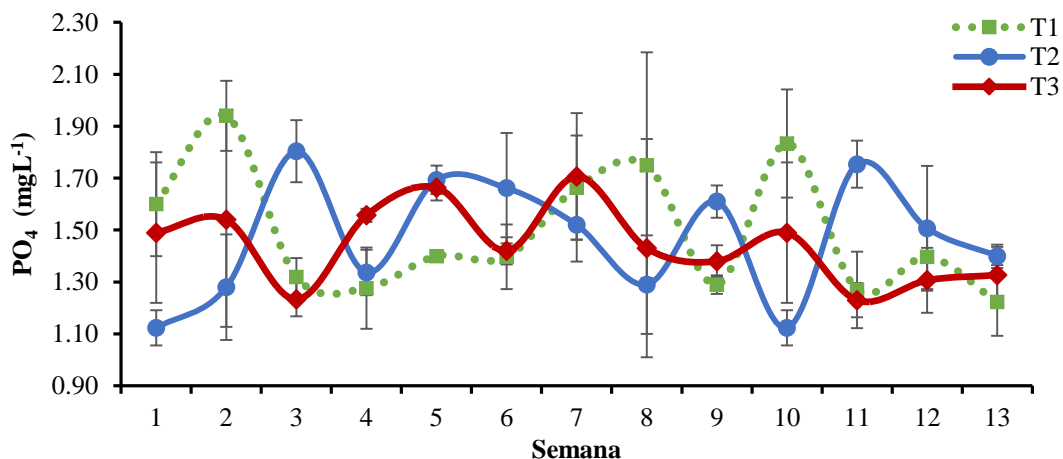


Figura 12. Comportamiento de las concentraciones de PO₄ (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 =300 Plm⁻³, T2 = 500 Plm⁻³, T3 =700 Plm⁻³; PO₄ = fosfatos.

Las concentraciones de PT no superó la concentración de 1 mgL^{-1} durante las 13 semanas de cultivo en cada uno de los tratamientos. Sin embargo en las semanas dos y ocho se observa que existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el T1 y los otros dos tratamientos (Figura 13).

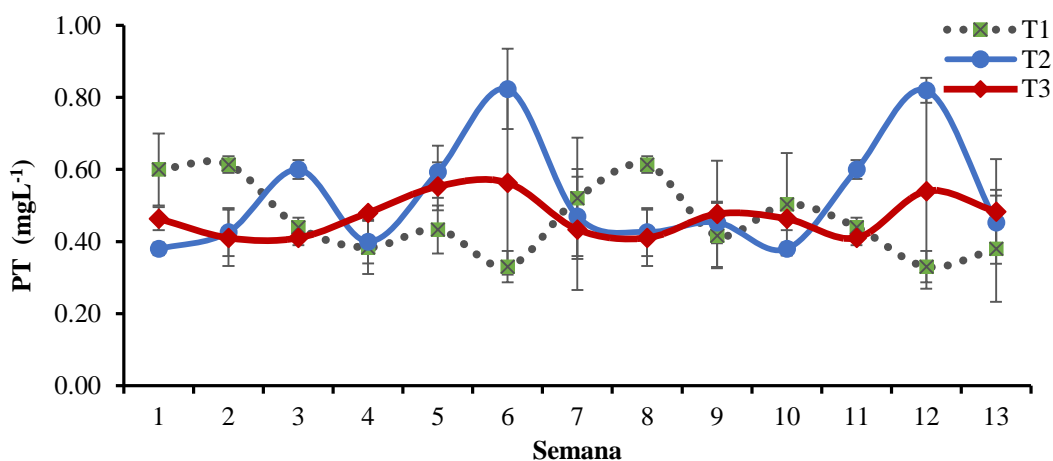


Figura 13. Comportamiento de las concentraciones de PT (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1 = 300 Plm^{-3} , T2 = 500 Plm^{-3} , T3 = 700 Plm^{-3} ; PT = fósforo total.

1.4.2 Crecimiento y supervivencia

La supervivencia fue mayor en el T1 (91.4 %), mientras que el T2 y el T3 presentaron supervivencias de 74.03 % y 65.02 % respectivamente. Hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos T1 y T3, sin embargo no se encontró diferencias significativas en los tratamientos T1 y T2, ni en T2 y T3. La mayor ganancia de peso semanal (0.70 g) y el mejor FCA (1.15:1) se registró en el T1, existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre T1 y T3; mientras que el mayor peso final se obtuvo en el T1, encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tres tratamientos. La tasa específica de crecimiento (TEC) también se vio afectada por las densidades de siembra, la mayor TEC se registró en los tratamientos T1 y T2 (9.77 % y 9.51 % respectivamente), mientras que la menor se observó

en el T3 (9.14 %), existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos T3-T1 y T2-T1 (Tabla II).

Tabla II: Variables de respuesta (Media \pm DE) para para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (300 Plm^{-3} , 500 Plm^{-3} , 700 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo.

Parámetro	Tratamiento		
	Media \pm desviación estándar		
	T1	T2	T3
Supervivencia (%)	91.4 \pm 9.39 ^a	74.03 \pm 7.80 ^b	65.72 \pm 5.02 ^c
Peso final (g)	9.73 \pm 0.53 ^a	7.65 \pm 0.66 ^b	5.40 \pm 0.87 ^c
Biomasa final (Kg)	93.37 \pm 2.23 ^b	99.107 \pm 1.84 ^a	86.94 \pm 3.52 ^c
TEC (%)	9.77 \pm 0.08 ^a	9.51 \pm 0.10 ^{ab}	9.14 \pm 0.28 ^b
FCA	1.15 \pm 0.15 ^b	1.23 \pm 0.11 ^{ab}	1.44 \pm 0.08 ^a
I. R (%)	63.52	40.45	25.34

Dónde: T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a las tres densidades de siembra (300 Plm^{-3} , 500 Plm^{-3} , 700 Plm^{-3}). TEC= Tasa específica de crecimiento diario, FCA= Factor de conversión alimenticia, I.R = Índice de rendimiento.

Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA ($P < 0.05$)

En la Figura 14, se observa que el comportamiento del crecimiento del camarón desde la semana cuatro presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos T1 y los otros tratamientos (T2 y T3), sin embargo no fue hasta la semana seis, que en los tratamientos T2 y T3 se empezó a observar las diferencias significativas en el crecimiento. Conforme fue pasando el tiempo de cultivo, estas diferencias fueron mayores hasta finalizar el cultivo (13 semanas).

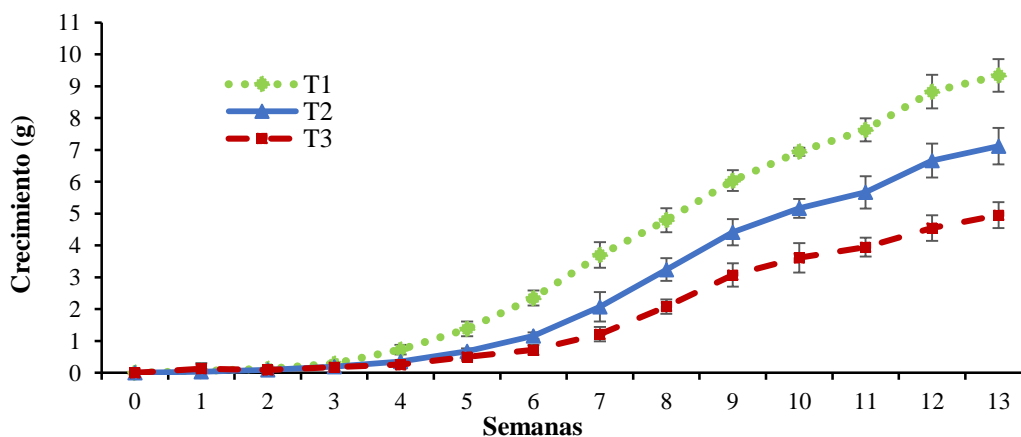


Figura 14. Comportamiento del crecimiento del camarón durante un ciclo de cultivo superintensivo. Dónde: T1 (300 Plm^{-3}), T2 (500 Plm^{-3}) T3 (700 Plm^{-3}). $P < 0.05$.

1.4.3 Análisis en fresco y bacteriológicos

Se realizaron semanalmente análisis bacteriológicos de la columna de agua y de los organismos cultivados como parte del monitoreo, control y prevención de enfermedades de origen bacteriano sobre los organismos cultivados. El promedio semanal de unidades formadoras de colonias (UFC) tanto de bacterias verdes y amarillas en hepatopáncreas y en agua, se mantuvieron por debajo de $5,000 \text{ celml}^{-1}$, según la tabla de clasificación e interpretación de resultados bacterianos se clasifican en normal-elevado (verdes) y normal (amarillas) lo cual no tuvo ningún efecto en las variables de respuesta. Además los análisis en fresco mostraron durante el cultivo un grado de severidad bajo (0-1) en todos los tratamientos. En el T3 los túbulos del hepatopáncreas presentaron rugosidad y un número reducido de lípidos (Figura 15).

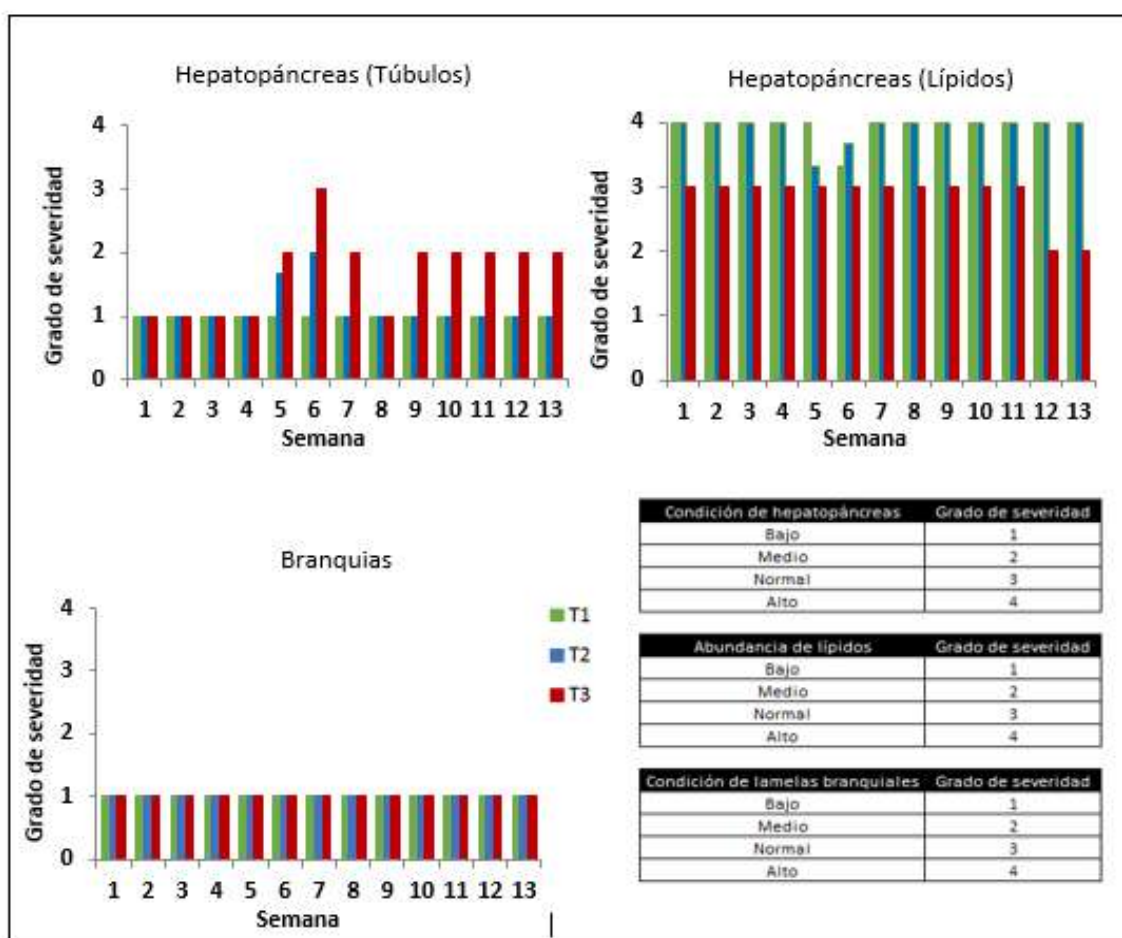


Figura 15. Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulos y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: $T1 = 300 \text{ Plm}^{-3}$, $T2 = 500 \text{ Plm}^{-3}$, $T3 = 700 \text{ Plm}^{-3}$.

1.4.4 Análisis proximales

Se efectuaron análisis proximales del alimento utilizado (MaltaClayton[®]) para validar su composición (Tabla).

Tabla III. Resultados de análisis proximal del alimento balanceado utilizado en el cultivo.

Parámetro	Técnica de análisis	Maltaclayton
Humedad (%)	<i>Gravimétrica</i>	8.11 ± 0.07
Cenizas (%)	<i>Gravimétrica</i>	8.49 ± 0.08
Proteína Cruda (%)	<i>micro Kjeldahl</i>	35.91 ± 1.21
EE (%)	<i>Soxhlet</i>	12.42 ± 0.19
ELN (%)	<i>Diferencia*</i>	39.69 ± 1.33

Dónde: EE= extracto etéreo, ELN= extracto libre de nitrógeno.

En la Tabla IV se puede observar la variación de la composición inicial y final de los organismos cultivados durante 13 semanas de cultivo.

Tabla IV: Resultado de análisis proximal (Media ± DE) de los organismos cultivados durante un ciclo de cultivo.

Parámetro	Técnica de análisis	Inicial	Final		
			T1	T2	T3
Humedad (%)	<i>Gravimétrica</i>	79.65 ± 0.15	71.61 ± 0.21	71.36 ± 0.37	71.18 ± 0.15
Cenizas (%)	<i>Gravimétrica</i>	11.69 ± 0.17	13.69 ± 0.22	12.73 ± 0.18	14.08 ± 0.14
Lípidos (%)	<i>Soxhlet</i>	15.04 ± 1.25	12.80 ± 0.41	15.99 ± 0.04	16.50 ± 0.20
Proteína (%)	<i>micro kjeldahl</i>	63.97 ± 0.69	46.59 ± 0.29	48.74 ± 0.42	45.57 ± 0.22

Dónde: T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a las tres densidades de siembra (300 Plm⁻³, 500 Plm⁻³, 700 Plm⁻³).

1.5 Discusión

Los promedios de las concentraciones de los parámetros físico-químicos del agua durante las 13 semanas de cultivo se mantuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boyd, 1998; Van Wyk y Scarpa, 1999; CONAPESCA, 2013), sin embargo las concentraciones del amonio (NH_3 , NH_4) estuvieron por encima de los rangos óptimos recomendados, estos incrementos se le atribuyen a las altas densidades de siembra empleadas y a los niveles elevados de proteína (40 %) que componen a las dietas, además los resultados coinciden con diversos autores (Anand *et al.*, 2013; Xu y Pan, 2013; Brito *et al.*, 2016), quienes a pesar de aplicar fuentes de carbón, observaron estos incrementos cuando se aplicaron bajas dosis de melaza (<30 %) y con aireación de 10 HpHa^{-1} (Avnimelech, 2009; Maia *et al.*, 2016). Sin embargo Lorenzen *et al.* (1997) reportan que las concentraciones de los compuestos nitrogenados se mantuvieron por debajo del límite tolerable de la especie, en cultivos dónde no se hicieron recambios de agua. Lo cual implica que una buena maduración del agua tanto en nutrientes y bacterias heterotróficas en proporciones adecuadas, permite que los niveles de NH_3 y NO_2 se mantengan estables.

La supervivencia obtenida en el presente estudio estuvo influenciada por las densidades de siembra usadas a cada tratamiento; la competencia por espacio y alimento dentro del sistema de cultivo dio un efecto directamente proporcional a la supervivencia, pero inversamente proporcional al crecimiento (Audelo, 1999). Las supervivencias obtenidas en el T1 (91.4 %) coincide con lo reportado por Williams *et al.* (1996) quienes obtuvieron supervivencias de 83 % a 95 % en cultivos hiperintensivo (284 Plm^{-2}), además Wasielesky (2006) con supervivencias de 98 % en densidades de 300 Plm^{-2} , no obstante en cultivos con aguas mixtas (salobre) y en aguas claras la supervivencia no fue mejor (65.91 % y 38.18 % respectivamente). Si bien, en cultivos semi-intensivos (13 Plm^{-2}) en Sonora México, en cultivos de camarón con agua de pozo a baja salinidad se obtuvieron supervivencias de un 61.5 % (Lagarda *et al.*, 2007), aunado a esto Olguín (2007) obtuvo una supervivencia de 95.8 % y 97.9 % (agua dulce y agua salada respectivamente) con densidades de 80 Plm^{-2} . Estos trabajos son consistentes con los reportados en la presente investigación, dónde se obtuvo una supervivencia de 91.4 % para densidades de 300 Plm^{-2} (T1), lo cual se reflejó en las diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2 con el T3.

El peso final obtenido presentó diferencias significativas en cada uno de los tratamientos, siendo el T1 el que el mejor crecimiento mostró en los 90 días de cultivo (9.73 g), lo cual es consistente en otros trabajos (Massaut *et al.*, 2007, Rendón-Martínez, 2008), quienes reportan un crecimiento de 9.5 g en 80 días de cultivo, pero Flores (1994), Zaráin (2001) y Lagarda *et al.* (2007) reportaron crecimientos de 15.5 g a 20 g en 77 y 80 días. Los resultados opuestos a la presente investigación se deben a la utilización de diferentes estrategias de cultivo (bajas salinidades, cultivos en jaulas flotantes en el mar, recambio de agua constante). Robertson *et al.* (1992) mencionan que los camarones cultivados en agua marina pueden crecer hasta 1.19 g/semana, mientras que en el medio natural esta especie crece hasta 1.4 g/semana a densidades relativamente bajas (Menz y Blake, 1980 en Wyban y Seeney, 1989). Empero la tasa específica de crecimiento (TEC) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos.

El FCA fue menor que el reportado por algunos investigadores en cultivos intensivos con densidades de 150 Plm⁻² en condiciones de cero recambio de agua (Gao *et al.*, 2012; Maia *et al.*, 2016) sin embargo más alto que el reportado por Maia *et al.* (2012) con densidades de 159 Plm⁻². Estos resultados muestran la importancia del manejo del cultivo mismo. Los recambios semanales de agua a las geomembranas permitieron mantener controlados los parámetros físico-químicos del agua, lo cual provocó que los organismos no gastaran energía en osmoregularse, sino más bien en su crecimiento. Además las bacterias heterotróficas del probiótico aplicado (Epicin Hatcheries® 2 gm⁻³) fungió como bio-remediador, lo cual provocó un ambiente de homeostasis en la columna de agua.

1.6 Conclusiones

Se acepta la hipótesis de que los camarones cultivados a densidades $>200 \text{ orgm}^{-3}$ no se ven afectados en las variables de zootécnicas como crecimiento y supervivencia, obteniendo buenos rendimientos productivos, sin embargo se observa un crecimiento inversamente proporcional respecto a la densidad de siembra e inversamente proporcional a la supervivencia, esto apoyado con el buen manejo del cultivo y aplicaciones de probióticos u otras fuentes de carbono (melazas) en porcentajes adecuados, puede controlar y mitigar el deterioro de la calidad del agua, además como apoyo a la alimentación de los camarones cultivados, lo cual se refleja en sus indicadores económicos.

1.7 Referencias

- Anand, P. S. S., Kumar, S., Panigrahi, A. Ghoshal, T. K., Dayal, J. S., Biswas, G., Sundaray, J. K., De, D., Ananda, R. R., Deo, A. D., Pillai, S. M., y Ravichandran, P. (2013). Effects of C:N ratio and substrate integration on periphyton biomass, microbial dynamics and growth of *Penaeus monodon* juveniles. *Aquaculture International*. 21: 511-524.
- Aragón-Noriega, E., Córdova-Murueta, J., Arámburu-Adame, C., Trías-Hernández, H. (1999). Precría intensiva de camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) a bajas temperaturas. *Revista de Investigaciones Marinas*. 20(1-3):89-93.
- Aragón-Noriega, E. A., y Calderón-Aguilera, L. E. (2000). Does damming of the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California. *Revista de Biología Tropical*. 48(4), 867-871.
- Arámbul-Muñoz, E., Ponce-Palafox, J. T., Claro De Los Santos, R., Aragón-Noriega, E. A., Rodríguez-Domínguez, G., & Castillo-Vargasmachuca, S. G. (2019). Influence of stocking density on production and water quality of a photoheterotrophic intensive system of white shrimp (*Penaeus vannamei*) in circular lined grow-out ponds, with minimal water replacement. *Latin american journal of aquatic research*. 47(3), 449-455.
- Arzola González, J. F., Flores Campaña, L. M., Izabal Ceja, A., Gutiérrez Rubio, Y. (2008). Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad, *Revista AquaTIC*. 28: 8-15.
- Audelo-Naranjo, J. M., y Zamudio-Armenta, O. O. (1999). Comparación de la tasa de crecimiento de *Penaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivos semi-intensivos de invierno y de verano. *Revista de biología tropical*. 47(1-2), 119-121.
- Avnimelech Y. (2009). Biofloc technology. A practical guide book, 182 pp. *The World Aquaculture Society*, Baton Rouge.

- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*. 264:140-147.
- Boyd, C. E. (2003). Bottom soil and water quality management in shrimp ponds. *Journal of Applied Aquaculture*. 13:11-33.
- Boyd, C. E. (1998). Pond water aeration systems. *Aquaculture Engineering*. 18:9-40.
- Brito, L. O., Chagas, A. M., Silva, E. P., Soares, R., Severi, W., y Galvez, A. O. (2016). Water quality, *Vibrio* density and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with red seaweed *Gracilaria birdiae* (Greville). *Aquaculture Research*. 47: 940-950.
- Brito, L. O., Arantes, R., Magnotti, C., Derner, R., Pchara, F., Olivera, A., y Vinatea, L. (2014^a). Water quality and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in coculture with green seaweed *Ulva lactuca* (Linnaeus) in intensive system. *Aquaculture International*. 22(2): 497-508.
- Castillo-Soriano, F. A., Ibarra-Junquera, V., Escalante- Minakata, P., Mendoza-Cano, O., Ornelas-Paz, J. J., Almanza-Ramírez, J. C., y Meyer-Willerer, A. O. 2013. Nitrogen dynamics model in zero water exchange, low salinity intensive ponds of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at Colima, México.
- Collins, A., Russell, B., Walls, A., Hoang, T. (2005). Inland prawn farming studies into the potential for inland marine prawn farming in Queensland. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries (DPI&F). Australia, 79 pp.
- CONAPESCA. 2013. Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de La carta Nacional Acuícola.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., y Verstraete, W. (2008). The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*. 277(3), 125-137.
- Flores N. A. (1994). Desarrollo científico y tecnológico del cultivo de camarón blanco del golfo *Penaeus setiferus* en estanques circulares. Convenio SEPESCACINVESTAV Mérida.

- Gao, L., Shan, H. W., Zhang, T. W., Bao, W. Y., y Ma, S. (2012). Effects of carbohydrate addition on *Litopenaeus vannamei* intensive culture in a zero-water exchange systems. *Aquaculture*. 342- 343: 89-96.
- Godínez-Siordia, D. E., Chávez-Sánchez, M. C., Gómez-Jiménez, S. (2011). Acuicultura epicontinental del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14 (1): 55-62.
- Hopkins, K. D. (1992). Reporting fish growth: a review of the basics. *Journal World Aquaculture Society*. 23: 173-179.
- Keysami, M. A., Mohammadpour, M., y Saad, C. R. (2012). Probiotic activity of *Bacillus subtilis* in juvenile freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) at different methods of administration to the feed. *Aquaculture International*. 20: 499-511.
- Lagarda, M. M., Páez, O. F., Valdez, J. C., Llamas, H. R., Esquer, M. J. L., y Padilla, M. R. (2007). Cultivo de camarón blanco utilizando agua de pozo de baja salinidad y tasa de recambio cero en la costa de Hermosillo, Sonora.
- Limsuwan, C. (2005). Cultivo intensivo de camarón blanco. *Boletín Nicovita*, Edición Octubre-Diciembre 2005. 6p.
- Lorenzen, K., Struve, J., Cowan, V. J. (1997). Impact of farming intensity and water management on nitrogen dynamics in intensive pond culture: a mathematical model applied to Thai commercial shrimp farms. *Aquaculture Research*. 28: 493 – 507.
- Maia, E. P, Modesto, G. A., Brito, L. O., Oliveira, A. G., Gesteira, T. C. V. (2016). Intensive culture system of *Litopenaeus vannamei* in commercial ponds with zero water exchange and addition of molasses and probiotics. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 51(1).
- Maia, E. P, Modesto, G. A., Brito, L. O., Oliveira, A. G., Gesteira, T. C. V. (2013). Effect of a commercial probiotic on bacterial and phytoplankton concentration in intensive shrimp farming (*Litopenaeus vannamei*) recirculation systems. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 41: 126-13779.

- Maia, E. P, Modesto, G. A., Brito, L. O., Oliveira, A. G. (2012). Crescimento, sobrevivência e produção de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema intensivo. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*. 17(1): 15-19.
- Massaut, L., y Argüello, G. W. (2007). Evaluación de tres regímenes de alimentación y el uso de geomembrana sobre el cultivo intensivo de camarón bajo invernadero. *Revista Industria Acuícola*. 6(3): 7-13.
- Miranda, I., Valles, J. L., Sánchez, R., Álvarez, Z. (2010). Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Revista Científica*. 4(20): 339-346.
- Nimrat, S., Tanutpongpalin, P., Sritunyalucksana, K., Boonthai, T., y Vuthiphandchai, V. (2013). Enhancement of growth performance, digestive enzyme activities and disease resistance in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) postlarvae by potential probiotics. *Aquaculture International*. 21: 655-666.
- Prapaiwong, N., y Boyd, C. E. (2012). Water temperature in inland, low salinity shrimp ponds in Alabama. *Journal of Applied Aquaculture*. 24(4): 334-341.
- Olguín, P. M. (2007). Entrevista. En: *Revista de divulgación Industria Acuícola*. 4(2): 16-19.
- Ray, A. J., Dillon, K. S., Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*. 45:127-136.
- Rendón-Martínez. (2008). Cultivo hiper-intensivo de camarón blanco *Litopennaeus vannamei* (Bonne, 1931) en estanques de agua dulce y agua marina bajo condiciones semicontroladas. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional autónoma de México.
- Ricker, W. (1979). Growth rates and models. 677-743 pp En: Hoar, W., Randall, D., Brett, J. editors. *Fish Physiology*. Volume VIII; Bioenergetics and Growth. Academic Press, New York, USA.

- Robertson, L., Samocha, T., Gregg, K., y Lawrence, A. (1992). Post-nursery growout potential of *Penaeus vannamei* in an intensive raceway system. *Ciencias Marinas* 18(4): 47-56.
- Roy, L. A., Davis, D. A., Whitis, G. N. (2009). Pond-to-pond variability in postlarval shrimp, *Litopenaeus vannamei*, survival and growth in inland low salinity waters of west Alabama. *Aquaculture Research*. 40: 1823-1829.
- Roy, L., Davis, A. (2010). Requirements for the culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters: water modification and nutritional strategies for improving production. En: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds). Avances en Nutrición Acuícola X- Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de noviembre, San Nicolás de los Garza, N.L., México. ISBN en trámite. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 61-78 pp.
- Samocha, T. M. Lawrence, A. L., Collins, C. A., Castille, F. L., Bray, W. A., Davies, C. J., Lee, P. G., Wood, G. F. (2004). Production of the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in high density greenhouse enclosed raceways using low salinity groundwater. *Journal of Applied Aquaculture*.15: 1-19.
- Shen, W. Y., Fu, L. L., Li, W. F., y Zhu, Y. R. (2010). Effect of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* on the growth, performance, immune response and antioxidant activities of the shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research*. 41: 1691-1698.
- Sowers, A. D., Tomasso, J. R. (2006). Production Characteristics of *Litopenaeus vannamei* in Low-salinity water augmented with mixed salts. *Journal of the World Aquaculture Society*. 37(2): 214-217.
- Steffens, W. (1987). Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Ed. Acriia, S. A., Zaragoza.
- Tacon, A. G. J., Cody, J. J., Conquest, L. D., Divakaran, S., Forster, I. P., Decamp, O. E. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific

- with shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*. 8:121-137.
- Van-Wyk, P., Scarpa, J. (1999). Water Quality and Management. In: Van Wyk, P., *et al.* (Eds.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee. 128–138. pp.
- 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), 396-403.
- Wuditsin, I., Boyd, C. E. (2011). Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity pond waters in Thailand. *Journal of the World Aquaculture Society*. 42: 766-777.
- Wyban, J. A., y Sweeney, J. N. (1989). Intensive shrimp grow out trials in a round pond. *Aquaculture*. 76: 215-225.
- 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: 267-279.
- Xu, W. J., y Pan, L. Q. (2013). Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input. *Aquaculture*. 412-413: 117-124.
- Zarain-Herzberg, M. y F. Asencio. (2001). Taura syndrome in México: Followup study in shrimp farms of Sinaloa. *Aquaculture*. 193:1-9.

CAPITULO 2. Comparación de los efectos de tres diferentes tipos de alimentos balanceados (MaltaCleyton® superintensivo, MaltaCleyton® mediana densidad, Silver cup®) sobre el crecimiento y supervivencia de un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

2.1 Resumen específico

Se cultivó durante 10 semanas (70 días) camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) Pl₁₅ (aproximadamente 0.0011 g) a una densidad de 500 Plm⁻³, en geomembranas circulares de 35 m³ por triplicado, los cuales fueron alimentados con tres alimentos comerciales: T1= Maltacleyton[®] superintensivo (40 % a 35 % proteína), T2= MaltaCleyton[®] mediana densidad (40 % a 25 % proteína), T3= Silver cup[®] formulado a base de harina animal y vegetal (45 % a 28 % proteína), para determinar qué tipo de alimento presentaba los mejores rendimientos en crecimiento y supervivencia bajo condiciones semi-controladas en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (UAN) en San Blas, Nayarit. Se alimentaron *at libitum* de acuerdo a su contenido proteico, a una tasa de alimentación del 15 % al 2 % de su biomasa. Por medio de biometrías semanales se obtuvo su crecimiento y supervivencia. Los parámetros físico-químicos de la calidad del agua no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05) en ninguno de los parámetros estudiados durante el cultivo (NAT, NH₃, NO₂, NO₃, PO₄, PT y CaCO₃). En las variables de respuesta solo se encontraron diferencias significativas (P<0.05) en la Biomasa final (Kg), entre los tratamientos T2 = 107.91 ± 3.77^b y los otros dos tratamientos (T1= 116.29 ± 3.28^a, T3= 119.49 ± 4.45^a). La supervivencia se mantuvo entre los 70.1 % y 71.4 %, el peso final fue de 9.20 g a 9.57 g, la TEC de 6.86 % a 6.94 %, el FCA de 1.26:1 a 1.36:1, el IR de 61.66 % a 68.32 %. Se concluye que indistintamente del alimento que se aplique, si se tiene un buen manejo de la calidad del agua y de los organismos sin importar el porcentaje de proteína, estos se desarrollaran apropiadamente haciendo rentable el cultivo. El uso de alimento balanceado con mayor porcentaje de proteína, repercute económicamente, si se utiliza un alimento más económico (menor porcentaje de proteína) se puede garantizar mayor vida útil al cultivo.

2.2 Introducción

El crecimiento de la industria acuícola está directamente relacionado con el aumento de la producción de alimento para peces y camarones, por esta razón existe la necesidad de utilizar harina de pescado. Sin embargo la producción mundial de estos ingredientes ha ido en decadencia debido a la sobre explotación de los recursos pesqueros (FAO, 2014). La producción de harina de pescado alcanzó su máximo en 1994 con 30 millones de toneladas (equivalente en peso vivo) y desde entonces ha seguido una tendencia fluctuante, pero en general descendente. Se está produciendo un porcentaje cada vez mayor de harina de pescado procedente de subproductos del pescado, los cuales solían desperdiciarse anteriormente. Se estima que los subproductos representan aproximadamente entre el 25 % y el 35 % del volumen total de la harina y el aceite de pescado producidos. La harina y el aceite de pescado se siguen considerando los ingredientes más nutritivos y digeribles para los alimentos balanceados destinados a los peces cultivados, pero las tasas de inclusión de estos en los alimentos balanceados para la acuicultura han mostrado una clara tendencia a la baja, debido a que se usan de manera más selectiva. El pescado y los productos pesqueros son algunos de los alimentos más comercializados en el mundo actualmente. En 2016, alrededor del 35 % de la producción pesquera mundial entró en el comercio internacional en diversas formas para el consumo humano o con fines no comestibles (FAO, 2018). Por esta razón, la búsqueda de alimentos alternativos que puedan reducir o eliminar la harina y el aceite de pescado de las dietas acuícolas es esencial, no solo para dar sostenibilidad al sector, sino también debido a los altos costos de estas materias primas (Salze *et al.*, 2010). En concordancia con lo que se ha observado durante el último par de décadas, la producción pesquera se ha estancado en 90 millones TM por año aproximadamente (Pauly y Froese, 2012).

La harina y el aceite de pescado son los ingredientes principales en las formulaciones tradicionales de alimentos para camarones. El primero (la harina) es una fuente de proteínas de alta calidad, fácil de digerir y buen perfil de aminoácidos, mientras que el segundo (aceite) es la única fuente de grasa disponible comercialmente además que contiene ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) (Sargent *et al.*, 2002; Suárez *et al.*, 2009; Oujifard *et al.*, 2012).

Los suministros mundiales de harina de pescado han alcanzado una meseta; aún, la demanda de estos recursos continúa aumentando, haciéndolo más caro y menos disponible (FAO, 2016). La popularidad de la soya extraída (SBM) como fuente de proteína es el resultado de su perfil de nutrientes bien equilibrado, alta digestibilidad, producción ampliable, disponibilidad en grandes cantidades y precio razonable (Samocha *et al.*, 2004; Amaya, Davis y Rouse, 2007). Si bien, presenta algunas desventajas que limitan su uso en alimentos para camarones y peces, entre ellos los niveles bajos de aminoácidos limitantes (Mai *et al.*, 2006), presencia de factores poco nutricionales (Dias *et al.*, 2009) y un limitado fósforo disponible (Suárez *et al.*, 2009). Por lo tanto, es importante explorar otras fuentes de proteínas que sean rentables, sostenibles y ecológicas para reducir el costo de los alimentos y apoye la industria de camarones en rápida expansión (Qiu y Davis, 2017).

Respecto al alimento que se le suministra a los cultivos de camarón, Tacon y Forster (2000) predijeron que el uso de la harina de pescado como ingrediente para alimentos en acuicultura descendería de 2'190,000 de toneladas utilizadas en el 2002, a 1'550,000 en el 2010. Esto se podría deber al incremento del precio de éste ingrediente y la baja en el valor del mercado de los productos cultivados, lo que ocasionaría que la harina de pescado fuera reemplazada por otros ingredientes de menor costo. En el mismo sentido New (2003) sugiere que el uso de fuentes proteicas alternativas en alimentos para la cría de organismos acuáticos resultaría en una menor inclusión de harina de pescado. La harina de soya es la proteína vegetal más utilizada en la acuicultura y la que se considera que tiene mayores posibilidades de sustituir a la harina de pescado como ingrediente en las dietas para cultivo de camarones (Hardy, 2006; Lim *et al.*, 2010). Suárez *et al.* (2009) sustituyeron la harina de pescado en un 80 % con proteína vegetal con la inclusión de harina de soya y canola en un 70 % y 30 %, respectivamente. Ray *et al.* (2010) demostraron que dietas a base de proteína vegetal en cultivos superintensivo con biofloc se puede sustituir el alimento a base de harina de pescado.

Diversos investigadores (Forster *et al.*, 2003; Samocha *et al.*, 2004; Goytortúa- Bores *et al.*, 2006; Amaya *et al.*, 2007; Cruz-Suarez *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Suarez *et al.*, 2009; Scopel *et al.*, 2011; Bauer *et al.*, 2012; Molina-Poveda *et al.*, 2013; Sookying *et al.*, 2013; Macias-Sancho *et al.*, 2014) han incluido como sustituto de harina de pescado variadas fuentes tanto animal como vegetal: harina de carne, harina de soya, harina de cangrejo, harina

de subproductos de ave, concentrados proteicos de soya y arroz, harina de microalgas, con diferentes niveles de inclusión; desde un 16 % al 100 %. Los cuales han obtenido buenos resultados y minimizado los costos de producción. Permitiendo así que la industria camaronícola no de penda de la materia prima proveniente de subproductos pesqueros marinos y pueda optar por las sustituciones de proteína de otras fuentes de origen.

Se ha demostrado que la sustitución de la fuente de proteína y sus concentraciones en las harinas tradicionales para el cultivo de camarón, son eficazmente viables. En algunas investigaciones se ha empleado el subproducto de granos de maíz (subproducto de destiladoras) y lo recomiendan como una alternativa para reducir los costos de la harina de productos pesqueros y de la tradicional harina de soya, lo cual permite la mejora en el rendimiento del crecimiento y actúa como agente inmunológico (Webster *et al.*, 1993) sobre todo en el cultivo de *P. vannamei* (Roy *et al.*, 2009; Sookying y Davis, 2011; Rhodes *et al.*, 2015; Qiu *et al.*, 2017). Una considerable investigación ha permitido observar que el remplazo en la proteína desde un 10 % - 40 % de esta fuente permite un crecimiento y supervivencias aceptables (Roy *et al.*, 2009; Rhodes *et al.*, 2015; Adedeji *et al.*, 2017). Además esta fuente de proteína alterna contiene menos factores antinutricionales (ácido fítico), superior a otras fuentes de proteína vegetales (Chatvijitkul *et al.*, 2016), lo que sugiere que la sustitución de las concentraciones de proteína es factible en las proporciones apropiadas para la especie.

El objetivo de la presente investigación fue comparar los efectos de tres diferentes alimentos balanceados (MaltaCleyton® superintensivo, MaltaCleyton® mediana densidad, Silver cup® sin harina de pescado) sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

2.3 Material y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Universidad Autónoma de Nayarit. Se cultivó durante 10 semanas (70 días) camarón blanco *Penaeus vannamei* en geomembranas circulares (35 m³), a una densidad de 500 Plm⁻³. La postlarva PL₁₅ (aproximadamente 0.011 g) fue provista por el Laboratorio “Acopio de Larvas y Asesoría en Proyectos S.A. de C.V.”. Una vez sembradas las PL se procedió a la engorda, se suministraron tres tipos de alimento comercial; MaltaCleyton[®] superintensivo del 40 % al 35 % proteína (T1), MaltaCleyton[®] mediana densidad del 40 % al 25 % de proteína (T2) formulado con harina de pescado, además se suministró alimento comercial Silver cup[®] formulado a base de harina animal (sin harina de pescado) y vegetal con un contenido proteico del 45 % al 28 % (T3). Se varió su presentación (molido, migaja, pellet) y cantidad en base a su crecimiento y se redujo la tasa de alimentación del 15 % al 2 % de su biomasa.

La temperatura (°C) y oxígeno (mgL⁻¹) se midieron cada dos horas con un oxímetro YSI 550A[®], el pH con un potenciómetro Hanna pHep Tester[®] (previamente calibrado con solución Buffer 4, 7 y 10) y la salinidad con el refractómetro Vital Sine SR-6[®] (7:00 y 19:00 hr.), la tasa de alimentación fue de un 15 % - 2 % de la biomasa, el primer mes se alimentó cada dos horas a boleó y el resto del ciclo se alimentó en comederos (cuatro por geomembranas). Se realizaron adiciones diarias de melaza (20 % de la tasa de alimentación diaria) y probiótico semanalmente EPICIN[®] HATCHERIES (2 gm⁻³) cuyos ingredientes activos son *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*.

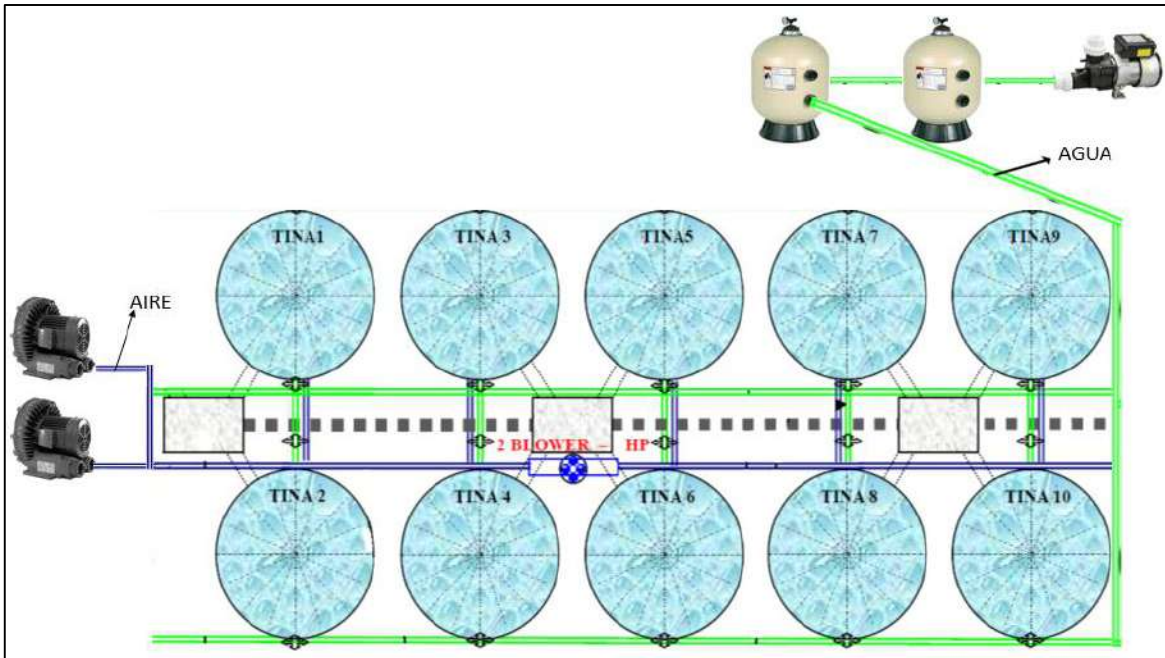


Figura 16. Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a una densidad de 500 Plm^{-3} , alimentados con tres alimentos comerciales: MaltaCleyton[®] alta densidad (T1), MaltaCleyton[®] media densidad (T2), Silver cup[®] sin harina de pescado (T3), en geomembranas circulares de 35 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force[®] (2 HP), soplores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.

2.3.1 Calidad del agua

Semanalmente se tomaron muestras de agua en cada geomembrana para medir las variaciones en las concentraciones de los parámetros físico-químicos: nitrógeno amoniacal total (NAT), amonio no ionizado ($\text{NH}_3\text{-NH}_4$), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), fósforo total (PT) y alcalinidad (CaCO_3). Para la determinación de amonio (NH_3) se utilizó el método de indofenol. El amonio reacciona con salicilato alcalino en presencia de cloro para formar un indofenol verde-azul complejo, los catalizadores se incorporan para garantizar el desarrollo completo y rápido de color. Los nitritos (NO_2) a través de la reacción con el ácido sulfanílico, el compuesto resultante es un compuesto rojizo que de acuerdo a su intensidad es la concentración de la variable. Para la determinación de los nitratos (NO_3) primero se reducen a nitritos, el nitrito resultante se determina mediante la reacción de diazonio para formar un tinte rojizo. Los fosfatos (PO_4) se determinaron a través de hacerlos reaccionar en condiciones acidas con molibdato de amonio para formar ácido

fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico para formar un color azul característico del molibdeno. Todos los métodos antes descritos fueron leídos con un fotómetro YSI 9500® direct-read photometer® con su respectivo kit de materiales y reactivos.

Los resultados de la calidad del agua fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23®, realizándoles una prueba de normalidad Kolomogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

2.3.2 Crecimiento y supervivencia

La supervivencia se calculó al finalizar el ciclo de cultivo según Steffens, 1987 ($S = (T_I / T_F) * 100$); dónde S es la supervivencia, T_I y T_F son organismos sembrados y organismos supervivientes respectivamente. Las biometrías se realizaron semanalmente para determinar el crecimiento en peso (g), con base en eso se estimó la tasa de crecimiento (TC), la cual se obtuvo mediante la fórmula $TC = Pg/t$ (Steffens, 1987), dónde: Pg = peso ganado (peso final (g) – peso inicial (g)); t = tiempo de cultivo. La tasa específica de crecimiento (TEC), presentada como %/día se calculó con la formula $TEC = ([\ln Pf - \ln Pi] / t) * 100$ (Ricker, 1979; Hopkins, 1992), dónde \ln = logaritmo natural; Pf = peso final (g); Pi = peso inicial (g); t = días de cultivo. El factor de conversión alimenticia (FCA) se calculó con la siguiente formula $FCA = \text{Cantidad de alimento suministrado} / \text{Biomasa generada}$, se determinó el porcentaje del índice de rendimiento (IR) mediante la fórmula $I.R. = C * S$, dónde C = tasa de crecimiento, S =supervivencia (Aragón *et al.*, 1999).

Los resultados del crecimiento y supervivencia fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23®, realizándoles prueba de normalidad Kolomogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

2.3.3 Análisis en fresco y bacteriológicos

Semanalmente se realizaron análisis en fresco del camarón bajo la metodología de Morales-Covarrubias (2014). El análisis en fresco es la técnica que se utiliza para monitorear el estado de salud de los organismos y realizar diagnósticos presuntivos en el laboratorio y campo. Este análisis consiste en la disección del camarón en todos sus estadios, para observar las alteraciones y patógenos que presenten sus órganos y tejidos.

Para la realización de los análisis en fresco se utilizó:

- Microscopio compuesto, con objetivos de 4X, 20X, 40X, 60X y 100X.
- Portaobjetos y cubreobjetos.
- Kit de disección.
- Cajas de Petri.
- Pizeta.
- Guantes.
- Agua de mar esterilizada.
- Jeringas desechables.
- Manual.

Técnica.

4. Los organismos se miden y se pesan para obtener el peso y el tamaño promedio.
5. Se analiza la superficie del organismo para detectar deformaciones en el rostrum y en el sexto segmento abdominal, así como cutícula delgada, epicomensales, decoloración, coloración rojiza, melanización, ampollas y necrosis de cutícula, pleópodos, pereiópodos y antenas.
6. Se selecciona una pequeña porción de cada tejido u órgano. Las porciones se colocan en sendos portaobjetos limpios. Se les adicionan unas gotas de agua de mar esterilizada y se pone el cubre objetos.

Las muestras que se tomaron fueron:

- d) **Branquias**. Se coloca una pequeña porción en el portaobjetos para buscar: cambios en la coloración de los filamentos branquiales (como melanización, necrosis, áreas blanquecinas bien definidas), presencia de protozoarios, bacterias filamentosas, detritus del fondo de los estanques, restos de microalgas, hongos, bacterias, melanizaciones y deformaciones.
- e) **Hepatopáncreas**. Se elimina todo el exoesqueleto del cefalotórax para descubrir el hepatopáncreas y el estómago. Se observa la coloración, el tamaño de la

hepatopáncreas para definir si hay atrofia o hipertrofia del órgano. Se retira la membrana del hepatopáncreas y se parte por la mitad, para observar la coloración del fluido, textura, melanización y necrosis tubular. También se observa la cantidad de lípidos presentes, desprendimientos de células del epitelio de los túbulos.

- f) **Porcentaje de prevalencia.** Posteriormente se calcula el porcentaje de prevalencia y se determina el grado de severidad.

2.3.4 Análisis proximales

Se realizaron análisis proximales de los organismos, al inicio y final de cada experimento, así como de los alimentos empleados a través de los métodos de humedad (Gravimétrica), cenizas (Gravimétrica), lípidos (Soxhlet), proteína (Micro Kjeldahl) y nitrógeno no proteico según la metodología AOAC (1990).

- **Humedad.** Secar el crisol en la mufla a 110 °C durante 30 minutos, transcurrido el tiempo se saca el crisol de la mufla y se coloca en el desecador por 30 minutos. Una vez enfriado el crisol, se coloca en la báscula analítica y se pesa, el valor dado se anota como “A”. Se colocan 5 gr de la muestra y se pesa, el dato resultante se anota como “B”. Posteriormente se coloca el crisol con la muestra en la mufla a 105 ° C por 90 minutos. Se saca el crisol y se coloca en el desecador por 30 minutos. Por último se pesa el crisol con la muestra seca y se anota el valor como “C”. el porcentaje de humedad se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} \times 100$$

- **Cenizas.** Se rotulan dos crisoles y se llevan a la mufla a 550 °C por 30 minutos, posteriormente se colocan los crisoles en el desecador por 30 minutos; posteriormente se pesaran los crisoles en la báscula analítica y se anotan los datos de cada peso. Se colocan 2 g de la muestra en cada crisol, posteriormente se colocan los crisoles en el reverbero para calcinar toda la materia orgánica hasta que se deje de observar la presencia de gases. Una vez la muestra calcinada, las muestras se colocan en la mufla a 550 °C hasta que se observe ceniza color gris. Las muestras son retiradas y llevadas

al desecador por 30 minutos; posteriormente se pesan y se anotan los resultados. El porcentaje de ceniza se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ceniza} = ((W_f - W_c) / M) \times 100$$

Dónde:

W_f : Peso final (crisol + cenizas)

W_c : Peso inicial (crisol vacío)

M : Peso de muestra

- **Lípidos:** En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso después de evaporar el solvente.

Reactivos, Materiales y Equipo

Eter de petróleo, punto de ebullición 40–60°C.

- Aparato de extracción Soxhlet.
- Horno de laboratorio ajustado a 105°C.
- Desecador.
- Dedales de extracción.

Procedimiento

Sacar del horno los matraces de extracción sin tocarlos con los dedos, enfriarlos en un desecador y péselos con aproximación de miligramos.

Se pesa en un dedal de extracción manejado con pinzas, de 3 a 5 g de la muestra seca con aproximación de miligramos y se coloca en la unidad de extracción. Conectar al extractor el matraz con éter de petróleo a 2/3 del volumen total. Posteriormente se lleva a ebullición y se ajusta el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. La duración de la extracción dependerá de la cantidad de lípidos en la muestra; para materiales muy grasos será de seis horas. Al término, se evapora el éter por destilación o con rotovapor. Colocar el matraz en el horno durante hora y media para eliminar el éter. Enfriar los matraces en un desecador y pesar con aproximación de miligramos. El porcentaje de lípidos se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{Lípidos (\%)} = 100((B - A)/C)$$

Dónde:

A = Peso del matraz limpio y seco (g)

B = Peso del matraz con grasa (g)

C = Peso de la muestra (g)

- **Proteína:** Por su costo es este el nutriente más importante en la dieta en una operación comercial; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio.

a) Método simple propuesto por Chow *et al.* (1980)

Reactivos:

- Óxido de mercurio, grado reactivo.
- Sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro, grado reactivo.
- Ácido sulfúrico (98 %), libre de Nitrógeno.
- Parafina.
- Solución de hidróxido de sodio al 40 %; disolver 400 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 1,000 ml.
- Solución de sulfato de sodio al 4 %.
- Solución indicadora de ácido bórico; agregar 5 ml de una solución con 0.1 % de rojo de metilo y 0.2 % de verde de bromocresol a un litro de solución saturada de ácido bórico.
- Solución estándar de ácido clorhídrico 0.1N.

Materiales y Equipo

- Unidad de digestión y destilación Kjeldahl.
- Matraces Kjeldahl de 500 ml.
- Matraces Erlenmayer de 250 ml.
- Perlas de ebullición.

Procedimiento:

Pesar con precisión de miligramos 1 g de muestra y colocar en el matraz Kjeldahl agregar 10 g de sulfato de potasio, 0.7 g de óxido de mercurio y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Colocar el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta que la solución se vea clara, continuar calentando por media hora más. Si se produce mucha espuma, adicionar un poco de parafina. Dejar enfriar; durante el enfriamiento adicionar poco a poco

alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Ya frío agregue 25 ml de solución de sulfato de sodio y mezclar.

Agregar una perla de ebullición y 80 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40 % manteniendo inclinado el matraz. Se formarán dos capas. Conectar rápidamente el matraz a la unidad de destilación, caliente y colectar 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.

Al terminar de destilar, remover el matraz receptor, enjuagar la punta del condensador y titular con la solución estándar de ácido clorhídrico. El porcentaje de proteína se determinó con la siguiente formula:

$$\text{Nitrógeno en la muestra (\%)} = 100[(A \times B)/C] \times 0.014]$$

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} * 6.25$$

Dónde:

A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

B = Normalidad del ácido estándar

C = Peso de la muestra (g)

2.4 Resultados

Se realizó un experimento para determinar el efecto que produce el uso de tres tipos de alimento comercial (MaltaCleyton[®] superintensivo del 40 % al 35 % proteína (T1), MaltaCleyton[®] mediana densidad del 40 % al 25 % de proteína (T2) formulado con harina de pescado, además se suministró alimento comercial Silver cup[®] formulado a base de harina animal (sin harina de pescado) y vegetal con un contenido proteico del 45 % al 28 % (T3), en las variables de respuesta (supervivencia, TEC, peso final, crecimiento semanal, FCA) y en la calidad del agua (temperatura, salinidad, pH, O₂, NAT, NH₃, NO₂, NO₃, PT, PO₄, CaCO₃), de un cultivo de camarón blanco *Penaeus vannamei* en geomembranas circulares durante 10 semanas (70 días) en condiciones semi controladas a una densidad de siembra de 500 PLm⁻³.

2.4.1 Calidad del agua

Respecto a los resultados de la calidad del agua (Tabla V), no se encontraron diferencias significativas (P<0.05) para los parámetros físico-químicos en ninguno de los tratamientos. La temperatura se mantuvo en una media de 31 °C, la concentración del oxígeno fue >5 mgL⁻¹, la salinidad fue constante durante todo el ciclo de cultivo con una media de 30.34 UPS y el pH osciló entre los 7.5 y 7.6. A pesar de no tener problemas con las concentraciones de los compuestos nitrogenados y el PT ya que se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para la especie, se encontraron diferencias significativas en la CaCO₃ (P<0.05), los tratamientos T1 y T3 presentaron básicamente el mismo comportamiento, no obstante el tratamiento T2 presentó las menores concentraciones (89.3 ± 22.24 mgL⁻¹), se observaron diferencias significativas (P<0.05) entre T2 y los tratamientos T1 y T3.

Tabla V. Parámetros de la calidad del agua (Media \pm DE) para los tratamientos MaltaCleyton[®] superintensivo (T1), MaltaCleyton[®] mediana densidad (T2), Silver cup[®] (T3) de un cultivo superintensivo de camarón un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm⁻³.

Parámetro	Tratamiento		
	Media \pm Desviación Estándar		
	T1	T2	T3
Temperatura (°C)	31.19 \pm 0.89 ^a	31.34 \pm 0.93 ^a	31.11 \pm 0.84 ^a
O ₂ (mgL ⁻¹)	5.45 \pm 0.74 ^a	5.50 \pm 0.78 ^a	5.46 \pm 0.76 ^a
Salinidad (UPS)	30.34 \pm 4.91 ^a	30.34 \pm 4.91 ^a	30.34 \pm 4.92 ^a
pH	7.50 \pm 0.31 ^a	7.60 \pm 0.30 ^a	7.60 \pm 0.30 ^a
NAT (mgL ⁻¹)	0.74 \pm 0.83 ^a	0.81 \pm 0.92 ^a	0.97 \pm 1.03 ^a
NH ₃ (mgL ⁻¹)	0.029 \pm 0.037 ^a	0.032 \pm 0.042 ^a	0.036 \pm 0.048 ^a
NO ₂ (mgL ⁻¹)	1.83 \pm 2.58 ^a	3.24 \pm 4 ^a	3.59 \pm 4.65 ^a
NO ₃ (mgL ⁻¹)	1.63 \pm 1.48 ^a	2.31 \pm 3 ^a	1.99 \pm 3.24 ^a
PO ₄ (mgL ⁻¹)	1.31 \pm 1.39 ^a	1.35 \pm 1.12 ^a	1.20 \pm 1.21 ^a
PT (mgL ⁻¹)	0.55 \pm 0.41 ^a	0.55 \pm 0.38 ^a	0.52 \pm 0.36 ^a
CaCO ₃ (mgL ⁻¹)	123.3 \pm 37.38 ^a	89.3 \pm 22.24 ^b	121.96 \pm 33.11 ^a

Dónde: T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a los tres tipos de alimento (T1= MaltaCleyton[®] superintensivo, T2= MaltaCleyton[®] mediana densidad y T3= Silver cup[®] sin harina de pescado). P<0.05. O₂ =oxígeno, NAT=nitrógeno amoniacal total, NH₃ =Amonio no ionizado, NO₂ =Nitritos, NO₃ = Nitratos, PO₄= Fosfatos, PT= Fósforo total, CaCO₃ =alcalinidad.

Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA (P<0.05).

En la Figura 17 se observa que la temperatura fue similar en cada uno de los tratamientos, esta tuvo un descenso a partir de la semana cuatro, la temperatura se mantuvo alrededor de los 31 °C durante cuatro semanas y en la semana nueve descendió a los 30 °C. no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

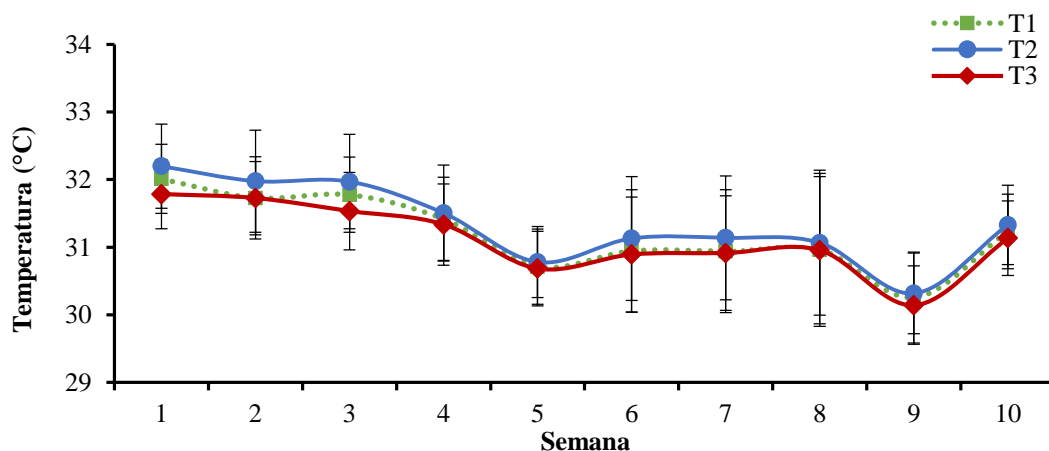


Figura 17. Comportamiento de las concentraciones de temperatura (°C) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton[®] superintensivo, T2= MaltaCleyton[®] mediana densidad y T3= Silver cup[®] sin harina de pescado. P<0.05.

El comportamiento del O₂ (Figura 18) fue similar en cada uno de los tratamientos, durante siete semanas las concentraciones se mantuvieron entre 5.5 y 6 mgL⁻¹. Sin embargo a partir de la semana ocho hasta la semana 10 hubo un descenso, dichas concentraciones se mantuvieron entre 4 y 5 mgL⁻¹. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

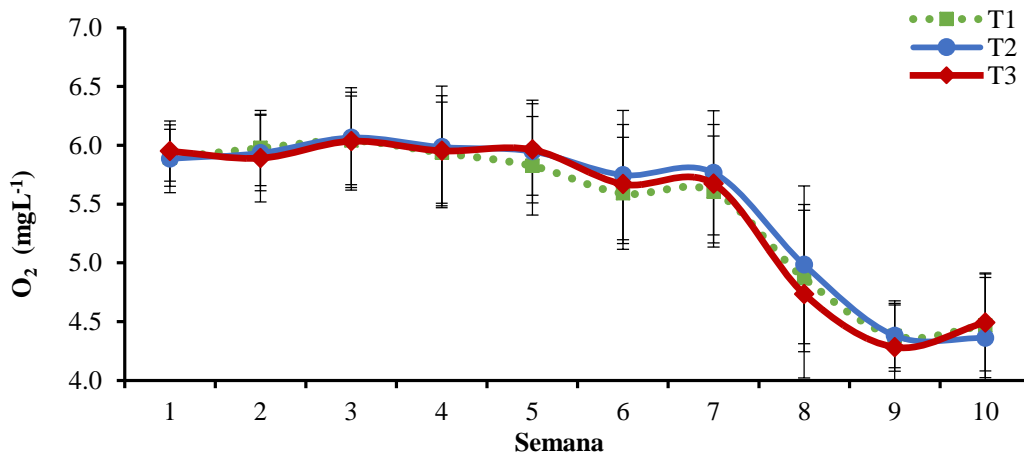


Figura 18. Comportamiento de las concentraciones de oxígeno (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.

A partir de la semana uno a la semana cuatro, las concentraciones de salinidad (UPS) fueron superiores a 32 UPS (Figura 19), no obstante a partir de la semana cinco las concentraciones fueron disminuyendo considerablemente hasta la semana siete (22 UPS). Posterior a esa semana las concentraciones aumentaron hasta el final del cultivo, manteniéndose en 28 UPS. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

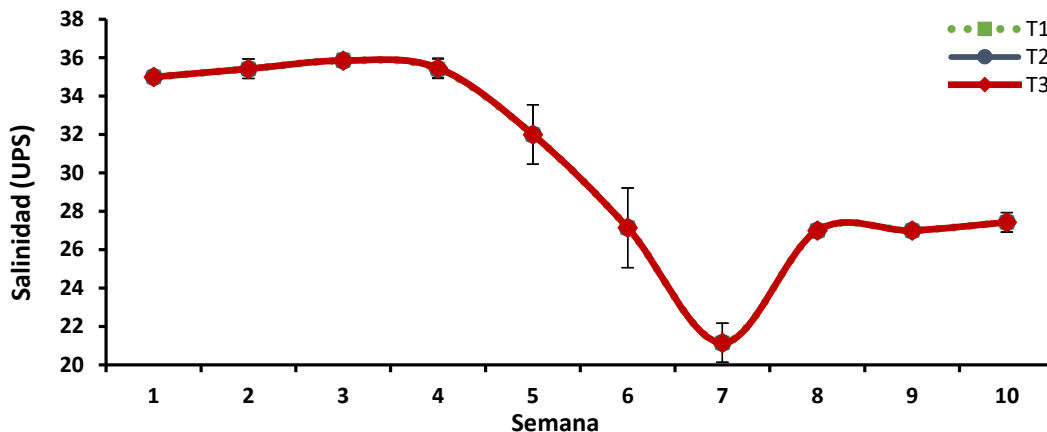


Figura 19. Comportamiento de las concentraciones de salinidad (UPS) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

El pH (Figura 20) durante el cultivo se mantuvo entre 7.2 y 8.2, se observa que en la semana cuatro hubo un descenso de las concentraciones, en esta semana se registraron las menores concentraciones. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

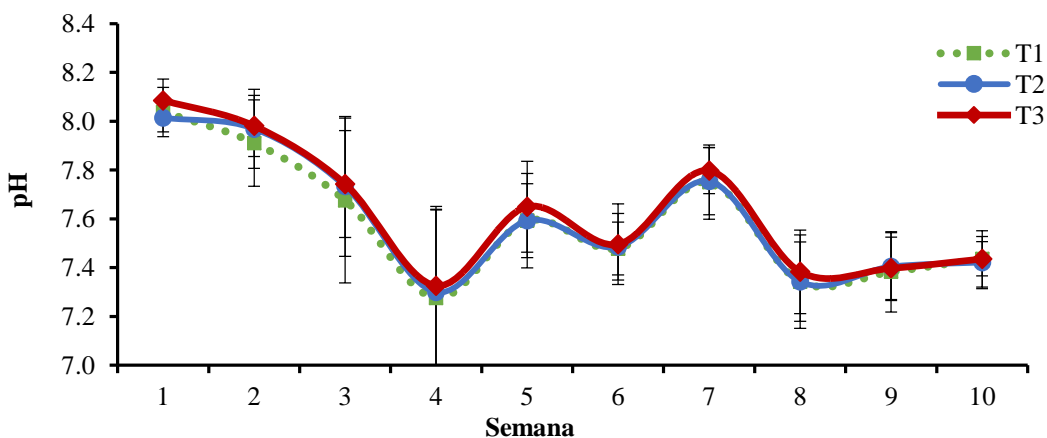


Figura 20. Comportamiento de las concentraciones de pH (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (NAT) variaron a lo largo del cultivo, en la Figura 21 se observa que las concentraciones oscilaron entre 0 y 1.2 mgL⁻¹. Las mayores concentraciones se registraron en el tratamiento T2. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

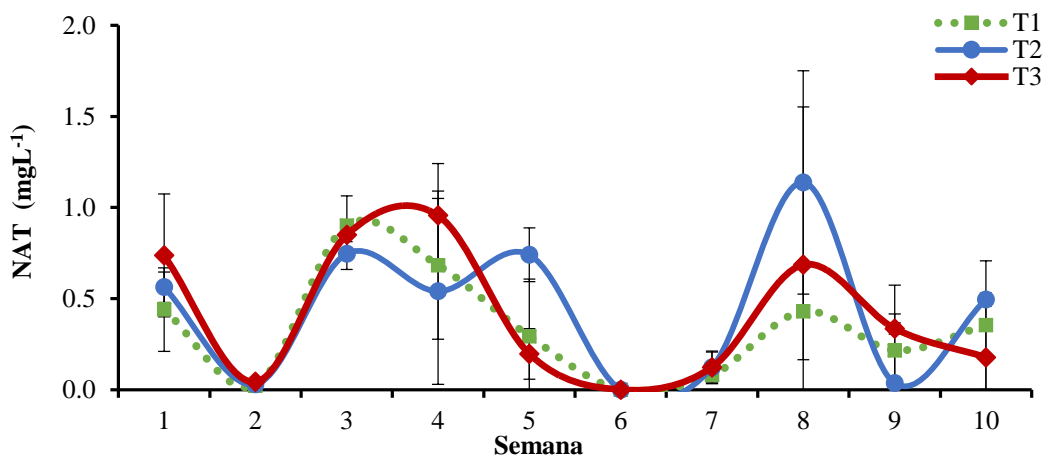


Figura 21. Comportamiento de las concentraciones de NAT (mgL⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.

En la Figura 22 se observa que las concentraciones de NH₃ se mantuvieron entre 0 y 1 mgL⁻¹. Las mayores concentraciones se registraron en el T3. Dichas concentraciones oscilaron constantemente durante las 10 semanas de cultivo. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

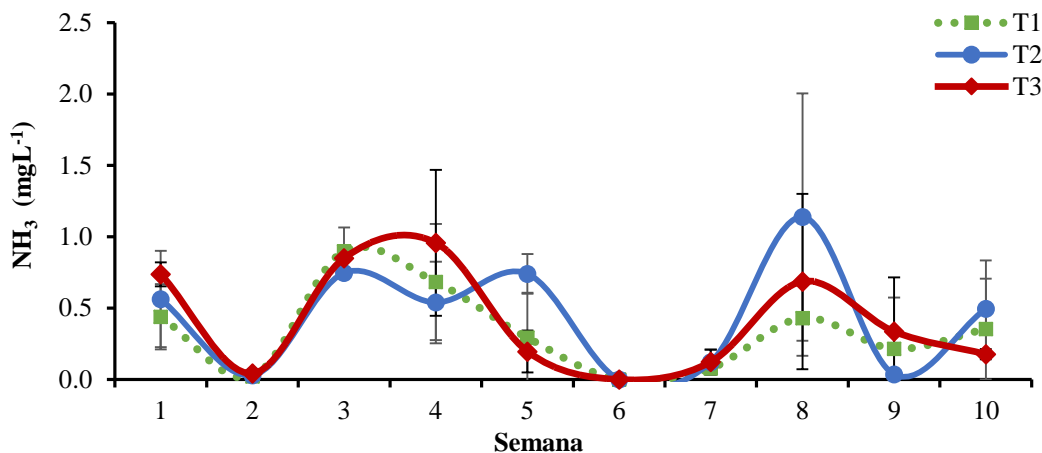


Figura 22. Comportamiento de las concentraciones de NH_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

Las mayores concentraciones de NO_2 (Figura 23) se registraron en el tratamiento T2, alcanzando concentraciones máximas de 16 mgL^{-1} en la semana ocho, sin embargo no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

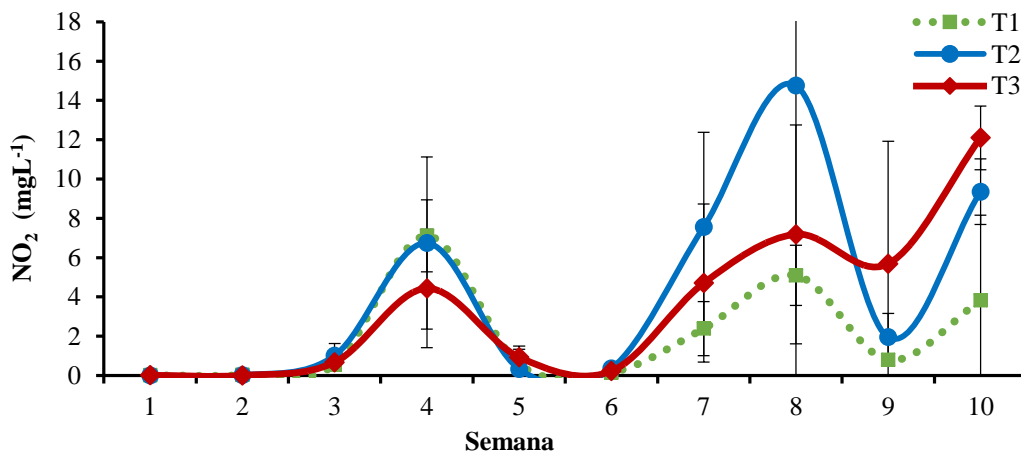


Figura 23. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

En la Figura 24 se observa que las concentraciones de NO_3 (mgL^{-1}) durante el cultivo se mantuvieron entre 0 y 3 mgL^{-1} , sin embargo en la semana ocho estas concentraciones aumentaron significativamente alcanzando niveles de 10 mgL^{-1} específicamente en el T2. No se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

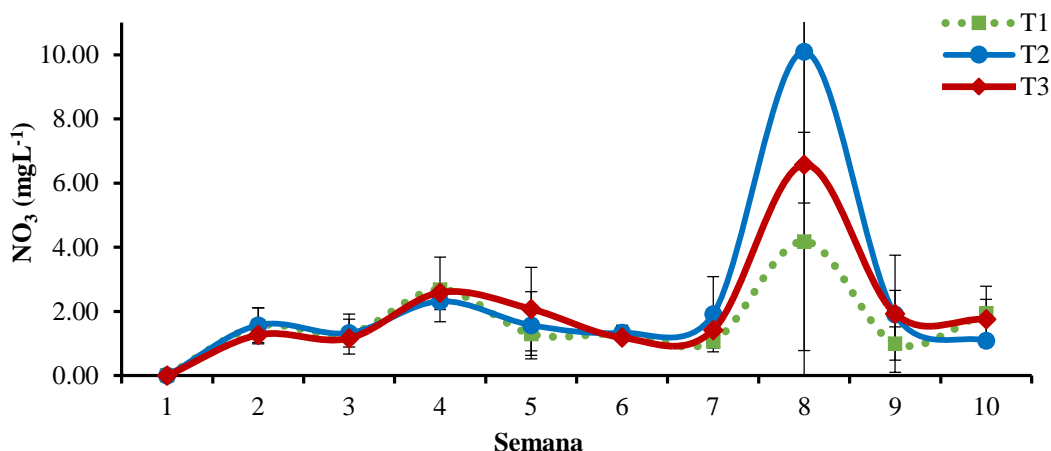


Figura 24. Comportamiento de las concentraciones de NO_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

A pesar de que no se relacionan las concentraciones de PO_4 con el crecimiento del camarón, esta tiene efectos directos sobre la calidad del agua. Como se muestra en la Figura 25, se observa que las concentraciones de PO_4 (mgL^{-1}) se mantuvieron entre 0 y 4 mgL^{-1} , las mayores concentraciones se registraron en el T1 en la semana tres. No se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

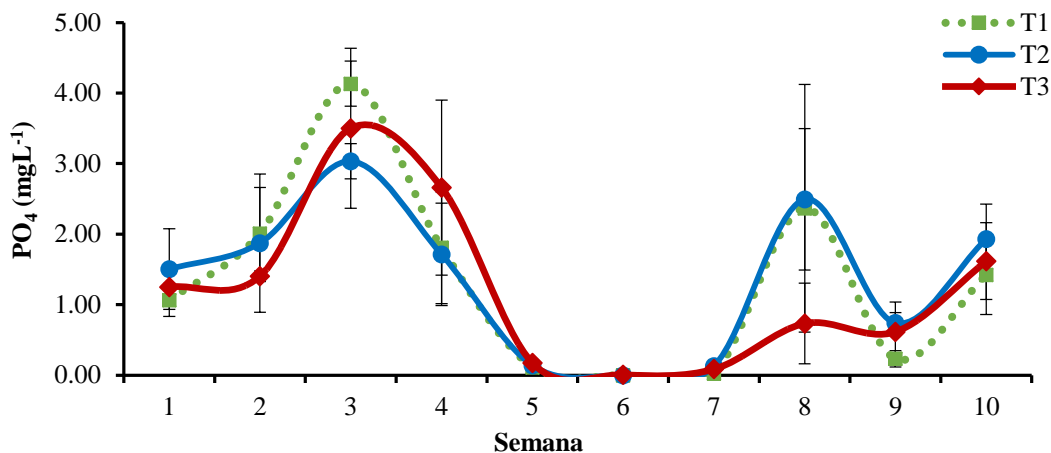


Figura 25. Comportamiento de las concentraciones de PO₄ (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.

Las concentraciones de PT (mgL⁻¹) durante las 10 semanas de cultivo (Figura 26) se mantuvieron entre 0 y 1 mgL⁻¹. Cabe mencionar que entre la semana seis y siete fue dónde se registraron las menores concentraciones (0 mgL⁻¹), sin embargo no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

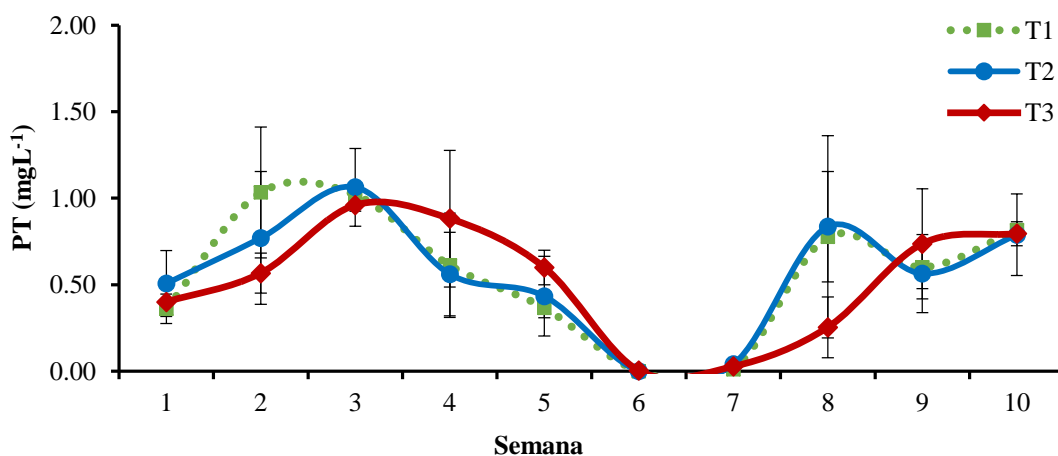


Figura 26. Comportamiento de las concentraciones de PT (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. P<0.05.

Durante las 10 semanas de cultivo se observó (Figura 27) que las menores concentraciones de CaCO_3 se registraron en el T2, estas concentraciones se mantuvieron entre 70 y 100 mgL^{-1} . Las mayores concentraciones se registraron en el T1 180 mgL^{-1} . Se encontraron diferencias significativas entre el T1-T3 y el T2 ($P < 0.05$).

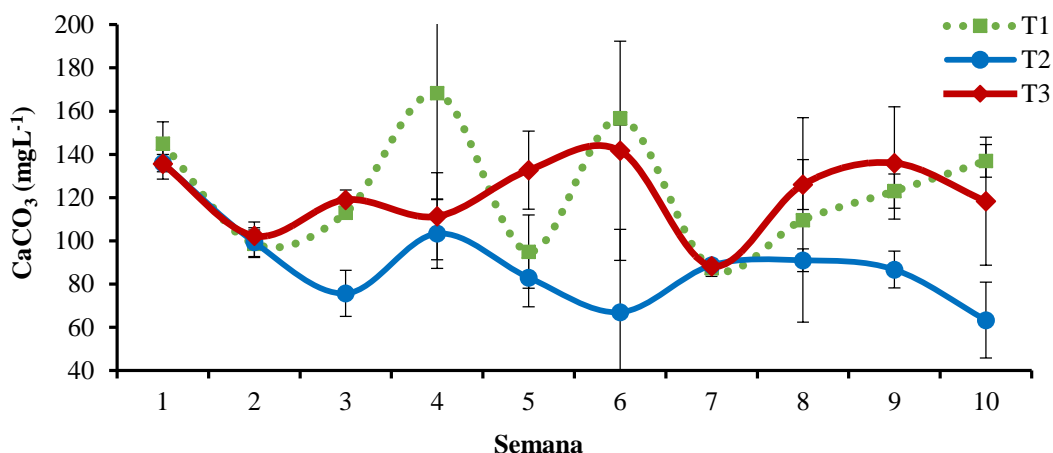


Figura 27. Comportamiento de las concentraciones de CaCO_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado. $P < 0.05$.

2.4.1 Crecimiento y supervivencia

En la Tabla VI se observa que la supervivencia de todos los tratamientos analizados osciló entre los 70.1 % y 71.4 %, no se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en esta variable de respuesta, a sí mismo, en las variables TEC (6.83 % a 6.93 %) y FCA (1.26:1 a 1.39:1) dónde el valor de significancia fue mayor que 0.05. Igual que en las otras variables de respuesta en el peso final tampoco se encontró diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

Tabla VI. Variables de respuesta (Media \pm DE) para los tratamientos (MaltaCleyton[®] superintensivo (T1), MaltaCleyton[®] mediana densidad (T2), Silver cup[®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm⁻³.

Parámetro	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Supervivencia (%)	70.1 \pm 10.06 ^a	70.8 \pm 9.48 ^a	71.4 \pm 4.80 ^a
Peso final (g)	9.48 \pm 0.20 ^a	9.20 \pm 0.16 ^a	9.57 \pm 0.42 ^a
Biomasa final (Kg)	116.29 \pm 3.28 ^a	107.91 \pm 3.77 ^b	119.49 \pm 4.45 ^a
TEC (%/d)	6.94 \pm 0.24 ^a	6.86 \pm 0.06 ^a	6.93 \pm 0.07 ^a
FCA	1.26 \pm 0.19 ^a	1.36 \pm 0.12 ^a	1.39 \pm 0.16 ^a
I. R. (%)	66.45	61.66	68.32

Dónde: T1=alimento superintensivo, T2=mediana densidad y T3=alimento sin harina de pescado. P<0.05. TEC= Tasa específica de crecimiento diario, FCA= Factor de conversión alimenticia, I. R. =índice de rendimiento. Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA (P<0.05).

En la Figura 28 se observa que el crecimiento de los camarones se comportó de manera similar durante todo el cultivo (10 semanas) alcanzando tallas de 10 g. No se registraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

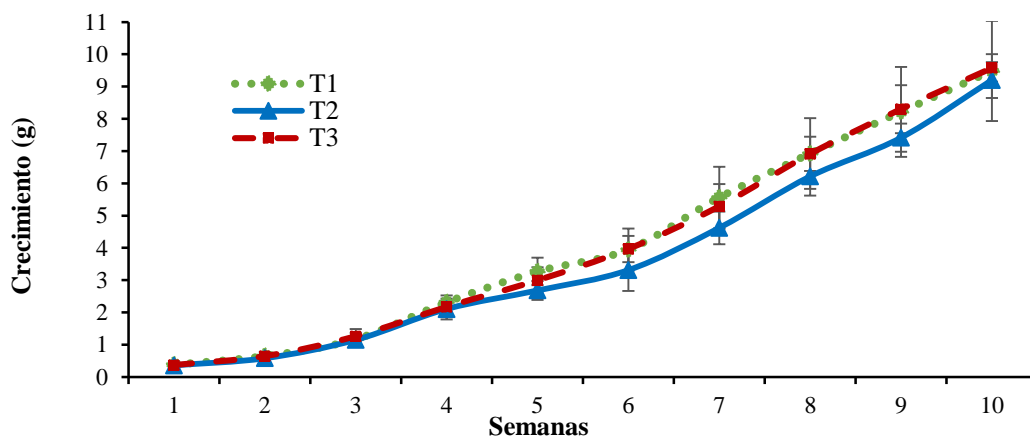


Figura 28. Comportamiento del crecimiento del camarón en un cultivo superintensivo en geomembranas circulares (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton[®] superintensivo, T2= MaltaCleyton[®] mediana densidad y T3= Silver cup[®] sin harina de pescado. P<0.05.

2.4.2 Análisis en fresco y bacteriológicos

Semanalmente se realizaron en cada una de las geomembranas análisis en fresco (Morales-Covarrubias, 2014) de los organismos, el posible grado de severidad en hepatopáncreas, lípidos y branquias. En lo general, durante las 10 semanas del cultivo (70 días) las condiciones de salud de los organismos fueron satisfactorias, pero durante la sexta semana (día 42) se presentaron variaciones en las condiciones de hepatopáncreas, túbulo y lípidos (Figura 29).

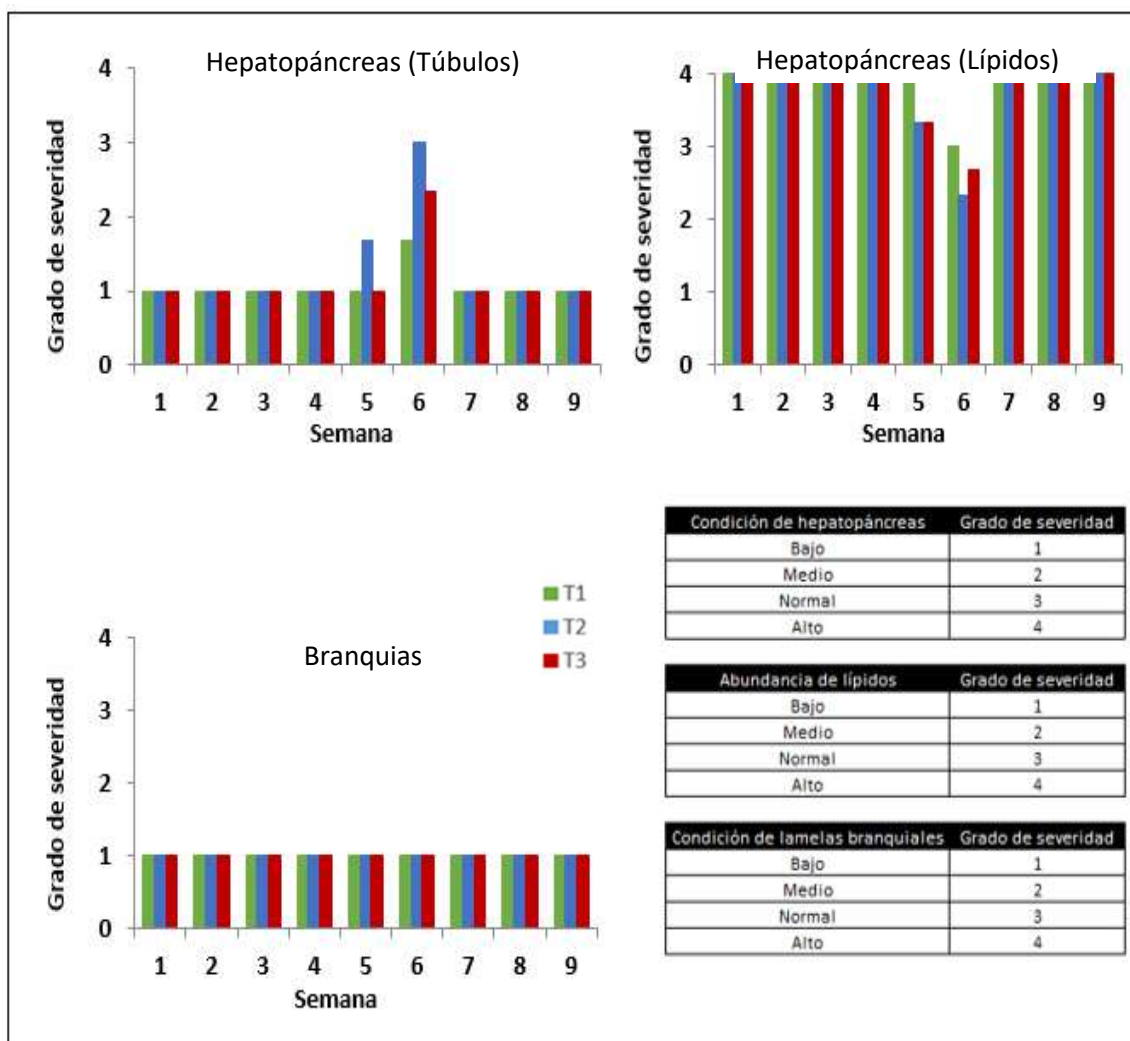


Figura 29. Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulo y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo. Dónde: T1= MaltaCleyton® superintensivo, T2= MaltaCleyton® mediana densidad y T3= Silver cup® sin harina de pescado.

2.4.3 Análisis proximales

En la Tabla VII se observa que el alimento formulado (T3) utilizado en la Fase I, cuyas concentraciones de las variables analizadas se encuentra en mayores proporciones a las presentadas por los alimentos de los tratamientos T1 y T2 en cada una de sus presentaciones. Sin embargo en la Fase II, la proteína del T3 respecto al T1 tuvo la menor concentración, en contraste con el T2, las concentraciones de lípidos y proteínas fue menor en el extruido sin harina del tratamiento T3.

Tabla VII. Análisis proximal de los alimentos (MaltaCleyton[®] superintensivo (T1), MaltaCleyton[®] mediana densidad (T2), Silver cup[®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm⁻³.

Alimento	Fase	Trat.	Hum. (%)	Líp. (%)	Prot. (%)	Cen. (%)	NNP (%)
Api-camarón 45 % race ways	I	T1, T2	7.27	8.98	45.08	10.08	0.4
Microtec 45 % rays ways (Silvercup)	I	T3	12.48	12.32	46.54	15.15	0.50
Api-camarón 40 %	I	T1, T2	7.09	7.11	37.44	6.92	1.01
Microtec extruido 40 % (Silvercup)	I	T3	12.24	11.51	40.87	14.16	0.50
Formula especial 28 %	II	T1	7.09	7.37	29.73	6.92	0.20
Micropellet mediana 35 %	II	T2	8.11	12.42	35.91	7.37	0.20
Extruido sin harina de pescado 28 % (Silvercup)	II	T3	15.36	10.29	28.03	16.94	0.86

Dónde: Fase I = semana 1 a semana 3, Fase II = semana 4 a semana 10. Técnica aplicada para cada análisis: Humedad (Hum)=gravimétrica, Cenizas (Cen)=gravimétrica, Lípidos (Lip) = Soxhlet, Proteína (Prot) =micro Kjeldahl, NNP= micro Kjeldhal. T1= MaltaCleyton[®] superintensivo, T2= MaltaCleyton[®] mediana densidad y T3= Silver cup[®] sin harina de pescado, a una densidad de siembra (500 Plm⁻³). Trat = tratamiento.

Se realizaron semanalmente análisis bacteriológicos de la columna de agua y de los organismos cultivados como parte del monitoreo, control y prevención de enfermedades de origen bacteriano sobre los organismos cultivados. El promedio semanal de unidades formadoras de colonias (UFC) tanto de bacterias verdes y amarillas en el hepatopáncreas y en el agua, osciló entre 3,500 a 5,000 cel/g, que según la tabla de clasificación e interpretación de resultados bacterianos se clasifican en normal-elevado (Verdes) y normal (Amarillas) lo cual no tuvo ningún efecto en las variables de respuesta.

2.5 Discusión

La calidad del agua durante un periodo de crecimiento de 10 semanas estuvo dentro del rango óptimo para el crecimiento y la supervivencia de *Penaeus vannamei* (Lin y Chen, 2001, 2003; Tsai y Chen, 2002; Boyd, 2015). Estas concentraciones de los parámetros físico-químicos son consistentes con diversos investigadores los cuales sustituyeron en variadas proporciones las concentraciones del porcentaje de proteína, además diversificaron la fuente de dicha proteína para probar mejores rendimientos en el crecimiento y supervivencia de *P. vannamei* (Camaño, 2014; Xu, 2016, Xu, 2018, Moreno-Arias, 2018; Nunes, 2018; Gambo-Delgado, 2019; Lobato, 2019; Parra-Flores, 2019). La temperatura, el pH, la salinidad y el O₂ se mantuvieron constantes durante el cultivo. Investigaciones previas mencionan que las concentraciones de O₂ en cultivos se mantienen en un rango superior a 7 u 8 mgL⁻¹ (Esparza-Leal *et al.*, 2010; Maicá *et al.*, 2012), no obstante Parra-Flores *et al.* (2019) mencionan que la ingesta de alimento en el camarón blanco disminuye si se mantienen concentraciones de O₂ <2.5 mgL⁻¹. Las concentraciones de O₂ en la presente investigación fueron óptimas, independientemente del tipo de alimento aplicado y de la fuente de proteína con la que fueron elaborados los alimentos. Lo cual se debe por la implementación de 4 HP en el primer mes de cultivo y 8 HP durante el resto del cultivo, además se emplearon frecuencias de alimentación cada dos horas en canastas alimentadoras distribuidas en las geomembranas, esto permitió que gran proporción de alimento suministrado se aprovechara al máximo y no se degradará en la columna de agua, propiciando una demanda excesiva de O₂ por la carga bacteriana en la columna de agua.

Las concentraciones de NAT, NO₂ y NO₃ se mantuvieron por debajo de lo recomendado para este tipo de cultivos, lo cual fue similar con investigaciones previas en cultivos de biofloc y semi biofloc (Liu *et al.*, 2014; Yun *et al.*, 2016), los investigadores observaron que no se encontraron diferencias significativas en sus tratamientos independientemente de las frecuencias de alimentación ni de las concentraciones de proteína (Moreno, 2018), sin embargo Parra-Flores *et al.* (2019) describen que los camarones tienden a preferir ser alimentados con mayores periodos de luz, lo cual es consistente con lo reportado en la presente investigación, dónde no se registraron diferencias significativas (P<0.05). Estas condiciones de la calidad del agua pudieron ser afectadas por el manejo de la carga bacteriana nitrificante (Xu *et al.*, 2012a; Xu y Pan, 2012; Xu *et al.*, 2016), empero Samocha *et al.* (2007)

informaron que no existe un efecto significativo sobre la dinámica del NAT ni de los compuestos nitrogenados en la fase de crecimiento, cuando los camarones fueron alimentados con un alimento bajo en proteínas (30 %) en condiciones de una limitada descarga de agua cuando el cultivo fue suplementado con diversos niveles de melaza. Esto es similar con lo reportado en esta investigación, lo que sugiere, que el semi-biofloc maduró, la comunidad bacteriana mantuvo efectivamente controlado las concentraciones de NAT, NO₂ y NO₃ por asimilación heterotrófica (por ejemplo la asimilación de NAT en biomasa microbiana) o nitrificación autotrófica (ejemplo la asimilación de NAT a NO₂ y NO₃) manteniéndolos en rangos aceptables para el cultivo de camarones, incluso a altas densidades de población (Xu *et al.*, 2016).

Algunas investigaciones han demostrado que los sistemas heterótrofos (semi-biofloc) y biofloc, tienen efectos benéficos en el cultivo de camarón, sobre todo, hacen hincapié que estos tipos de sistemas de cultivo multitrofos permiten una mejora considerable en las variables de respuesta y propician un buen desempeño en el crecimiento y supervivencia de los camarones cultivados, especialmente para las especies de *Penaeus vannamei*, *P. monodon*, *Farfantepenaeus paulensis* y *Marsupenaeus japonicas* (Wasielky Jr. *et al.*, 2006; Arnold *et al.*, 2009; Ballester *et al.*, 2010; Megahed, 2010; Ray *et al.*, 2011; Haslun *et al.*, 2012; Xu y Pan, 2012; Zhao *et al.*, 2012).

Históricamente, la harina de pescado ha sido la principal fuente de proteína utilizada en formulaciones de alimento para camarones, pese a que la industria de la acuicultura se expande también lo hace la demanda, que resulta en aumentos del precio del pescado y como consecuencia en concentraciones reducidas de proteína en las dietas y uso de fuentes alternativas de proteínas (Davis, Roy y Sookying, 2008). El reemplazo o la reducción de la harina de pescado es una prioridad para la industria de la acuicultura. Aunque existen algunos problemas (Liu *et al.*, 2013), investigadores han reportado varios casos de éxito en dietas con diferentes formulaciones aplicadas a cultivos en *L. vannamei* (Davis y Arnold, 2000; Forster *et al.*, 2003; Samocha *et al.*, 2004; Amaya *et al.*, 2007; Cruz-Suarez *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Suarez *et al.*, 2009; Nunes *et al.*, 2011; Bauer *et al.*, 2012). En nuestras condiciones experimentales, el alimento balanceado para altas densidades (T1) y por ende el más caro, no obtuvo los mejores resultados en comparación con los otros dos tratamientos,

independientemente de los porcentajes de inclusión de proteína. La supervivencia, el peso final la TEC, FCA y I.R, no se vieron influenciados por estas inclusiones, lo que sugiere que también intervienen otros factores independientes a las dietas para que los parámetros zootécnicos mejoren.

Los resultados obtenidos en esta investigación son afines a trabajos previos en otros países, los cuales mencionan que los camarones requieren de mayor nivel de proteína en la dieta conforme vayan aumentando las densidades, esto es sin olvidar el perfil de aminoácidos esenciales para la determinación de la dieta misma, por el gasto fisiológico en el confinamiento de los organismos en los estanques (Tacon, 1997; Lawrence *et al.*, 1998), no obstante varios investigadores no encontraron diferencias significativas en el rendimiento cuando variaron los niveles de proteína, sin importar la densidad (Teichert-Coddington y Rodríguez, 1995; Hopkins *et al.*, 1996). Hari *et al.* (2004) reportan que se pueden utilizar raciones con menores contenidos proteicos, además Ballester *et al.* (2010) mencionan que si se utilizan correctamente agregados (flóculos), con estos sería posible reducir la concentración proteica de los alimentos balanceados hasta un 10 %, lo cual es consistente con el presente trabajo, donde se agregaron probióticos y se incentivó con fuentes de carbón (melaza) para la generación de floculos en el perifiton. Prueba de ello Xu *et al.* (2012) comentan que la utilización de dietas ricas en proteína puede no ser económicamente viable e innecesario, por lo que se recomienda bajar hasta un 25 % el nivel de proteína cuando se alimentan juveniles de camarón blanco, pero sugieren la generación de floculos en la columna de agua ya que el biofloc tiende a influenciar la composición corporal de los camarones cultivados (Kuhn *et al.*, 2010; Xu y Pan, 2012).

Camaño (2014) reporta que es posible remplazar el 75 % de la harina de pescado en el alimento en fases de engorda para *L. vannamei* sin afectar el desempeño zootécnico de los camarones cultivados, las supervivencias encontradas son afines a la presente investigación y con diversos investigadores (Wasielesky *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2012; Xu y Pan, 2012) quienes reportan supervivencias del 85 % al 100 %. Los resultados de la presente investigación se justifican por la ingestión de materia microbiana que contiene altos niveles de proteína, lo que viene a complementar las reducciones de ésta en las dietas (Jory *et al.*, 2001; Tacon *et al.*, 2002), varios estudios han demostrado que los bioflocs en cultivos

fotoheterotrofos pueden considerarse como alimento suplementario para los organismos confinados, lo que propicia una mejora en el rendimiento zootécnico. En investigaciones previas (Hari *et al.*, 2004; Wasielesky *et al.*, 2006; Arnold *et al.*, 2009; Ballester *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012a) se ha demostrado que en juveniles de *L. vannamei*, *P. monodon* y *Farfantepenaeus paulensis* se encontraron las tasas de crecimiento más altas para los camarones criados en un sistema de biofloc, en comparación con los cultivados en un sistema de agua clara. Del mismo modo, los juveniles de *Penaeus monodon* también mostraron un mejor crecimiento en el sistema BFT (Arnold *et al.*, 2009). Hari *et al.* (2004) informan que es posible usar alimentos balanceados con niveles bajos de proteína, sin afectar el rendimiento del crecimiento y la supervivencia del camarón.

2.6 Conclusiones

Se acepta la hipótesis de que los camarones cultivados en sistemas superintensivos y que al aplicarse alimento balanceado con distintas fuentes de proteína no marina a un menor costo de adquisición, permite mejorar el crecimiento y la supervivencia de postlarvas y juveniles reflejado en su viabilidad económica.

2.7 Referencias

- Adedeji, A., Zhou, Y., Fang, X., Davis, A., Fahrenholz, A., & Alavi, S. (2017). Utilization of sorghum distillers dried grains in extruded and steam pelleted shrimp diets. *Aquaculture Research*. 48(3), 883–898.
- Amaya, E., Davis, D., & Rouse, D., (2007). Alternative diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*. 262: 419 - 425.
- Arnold, S. J., Coman, F. E., Jackson, C. J., Groves, S. A. (2009). High-intensity, zero waterexchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: An evaluation of artificial substrates and stocking density. *Aquaculture*. 293, 42–48.
- Ballester, E. L. C., Abreu, P. C., Cavalli, R. O., Emerenciano, M., Abreu, L., Wasielesky Jr., W. (2010). Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*. 16, 163–172.
- Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M. B., Wasielesky, W., Poersch, L. H. S. (2012) Substitution offishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 342:112–116
- Boyd, C. E. (2015). Water quality: an introduction. *Springer*, New York.
- Camaño, H. N. (2014). Substituição da farinha e do óleo de peixe por farinha e óleo de origem vegetal em rações utilizadas na fase de engorda do camarão branco *Litopenaeus vannamei*, em sistemas de bioflocos (BFT). Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 49p.
- Chatvijitkul, S., Davis, D. ., & Lim, C. (2016). Lipid extracted distillers dried grains with solubles (LE-DDGS) as a partial replacement for soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. aureus*) diets. *Aquaculture*. 459, 131–136.
- Cruz-Suárez, L., Nieto-López, M., Guajardo-Barbosa, C., Tapia-Salazar, M., Scholz, U., Ricque-Marie, D. (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture*. 272: 466-476.
- Davis, D. A., Arnold, C. R. (2000) Replacement of fishmeal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 185:291–298
- Davis, D. A., Roy, L. A., & Sookying, D. (2008). Improving the cost effectiveness of shrimp feeds. pp. 24–27. Avances en Nutrición Acuicola IX. IX Simposio Internacional de Nutrición Acuicola.
- Dias, J., Conceição, L. E., Ribeiro, A. R., Borges, P., Valente, L. M., & Dinis, M. T. (2009). Practical diet with low fish-derived protein is able to sustain growth performance in gilthead seabream (*Sparus aurata*) during the grow-out phase. *Aquaculture*. 293(3), 255–262.

- Esparza-Leal, H. M., Ponce-Palafox, J. T., Aragón-Noriega, E. A., Arredondo-Figueroa, J. L., García-Ulloa, M., Valenzuela-Quiñonez, W. (2010). Growth and performance of the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone) cultured in low-salinity water with different stocking densities and acclimation times. *Aquaculture Research*. 41, 878-883.
- FAO. (2014). Food and agriculture organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (253 pp.).
- FAO. (2015). Food Outlook. Biannual report on global food markets. pp.133.
- FAO, I., & UNICEF. (2019). WFP and WHO. 2018. The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. Rome, FAO.
- Forster, I.P., Dominy, W., Obaldo, L., Tacon, A.G.J. (2003). Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*. 219: 655 - 670.
- Gamboa-Delgado, J., Morales-Navarro, Y. I., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A., & Cruz-Suárez, L. E. (2019). Assimilation of dietary nitrogen supplied by fish meal and microalgal biomass from *Spirulina (Arthrospira platensis)* and *Nannochloropsis oculata* in shrimp *Litopenaeus vannamei* fed compound diets. *Journal of Applied Phycology*. 31(4), 2379-2389.
- Goytortúa-Bores, E., Civera-Cerecedo, R., Rocha-Meza, S., Green-Yee, A. (2006). Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility. *Aquaculture*. 256: 414-422.
- Hari, B., Kurup, B. M., Varghese, J. T., Schrama, J. W., Verdegem, M. C. J. (2004). Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*. 241: 179–194.
- Hardy, R. W. (2006). Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative proteins meals for aquaculture. 410-419. En L: Cruz S. E., Rique M. D., Tapia, S. M., Nieto, L. M. G., Villarreal, C. D. A., Puello, C. A., y García, O. A. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15-17 de Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Hari, B., Kurup, B. M., Varghese, J. T., Schrama, J. W., Verdegem, M.C. J. (2004). Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*. 241: 179–194.
- Haslun, J., Correia, E., Strychar, K., Morris, T., Samocha, T. (2012). Characterization of bioflocs in a no water exchange super-intensive system for the production of food

- size Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *International Journal Aquaculture*. 2, 29–38.
- Hernández, C., Olvera-Novoa, M.A., Aguilar-Vejar, K., González-Rodríguez, B., Parra, I.A. (2008). Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*. 277: 244 - 250.
- Hopkins, J. S., Sandifer, P. A., and Browdy, C. L. (1996): Effect of two protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water exchange. *Journal World Aquaculture Society*. 26:93-97.
- Kuhn, D. D., Lawrence, A. L., Boardman, G. D., Patnaik, S., Marsh, L., & Flick, G. J. (2010). Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 303: 28-33.
- Lawrence, A. L., Velasco, M., Montoya, R., and Samocha, T. M. (1998): Sustainable shrimp farming: the need for “environmentally friendly” feeds and feed management strategies. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Noviembre 15-18, 1998, La Paz, México.
- Lin, Y. C. & Chen, J. C. (2001). Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 259: 109-119.
- Lin, Y. C. & Chen, J. C. (2003). Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*. 224(1-4): 193-201.
- Liu, X. H., Ye, J., Kong J., Wang, J. (2013). Apparent digestibility of 12 protein-origin ingredients for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *North American Journal of Aquaculture*. 75: 90–98.
- Liu, L., Hu, Z., Dai, X., Avnimelech, Y. (2014). Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture*. 418, 79-86.
- Lim C., Yildirim A., Welker, T., Klesius, P. (2010). Growth performance immune response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, fed diets containing various levels of vitamins C and E. *Journal World Aquaculture Society*. 41 (1):35–48.
- Lobato, O. S. C., Ribeiro, F. D. A. S., Miranda-Baeza, A., & Emerenciano, M. G. C. (2019). Production performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) fed with different dietary levels of tilapia processing waste silage reared in biofloc system using two carbon sources. *Aquaculture*. 501, 515-518.
- Macias-Sancho J., Poersch, L., Bauer, W., Romano, L., Wasielesky, W., Tesser, M. (2014). Fishmeal substitution with *Arthrospira (Spirulina platensis)* in a practical diet for

- Litopenaeus vannamei*: Effects on growth and immunological parameters, *Aquaculture*. 426–427:120–125.
- Mai, K., Wan, J., Ai, Q., Xu, W., Liufu, Z., Zhang, L., & Li, H. (2006). Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. *Aquaculture*. 253(1), 564–572.
- Maicá, P. F., de Borba, M. R., Wasielesky Jr, W. (2012). Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. *Aquaculture Research*. 43 (3), 361-370.
- Megahed, M. E. (2010). The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) fed with different crude protein levels. *Journal Arab Aquaculture Society*. 5, 119–142.
- Molina-Poveda, C., Lucas, M., Jover, M. (2013). Evaluation of the potential of Andean lupin meal (*Lupinus mutabilis* Sweet) as an alternative to fish meal in juvenile *Litopenaeus vannamei* diets. *Aquaculture*. 410 - 411: 148 – 156.
- Moreno-Arias, A., López-Elías, J. A., Martínez-Córdova, L. R., Ramírez-Suárez, J. C., Carvallo-Ruiz, M. G., García-Sánchez, G., & Miranda-Baeza, A. (2018). Effect of fishmeal replacement with a vegetable protein mixture on the amino acid and fatty acid profiles of diets, biofloc and shrimp cultured in BFT system. *Aquaculture*. 483, 53-62.
- New, M. B. (2003). Responsible aquaculture is this a special challenge for developing countries. *World Aquaculture*. 34 (3), 26-72.
- Nunes, A. J. P., Sá, M. V. C., Neto, S. H. (2011) Growth performance of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed on practical diets with increasing levels of the Antarctic krill meal, *Euphausia superba*, reared in clear-versus green-water culture tanks. *Aquaculture Nutrition*. 17:511–520.
- Nunes, A. J., Sabry-Neto, H., da Silva, F. H. P., de Oliveira-Neto, A. R., & Masagounder, K. (2019). Multiple feedings enhance the growth performance and feed efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei* when fed a low-fish meal amino acid-supplemented diet. *Aquaculture international*. 27(2), 337-347.
- Oujifard, A., Seyfabadi, J., Abedian, A., Rezaei, K.M. (2012). Fish meal replacement with rice protein concentrate in a practical diet for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone 1931. *Aquaculture International*. 20:117–129.
- Parra-Flores, A. M., Ponce-Palafox, J. T., & Spanopoulos-Hernández, M. (2019). Feeding behavior and ingestion rate of juvenile shrimp of the genus *Penaeus* (Crustacea: Decapoda). *Open Access Journal of Science*. 3(3), 111-113.

- Pauly, D., Froese, R. (2012). Comments on FAO's State of Fisheries and Aquaculture, or "SOFIA 2010". *Marine Policy*. 36, 746–752.
- Qiu, X., & Davis, D. (2017). Evaluation of flash dried yeast as a nutritional supplement in plant-based practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 23(6), 1244–1253.
- Qiu, X., Tian, H., & Davis, D. A. (2017). Evaluation of a high protein distiller's dried grains product as a protein source in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 480, 1–10.
- Ray, A. J., Lewis, B. L., Browdy, C. L., and Leffler, J. W. (2010). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*. 299, 89–98.
- Ray, A. J., Dillon, K. S., Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquaculture Engineering*. 45, 127–136.
- Rhodes, M. A., Yu, D., Zhou, Y., & Allen Davis, D. (2015). Use of lipid-extracted distillers dried grain with solubles (DDGS) in diets for Pacific white shrimp. *North American Journal of Aquaculture*. 77(4), 539–546.
- Roy, L. A., Bordinhon, A., Sookying, D., Davis, D. A., Brown, T. W., & Whitis, G. N. (2009). Demonstration of alternative feeds for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters of west Alabama. *Aquaculture Research*. 40(4), 496–503.
- Salze, G., Mclean, E., Battle, P. R., Schwarz, M. H., Craig, S. R. (2010). Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*. 298: 294–299.
- Samocha, T., Davis, D. A., Saoud, I. P. & Debault, K. (2004). Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 231: 197 - 203.
- Samocha, T. M. Patnaik, S., Speed, M., Ali, A. M., Burger, J. M., Almeida, R.V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A., Brock, D. L. (2007). Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Engineering*. 36, 184–191.
- Sargent, J. R., Tocher, D. R., Bell, J. G. (2002). The lipids, In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*, 3rd edition. Academic Press, San Diego, pp: 181–257.
- Scopel, B. R., Schweitzer, R., Seiffert, R. Q., Pierri, V., Arantes, R. F. Vieira, F. N., Vinatea, L. J. (2011). Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos

- cultivados em sistema bioflocos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. Brasília, p: 928-934.
- Sookying, D., & Davis, D. A. (2011). Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations. *Aquaculture*. 319(1), 141–149.
- Sookying, D., Davis, D., Soller, A., Dias da Silva. (2013). A review of the development and application of soybean-based diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 19: 441 - 448.
- Suarez, J. A., Gaxiola, G., Mendoza, R., Cadavid, S., Garcia, G., Alanis, G., Suarez, A. (2009). Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boon, 1931). *Aquaculture*. 289: 18 - 123.
- Tacon, A. (1997): Global trends in Aquaculture and Aquafeed production 1984–1995. *International Aquafeed Directory and Buyers Guide*. 98: 5 – 37.
- Tacon A. G. J., Forster, I. P. (2000). Global trends and challenges to aquaculture and aquafeed development in the new millennium. *International Aquafeed Directory and Buyers Guide*. 200: 4-25.
- Teichert-Coddington, D. R., and Rodríguez, R. (1995): Semi-intensive commercial grow-out of *Penaeus vannamei* fed diets containing differing levels of crude protein during wet and dry seasons in Honduras. *Journal World Aquaculture Society*. 26:72-79.
- Tsai, S. J. & Chen, J. C. (2002). Acute toxicity of nitrate on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*. 213: 163-170.
- Wasielesky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A., 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, 396–403.
- Webster, C. D., Tidwell, J. H., Goodgame, L. S., & Johnsen, P. B. (1993). Growth, body composition, and organoleptic evaluation of channel catfish fed diets containing different percentages of distillers' grains with solubles. *The Progressive Fish-Culturist*. 55(2), 95–100.
- Xu, W. J., Pan, L. Q. (2012). Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. *Aquaculture*. 356-357, 147–152.
- Xu, W. J., Pan, L. Q., Sun, X. H., Huang, J. (2012a). Effects of bioflocs on water quality, and survival, growth and digestive enzyme activities of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in zerowater exchange culture tanks. *Aquaculture Research*. 44, 1093–1102.
- Xu, W. J., Morris, T. C., & Samocha, T. M. (2016). Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a

- biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*. 453, 169-175.
- Xu, W. J., Morris, T. C., & Samocha, T. M. (2018). Effects of two commercial feeds for semi-intensive and hyper-intensive culture and four C/N ratios on water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles at high density in biofloc-based, zero-exchange outdoor tanks. *Aquaculture*. 490, 194-202.
- Yun, H., Shahkar, E., Katya, K., Jang, I. K., Bai, S. C. (2016). Effects of bioflocs on dietary protein requirement in juvenile whiteleg Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*. 47(10), 3203-3214.
- Zhao, P., Huang, J., Wang, X. H., Song, X. L., Yang, C. H., Zhang, X. G., Wang, G. C. (2012). The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicas*. *Aquaculture*. 354-355, 97-106.

CAPITULO 3. Comparación de los efectos de tres diferentes tipos de probióticos (EPICIN®-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM®, Neutrobacter®), sobre el crecimiento y supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

3.1 Resumen específico

Se cultivó durante 13 semanas (90 días) camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) Pl₁₅ (aproximadamente 0.0011 g) a una densidad de 500 Plm⁻³, en geomembranas circulares de 1.5 m³ por triplicado, los cuales fueron alimentados con alimento comercial Silver cup[®] formulado a base de harina animal y vegetal (45 % al 28 % proteína). Se probaron tres probióticos comerciales: T1= EPICIN[®]-HATCHERIES (2 g/m³/semanal), T2= EM1 Tecnología EM[®] (150 ml/m³/día), T3= Neutrobacter[®] (200 ml/m³/día), para determinar qué tipo de probiótico presentaba los mejores rendimientos en crecimiento y supervivencia bajo condiciones controladas en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (UAN) en San Blas, Nayarit. Se alimentaron *at libitum* de acuerdo al contenido proteico requerido, a una tasa de alimentación del 15 % al 2 % de su biomasa. A través de biometrías semanales se obtuvo su crecimiento y supervivencia. Los parámetros de la calidad del agua no mostraron diferencias significativas (P<0.05) en ninguno de los parámetros estudiados durante el cultivo (NAT, NH₃, NO₂, NO₃, PO₄, PT y CaCO₃). Las concentraciones de NH₃ se mantuvieron por debajo del límite de tolerancia, alcanzando concentraciones de 0.095 ± 0.029 mgL⁻¹ y los NO₂ alcanzaron una media máxima de 0.39 ± 0.52 mgL⁻¹ por debajo de lo recomendado para la especie. En las variables de respuesta se observó que la supervivencia osciló entre los 70.03 % y 80.30 %, se observaron diferencias significativas (P<0.05) entre el tratamiento T2 (70.03 ± 2.90^b %) y los otros dos tratamientos: T1 (80.30 ± 3.60^a %) y T3 (78.34 ± 4.5^a %). El mejor peso final lo presentó el T3 (9.3 ± 0.85^a g), encontrándose diferencias significativas (P<0.05) entre este y los otros tratamientos (T1 y T2), el menor TEC lo presentó el T2 (7.2 ± 0.2^b %), se observó diferencias significativas entre este y los otros dos tratamientos (T1 y T3), el FCA no presentó diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos, en la Biomasa final se obtuvo diferencias significativas (P<0.05) entre el T2 (2.94 ± 0.28^b) y los otros tratamientos (T1 y T3). El mejor IR lo presentó el T3 con un porcentaje de 53.92 %.

Se concluye que el tratamiento donde se aplicó Neutrobacter[®] (200 ml/m³/día) tuvo los mejores rendimientos en las variables de respuesta, esto contrastado con el EPICIN[®]-HATCHERIES (2 g/m³/semanal) que igualó los rendimientos, pero el valor comercial duplica el de Neutrobacter[®].

3.2 Introducción

El uso probióticos en la acuicultura ha surgido como una alternativa de bioremediadores en la calidad del agua y como preventivo de bioagresores, aplicándolo como aditivo en la dieta, así lo mencionan distintos investigadores (Vita, 2008; Camacho, 2012; Souza *et al.*, 2012; Bao, 2014; Krummenauer *et al.*, 2014), quienes afirman los beneficios de la aplicación de probióticos a base de *Bacillus sp.*, sobre todo reportan mejoras en el tamaño final de los camarones cultivados, además mencionan que mejora el rendimiento productivo del camarón y estimula la inhibición en el crecimiento de *Vibrio alginolyticus*. De acuerdo con Verschuere *et al.* (2000), el probiótico es un agente microbiano vivo que puede dar varias ventajas para su hospedero, modificando la comunidad de microbios o asociándose con el hospedero, mejorando el valor nutricional y la reducción de la utilización de alimentos balanceados, mejorando la respuesta del huésped a la enfermedad y elevando la calidad del ambiente. Por lo tanto, la aplicación de probióticos puede ser una solución para obtener una mejor alimentación y optimizar el crecimiento. Además este tipo de microorganismos permite mejorar la eficiencia reduciendo los costos de producción costos en la alimentación, uso sustitutivo de antibióticos y reducción carga medioambiental debido a la acumulación de residuos en el agua (Iribarren *et al.*, 2012). La aplicación de probióticos no se puede afirmar como efectiva y eficiente todavía, debido a la falta de claridad en términos de dosis y resultados en diferentes aplicaciones. Generalmente, la aplicación en escala de laboratorio es mucho más controlado en comparación con estudios de campo, debido al ambiente controlado del sistema de cultivo. El enfoque utilizado en laboratorio es diferente de los estanques de acuicultura en escala comercial y eventualmente causa diferencias en la dosis de probióticos, calidad del agua y en el manejo de los cultivos (Bachruddin *et al.*, 2018).

Las características de las ventajas de *Bacillus* los han convertido en buenos candidatos como probióticos en las dietas de camarones (Zokaeifar *et al.*, 2012; 2014). Estas esporas Gram positivas se han utilizado para mejorar el crecimiento, el estado de salud, la enfermedad, resistencia, así como parámetros de calidad del agua de algunas especies de peces y crustáceos, incluyendo camarones con resultados prometedores (Ziaei-Nejad *et al.* 2006; Balcazar *et al.*, 2007; Keysami *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2007; Tseng *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010; Shen *et al.*, 2010; Luis-Villaseñor *et al.*, 2011; Nimrat *et al.*, 2012; Seenivasan *et al.*

2012; Zokaeifar *et al.* 2012; 2014; Kumar *et al.*, 2016; Interaminensea *et al.*, 2019). Varias especies de microorganismos-probióticos se pueden usar para descomponer material orgánico de restos de alimento, incluido *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* y *Bacillus megaterium*. Además, las bacterias de nitrificación como *Nitrobacter sp.* y *Nitrosomonas sp.*, también se pueden agregar para reducir las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-NH}_4$. Del mismo modo, bacterias productoras de ácido láctico, como *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus fermentum*, también pueden ser utilizadas para mejorar el sistema digestivo de los camarones y mantener el pH del agua a un nivel óptimo (Bachruddin *et al.*, 2018). Sin embargo, Llarío *et al.* (2018) en pruebas de probióticos que realizaron en Brasil, con una concentración recomendada por el fabricante, mencionan que la calidad del agua no se vio mejorada, tampoco el crecimiento y la supervivencia. Además presentó aumento en las concentraciones de hemocitos y de la proteína total. A pesar de eso, investigadores han desarrollado este tipo de tecnologías para poder remediar la toxicidad crónica del NH_3 y de los NO_2 con buenos resultados en cultivos intensivos de camarón blanco (Barbieri *et al.*, 2016) y así evitar brotes graves de enfermedad causados por este tipo de compuestos nitrogenados (Ferreira *et al.*, 2011; Raja *et al.*, 2017) y minimizar las pérdidas económicas en la industria camaronera. Aunado a esto, se han diversificado las investigaciones sobre el uso de probióticos en la industria camaronícola mejorando la calidad del agua (Józwiakowski *et al.*, 2009; Nimrat *et al.*, 2012; Cao *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2016; Dondajewska *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2019) y como método de prevención en enfermedades del camarón (Lukwambe *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2017; Zheng *et al.*, 2019), lo que propicia un desempeño óptimo en las variables de respuesta, específicamente mejorando el crecimiento, supervivencia, el FCA, la TEC y los IR.

Toledo *et al.* (2019) afirman que el tratamiento con probióticos es menos efectivo en estanques con fondos de tierra, lo cual podría estar relacionado a la dificultad de ejercer control sobre las variables (acceso probiótico, temperatura, dosis, higiene en los estanques). Por otro lado, cuando la densidad de población aumenta, existe un efecto directo sobre la TEC y la supervivencia. Se ha descrito una relación de orden inverso entre la densidad de población, la TEC y la supervivencia (Araneda *et al.*, 2008). También se demostró que la supervivencia y las enzimas digestivas disminuyeron en camarones cultivados a alta densidad (Liu *et al.*, 2017), los probióticos de múltiples mezclas fueron mejores para la supervivencia

y la TEC. Los probióticos comerciales en el mercado están compuestos en la mayoría de los casos de mezclas complejas de especies o al menos cepas. Esto podría aumentar la probabilidad de colonización intestinal y la estimulación de la inmunidad innata del huésped mediante varios mecanismos (Toledo *et al.*, 2019). Se ha comprobado que los probióticos de varias capas y de múltiples especies tienen efecto sinérgico basado en los supuestos modos de acción complementarios para mejorar la inmunidad (Timmerman *et al.*, 2004). Las bacterias Gram positivas pertenecientes al género *Bacillus* se encuentran entre los microorganismos más frecuentemente utilizados como probióticos.

Los probióticos del género *Bacillus* ha sido reportado como versátiles en relación con el número de mecanismos disponibles para ejercer probióticos acción, que incluye: actividad antagonista, colonización intestinal, secreción de enzimas digestivas, eliminación de desechos orgánicos y producción de muchos nutrientes suplementarios como biotina, vitamina B12, ácidos grasos, aminoácidos esenciales y otros factores de crecimiento necesarios (Verschuere *et al.*, 2000; Farzanfar, 2006; Van Hai *et al.*, 2009; Xue *et al.*, 2016).

Diversos investigadores (Van Hai *et al.*, 2009; Chai *et al.*, 2016) mencionan que la mejor manera de administrar probióticos en los cultivos de camarón es por alimentación *vs* directo a la columna de agua, lo cual mejoró considerablemente diversas variables analizadas. La adición de probióticos con alimento podría ser más productiva, porque las cepas probióticas pueden modular directamente la digestión y la absorción de nutrientes en el intestino del camarón, además los probióticos podrían servir como fuente de nutrientes; la ingestión de probióticos de manera directa en los alimentos podría ser beneficiosa (Deng *et al.*, 2013; Qiu y Davis, 2017), esto favorece la colonización microbiana, evitando el establecimiento de patógenos (Castex *et al.*, 2014; Javadi y Khatibi, 2017; Luis-Villaseñor *et al.*, 2011b; Sha *et al.*, 2016).

El objetivo de la presente investigación fue comparar los efectos de tres diferentes tipos de probióticos (EPICIN®-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM®, Neutrobacter®), sobre el crecimiento y la supervivencia en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) durante un ciclo de cultivo.

3.3 Material y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería Costera de la Universidad Autónoma de Nayarit. Se cultivó durante 13 semanas (90 días) camarón blanco *Penaeus vannamei* en geomembranas circulares (1.5 m³), a una densidad de 500 Plm⁻³. La postlarva PL₁₅ (aproximadamente 0.011 g) fue provista por el Laboratorio “Acopio de Larvas y Asesoría en Proyectos S.A. de C.V.”. Una vez sembradas las PL se procedió a la engorda, se suministró alimento comercial Silver cup[®] formulado a base de harina animal y vegetal con un contenido proteico del 45 % al 28 % de proteína. Se varió su presentación (molido, migaja, pellet) y cantidad en base a su crecimiento y se redujo la tasa de alimentación del 15 % al 2 % de su biomasa.

Una vez llenadas las geomembranas se inocularon con microalga *Cyclotella choctawhatcheeana*. Al inicio del experimento se seleccionó al azar las geomembranas. En el primer tratamiento por triplicado (T1), se aplicó semanalmente el probiótico EPICIN[®] HATCHERIES (2gm⁻³) cuyos ingredientes activos son *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*. El segundo tratamiento por triplicado (T2), consistió en la aplicación diaria del probiótico EM1 Tecnología EM[®] (150 ml/m³/día) cuyos ingredientes activos son *Lactobacillus sp.*, levaduras y bacterias fototróficas o fotosintéticas. En el tercer tratamiento por triplicado (T3), se aplicó diariamente el probiótico Neutrobacter[®] (200 ml/m³/día), sus ingredientes activos son *Lactobacillus sp.* y levaduras.

Diariamente se contabilizó el número de células (célml⁻¹) que contenían los distintos probióticos que se aplicaron. Se tomaron muestras de agua, se colocó 1µL de la muestra en la cámara Neubauer, se observó al microscopio compuesto con el objetivo 10x y posteriormente 40x. Se determinó el criterio de inclusión y exclusión de los recuadros de la cámara. Se contabilizó y se capturó en una base de datos Excel[®], posteriormente se correlacionó el número de células de los probióticos con las variables de respuestas y el comportamiento de los parámetros físico-químicos del agua.

La temperatura (°C) y O₂ (mgL⁻¹) se midieron cada dos horas con un oxímetro YSI 550A[®], el pH con un potenciómetro Hanna pHep Tester[®] (previamente calibrado con solución Buffer 4, 7 y 10) y la salinidad con el refractómetro Vital Sine SR-6[®] (7:00 y 19:00 hr.), se

suministró alimento comercial Silver cup[®] formulado a base de harina animal (sin harina de pescado) y vegetal con un contenido proteico del 45 % al 28 % de proteína, la tasa de alimentación fue de un 15 % - 2 % de la biomasa, el primer mes se alimentó cada dos horas a boleo y el resto del ciclo se alimentó en comederos (cuatro por geomembranas). Se realizaron adiciones diarias de melaza (20 % de la tasa de alimentación diaria).

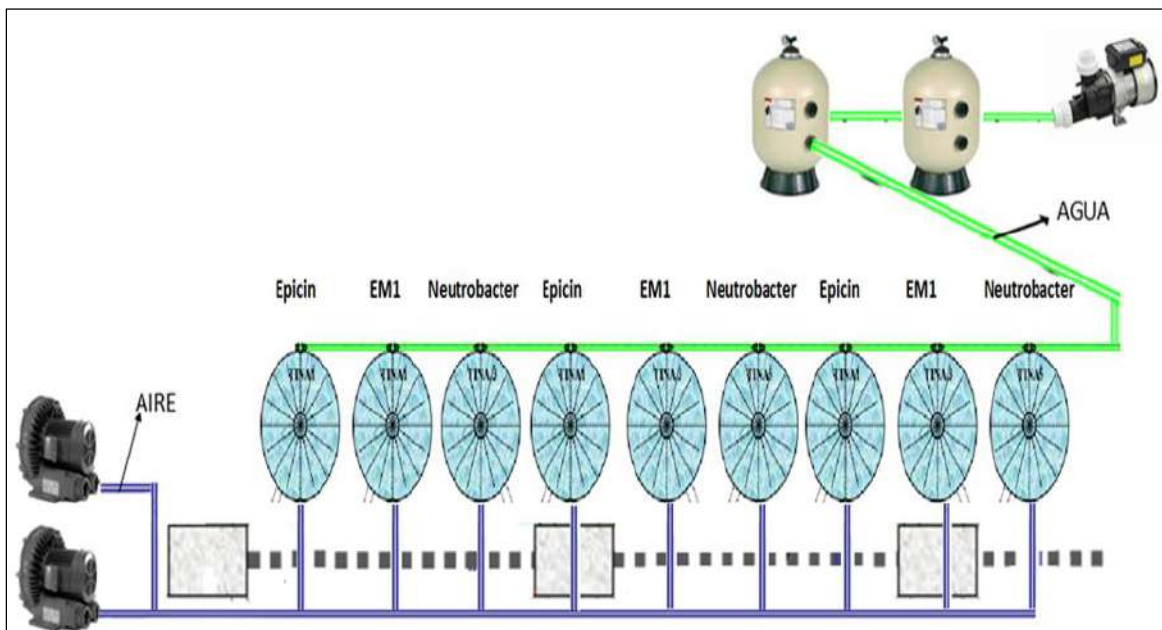


Figura 30. Diseño experimental para el cultivo superintensivo de camarón a una densidad de 500 Plm⁻³, alimentados con alimento comercial: Silver cup[®] sin harina de pescado, en geomembranas circulares de 1.5 toneladas de capacidad máxima distribuidas al azar. Aplicándoles probióticos comerciales EPICIN[®]-HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM[®] (T2), Neutrobacter[®] (T3) durante 13 semanas. Bomba tipo Jacuzzi Magnun Force[®] (2 HP), sopladores eléctricos (4 HP c/u), filtros de bola con carbón activado y zeolita.

3.3.1 Calidad del agua

Semanalmente se tomaron muestras de agua en cada geomembrana para medir las variaciones en las concentraciones de los parámetros físico-químicos: nitrógeno amoniacal total (NAT), amonio no ionizado (NH₃), nitritos (NO₂), nitratos (NO₃), fosfatos (PO₄), fósforo total (PT) y alcalinidad (CaCO₃). Para la determinación de amonio (NH₃) se utilizó el método de indofenol. El amonio reacciona con salicilato alcalino en presencia de cloro

para formar un indofenol verde-azul complejo, los catalizadores se incorporan para garantizar el desarrollo completo y rápido de color. Los nitritos (NO_2) a través de la reacción con el ácido sulfanílico, el compuesto resultante es un compuesto rojizo que de acuerdo a su intensidad es la concentración de la variable. Para la determinación de los nitratos (NO_3) primero se reducen a nitritos, el nitrito resultante se determina mediante la reacción de diazonio para formar un tinte rojizo. Los fosfatos (PO_4) se determinaron a través de hacerlos reaccionar en condiciones ácidas con molibdato de amonio para formar ácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico para formar un color azul característico del molibdeno. Todos los métodos antes descritos fueron leídos con un fotómetro YSI 9500[®] direct-read photometer[®] con su respectivo kit de materiales y reactivos.

Los resultados de la calidad del agua fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23[®], realizándoles una prueba de normalidad Kolomogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

3.3.2 Crecimiento y supervivencia

La supervivencia se calculó al finalizar el ciclo de cultivo según Steffens, 1987 ($S = (T_I / T_F) * 100$); donde S es la supervivencia, T_I y T_F son organismos sembrados y organismos supervivientes respectivamente. Las biometrías se realizaron semanalmente para determinar el crecimiento en peso (g), en base a ello se estimó la tasa de crecimiento (TC), la cual se obtuvo mediante la fórmula $TC = Pg/t$ (Steffens, 1987), donde: Pg = peso ganado (peso final (g) – peso inicial (g)); t = tiempo de cultivo. La tasa específica de crecimiento (TEC), presentada como %/día se calculó con la fórmula $TEC = ([\ln Pf - \ln Pi] / t) * 100$ (Ricker, 1979; Hopkins, 1992), donde \ln = logaritmo natural; Pf = peso final (g); Pi = peso inicial (g); t = días de cultivo. El factor de conversión alimenticia (FCA) se calculó con la siguiente fórmula $FCA = \text{Cantidad de alimento suministrado} / \text{Biomasa generada}$, se determinó el porcentaje del índice de rendimiento (IR) mediante la fórmula $I.R. = C * S$, donde C = tasa de crecimiento, S = supervivencia (Aragón *et al.*, 1999).

Los resultados de crecimiento y supervivencia fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v23[®], realizándoles una prueba de normalidad Kolomogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene, cuando los datos fueron normales se aplicó una ANDEVA y una comparación de medias (Túkey, $P < 0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando los datos no fueron normales, se aplicó una prueba ANDEVA de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos.

3.3.3 Análisis en fresco y bacteriológicos

Semanalmente se realizaron análisis en fresco del camarón bajo la metodología de Morales-Covarrubias (2014). El análisis en fresco es la técnica que se utiliza para monitorear el estado de salud de los organismos y realizar diagnósticos presuntivos en el laboratorio y campo. Este análisis consiste en la disección del camarón en todos sus estadios, para observar las alteraciones y patógenos que presenten sus órganos y tejidos.

Para la realización de los análisis en fresco se utilizó:

- Microscopio compuesto, con objetivos de 4X, 20X, 40X, 60X y 100X.
- Portaobjetos y cubreobjetos.
- Kit de disección.
- Cajas de Petri.
- Pizetas.
- Guantes.
- Agua de mar esterilizada.
- Jeringas desechables.
- Manual.

Técnica.

1. Los organismos se miden y se pesan para obtener el peso y el tamaño promedio.
2. Se analiza la superficie del organismo para detectar deformaciones en el rostrum y en el sexto segmento abdominal, así como cutícula delgada, epicomensales, decoloración, coloración rojiza, melanización, ampollas y necrosis de cutícula, pleópodos, pereiópodos y antenas.
3. Se selecciona una pequeña porción de cada tejido u órgano. Las porciones se colocan en sendos portaobjetos limpios. Se les adicionan unas gotas de agua de mar esterilizada y se pone el cubre objetos.

Las muestras que se tomaron fueron:

- a. **Branquias.** Se coloca una pequeña porción en el portaobjetos para buscar: cambios en la coloración de los filamentos branquiales (como melanización, necrosis, áreas blanquecinas bien definidas), presencia de protozoarios, bacterias filamentosas, detritus del fondo de los estanques, restos de microalgas, hongos, bacterias, melanizaciones y deformaciones.
- b. **Hepatopáncreas.** Se elimina todo el exoesqueleto del cefalotórax para descubrir el hepatopáncreas y el estómago. Se observa la coloración, el tamaño de la hepatopáncreas para definir si hay atrofia o hipertrofia del órgano. Se retira la membrana del hepatopáncreas y se parte por la mitad, para observar la coloración del fluido, textura, melanización y necrosis tubular. También se observa la cantidad de lípidos presentes, desprendimientos de células del epitelio de los túbulos.
- c. **Porcentaje de prevalencia.** Posteriormente se calcula el porcentaje de prevalencia y se determina el grado de severidad.

3.4 Resultados

Se realizó un experimento para determinar el efecto que produce el uso de tres tipos de probióticos comerciales (EPICIN-HATCHERIES® T1), EM1 Tecnología EM® (T2), Neutrobacter® (T3)) en las variables de respuesta (supervivencia, TEC, peso final, crecimiento semanal, FCA, biomasa final) y en la calidad del agua (temperatura, salinidad, pH, O₂, NAT, NH₃, NO₂, NO₃, PT, PO₄), en un cultivo de camarón blanco *Penaeus vannamei* en geomembranas circulares durante 13 semanas días en condiciones semi controladas a una densidad de siembra de 500 PLm⁻³.

3.4.1 Calidad del agua

La calidad del agua presentó variaciones a lo largo del cultivo de 13 semanas (90 días), las fluctuaciones de la temperatura. O₂, pH y salinidad fueron mínimas, en estas variables no se encontraron diferencias significativas (P<0.05) con un nivel de confianza del 95 % en cada uno de los tratamientos, la temperatura se mantuvo en los 26 °C, el O₂ en 5.4 mgL⁻¹, el pH en 8 y la salinidad en 35 UPS.

Los compuestos nitrogenados solo en tres variables se encontraron diferencias significativas (P<0.05): el NAT presentó los mayores valores en el T2 (1.47 ± 0.46 mgL⁻¹), sin embargo no fue significativamente diferente de los tratamientos T1 y T2 (1.11 ± 0.46 mgL⁻¹ y 1.20 ± 0.64 mgL⁻¹ respectivamente), a pesar de que NH₃ presentó las mayores concentraciones, se observó que no presenta diferencias significativas (P<0.05) en T1 (0.106 ± 0.164 mgL⁻¹) respecto a T2 y T3 (0.095 ± 0.029 mgL⁻¹ y 0.076 ± 0.039 mgL⁻¹ respectivamente) finalmente la alcalinidad, el T1 presentó las concentraciones más elevadas (133.12 ± 30.89 mgL⁻¹), no se observó diferencias significativas entre los tratamientos. Los demás compuestos nitrogenados (NO₂, NO₃), el fósforo total (PT) y los fosfatos (PO₄) no presentaron diferencias significativas (P<0.05) con un nivel de confianza del 95 %, dichas concentraciones se encuentran en el rango óptimo para la especie en cuestión (Tabla VIII).

Tabla VIII. Parámetros de la calidad del agua (Media \pm DE) para los tratamientos de un cultivo superintensivo de camarón (T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]) durante un ciclo de cultivo.

Parámetro	Tratamiento		
	Media \pm desviación estándar		
Temperatura (°C)	26.39 \pm 1.47 ^a	26.31 \pm 1.60 ^a	26.40 \pm 1.63 ^a
O ₂ (mgL ⁻¹)	5.42 \pm 1.86 ^a	5.39 \pm 1.54 ^a	5.43 \pm 0.79 ^a
pH	8.05 \pm 0.2 ^a	8.10 \pm 0.17 ^a	8.11 \pm 0.2 ^a
Salinidad (UPS)	35.06 \pm 2 ^a	35.22 \pm 2.33 ^a	35.38 \pm 2.06 ^a
NAT (mgL ⁻¹)	1.11 \pm 0.46 ^a	1.47 \pm 0.46 ^a	1.20 \pm 0.64 ^a
NH ₃ (mgL ⁻¹)	0.069 \pm 0.057 ^a	0.095 \pm 0.029 ^a	0.076 \pm 0.039 ^a
NO ₂ (mgL ⁻¹)	0.35 \pm 0.45 ^a	0.39 \pm 0.52 ^a	0.35 \pm 0.64 ^a
NO ₃ (mgL ⁻¹)	1.21 \pm 0.62 ^a	1.02 \pm 0.60 ^a	1.10 \pm 0.50 ^a
PO ₄ (mgL ⁻¹)	0.40 \pm 0.31 ^a	0.40 \pm 0.31 ^a	0.45 \pm 0.35 ^a
PT (mgL ⁻¹)	1.22 \pm 0.81 ^a	1.16 \pm 0.62 ^a	1.29 \pm 0.82 ^a
CaCO ₃ (mgL ⁻¹)	133.12 \pm 30.89 ^a	159.29 \pm 44.98 ^a	147 \pm 29.60 ^a

Dónde: T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a los tres probióticos comerciales EPICIN[®]-HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM[®] (T2), Neutrobacter[®] (T3) durante 13 semanas. P<0.05. O₂ =oxígeno, NAT=nitrógeno amoniacal total, NH₃ =Amonio no ionizado, NO₂ =Nitritos, NO₃ = Nitratos, PO₄= Fosfatos, PT= Fósforo total, CaCO₃ =alcalinidad.

Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA (P<0.05).

En la Figura 31 se observa que la temperatura se comportó de la misma manera para todos los tratamientos. La mayor temperatura fue de 28 °C para la semana uno, posteriormente fue descendiendo gradualmente. Sin embargo esta tuvo dos descensos importantes en la semana tres y la semana nueve, llegando a alcanzar temperaturas de 25 °C. No se observó diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

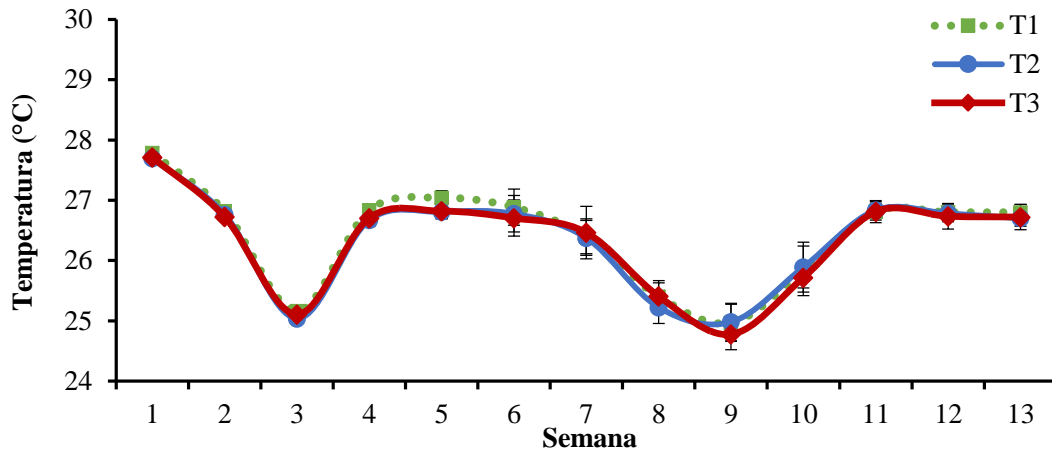


Figura 31. Comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

El oxígeno (Figura 32) se mantuvo por encima de las concentraciones mínimas para la especie, las concentraciones máximas se registraron en la semana cinco (6 mgL^{-1}), a partir de ahí, esta concentración disminuyó gradualmente hasta alcanzar concentraciones de 5 mgL^{-1} , no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de O_2 en cada tratamiento ($P < 0.05$).

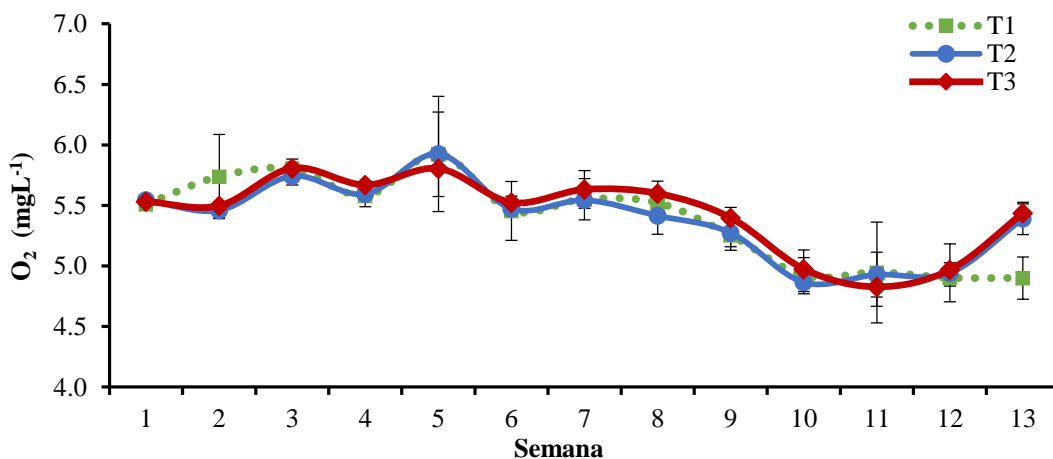


Figura 32. Comportamiento de las concentraciones de O_2 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

Las concentraciones de salinidad (Figura 33) se mantuvieron de manera constante durante el cultivo a excepción de la semana tres dónde se presentaron las menores concentraciones (31 UPS). Las máximas concentraciones se registraron en la semana nueve (38 UPS). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos durante las 13 semanas de cultivo ($P < 0.05$).

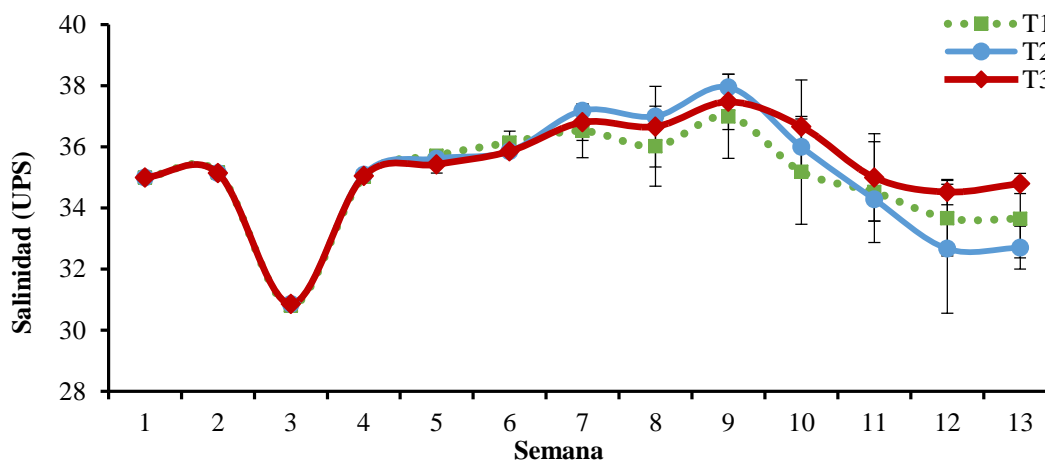


Figura 33. Comportamiento de las concentraciones de salinidad (UPS) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

En la Figura 34 se observa que las concentraciones de pH se mantuvieron en el rango de 7.3 a 8.4, las menores concentraciones se registraron en la semana 13 para el T3 (7.3), las máximas concentraciones se observaron en la semana tres (8.4). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

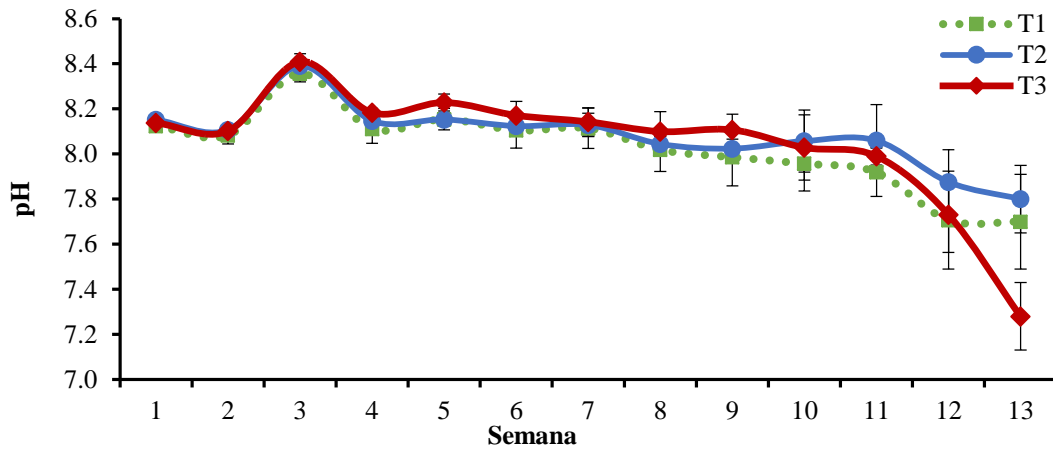


Figura 34. Comportamiento de las concentraciones de pH (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. P<0.05.

El NAT tuvo fluctuaciones durante el cultivo en cada uno de los tratamientos (Figura 35), estas concentraciones se mantuvieron en el rango de 0.5 mgL⁻¹ y 1.8 mgL⁻¹. El tratamiento T1 presentó las menores concentraciones durante el cultivo, mientras que el T3 presentó las máximas concentraciones. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

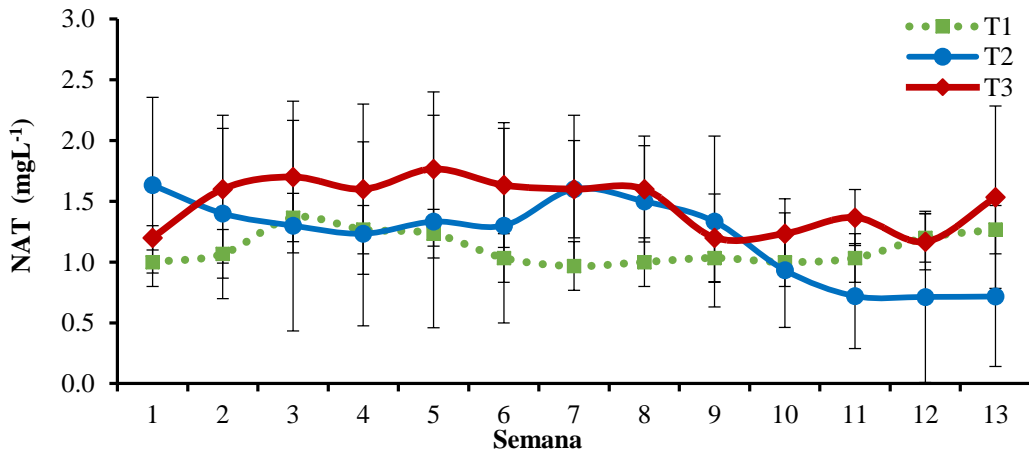


Figura 35. Comportamiento de las concentraciones de NAT (mgL⁻¹) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. P<0.05.

Las concentraciones de NH_3 (Figura 36) se mantuvieron dentro de los límites máximos para la especie, sin embargo las menores concentraciones se registraron en el T1 (0.1 mgL^{-1}) en la semana tres, mientras que las máximas concentraciones se encontraron en el T2 (0.14 mgL^{-1}) en la semana cinco. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

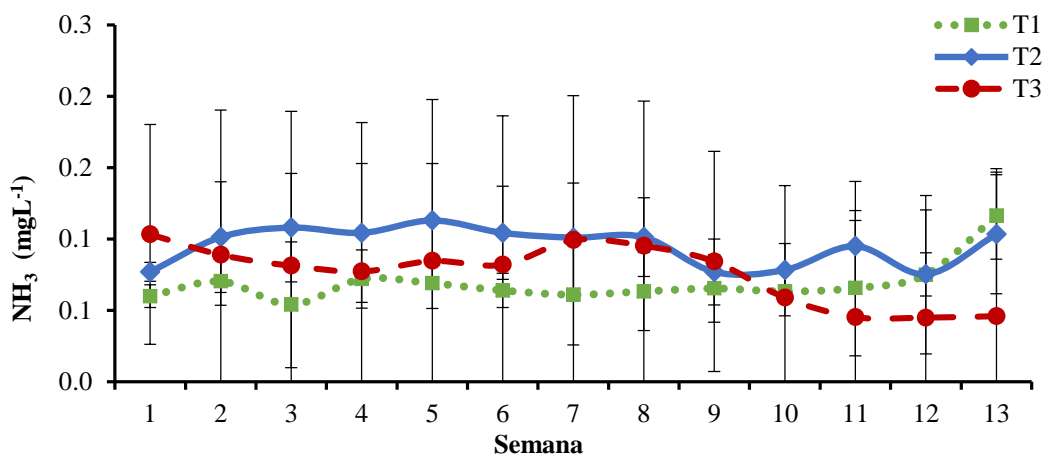


Figura 36. Comportamiento de las concentraciones de NH_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

Durante las primeras seis semanas las concentraciones de NO_2 (Figura 37) se mantuvieron prácticamente en cero (0 mgL^{-1}), conforme transcurrió el cultivo, estas concentraciones aumentaron llegando a alcanzar concentraciones máximas de 1.6 mgL^{-1} para el T2 y T3 en las semanas ocho y 10. Las mínimas concentraciones se registraron para el T1 y T2 (0.2 mgL^{-1}) en las semanas nueve y 12. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

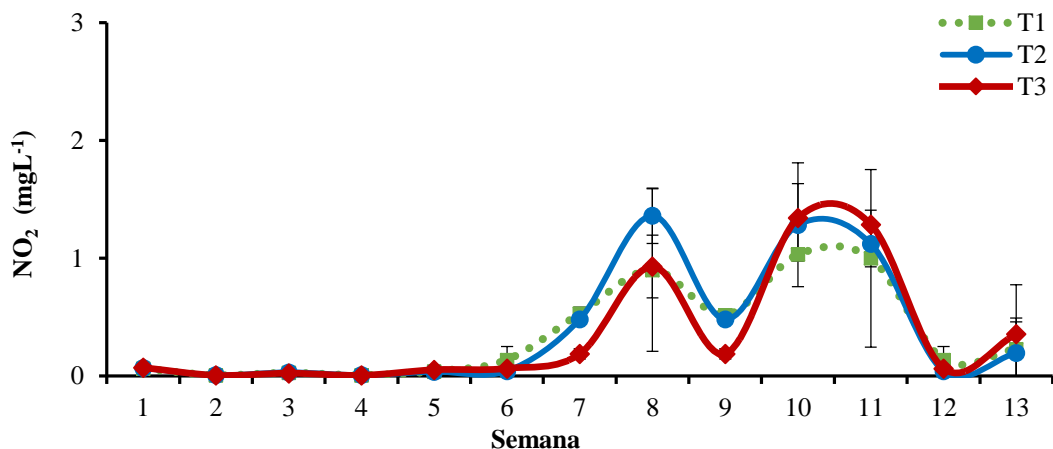


Figura 37. Comportamiento de las concentraciones de NO₂ (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. P<0.05.

Las concentraciones de NO₃ (Figura 38) fue fluctuante durante todo el periodo de cultivo, sin embargo las concentraciones mínimas se registraron en la semana dos (0.5 mgL⁻¹) para el T1 y T2 y las máximas en la semana seis (2.5 mgL⁻¹) en la semana siete. A pesar de las fluctuaciones antes mencionadas no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05)

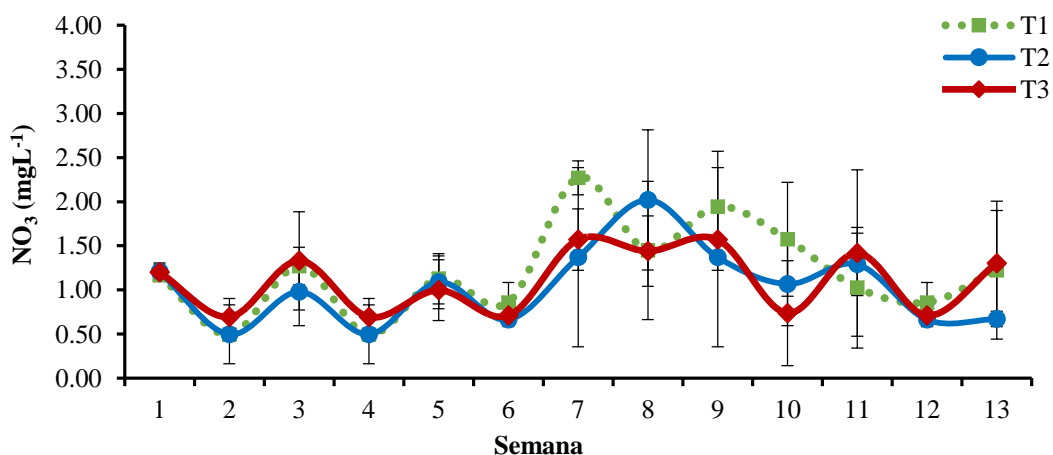


Figura 38. Comportamiento de las concentraciones de NO₃ (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. P<0.05.

Los PO₄ se mantuvieron dentro del rango óptimo para la especie (Figura 39), sin embargo las mínimas concentraciones se registraron para T1 y T2 (0.1 mgL⁻¹) en la semana ocho y las máximas para el T1 (3.2 mgL⁻¹) en la semana 10. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

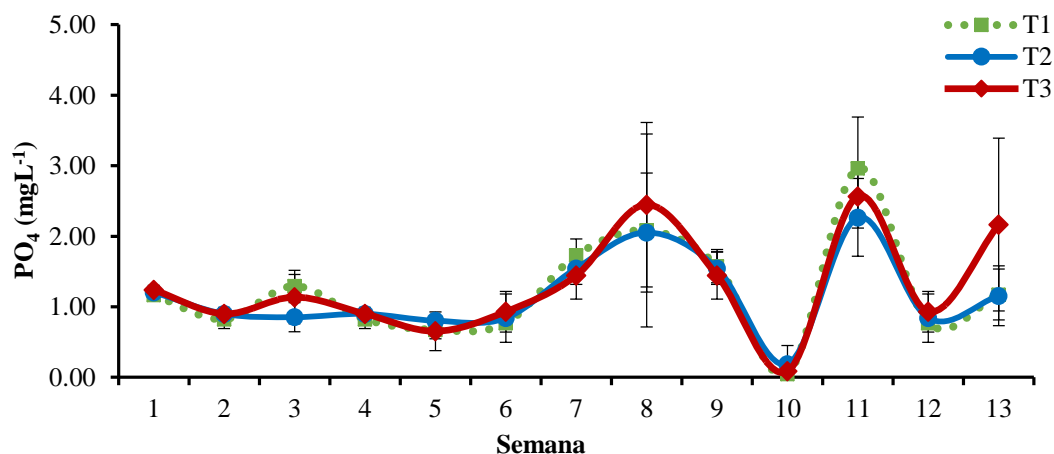


Figura 39. Comportamiento de las concentraciones de PO₄ (mgL⁻¹) (Media ± Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm⁻³) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. P<0.05.

El PT se mantuvo de manera similar a los PO₄ (Figura 40), dónde las mínimas concentraciones se registraron en la semana 10 (0.01 mgL⁻¹) para todos los tratamientos, las máximas concentraciones se registraron en la semana 11 (1.5 mgL⁻¹) para el T3. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05).

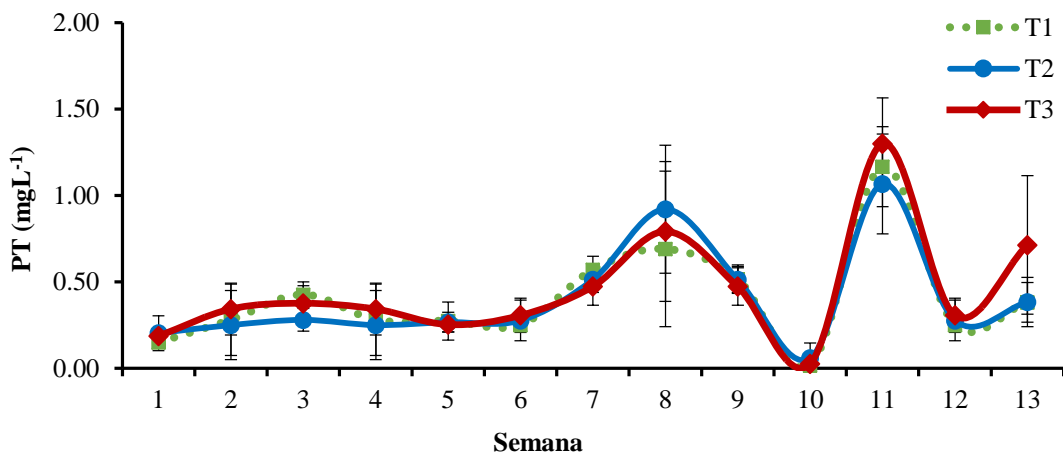


Figura 40. Comportamiento de las concentraciones de PT (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

Las concentraciones de CaCO_3 (Figura 42) se mantuvieron dentro del rango óptimo para la especie, estas concentraciones fueron de 120 mgL^{-1} a 140 mgL^{-1} . No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

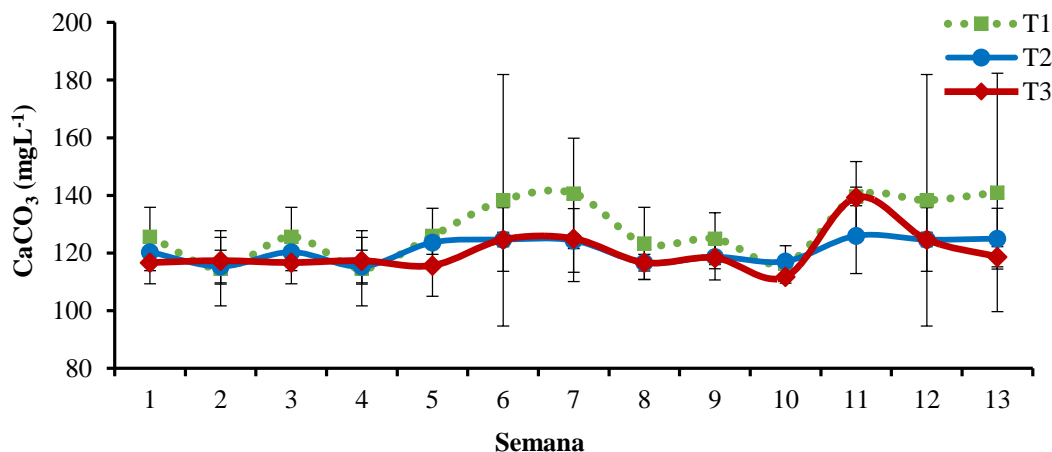


Figura 41. Comportamiento de las concentraciones de CaCO_3 (mgL^{-1}) (Media \pm Desviación estándar) en el cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

3.4.2 Crecimiento y supervivencia

La mayor supervivencia se presentó en los tratamientos T1 y T3 (80.30 ± 3.60 %, 78.34 ± 4.52 %), entre estos tratamientos no se encontraron diferencias significativas, sin embargo el T2 (70.03 ± 2.90 %) mostró diferencias significativas entre este y los tratamientos T1 y T3 ($P < 0.05$). El FCA no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo el menor FCA se registró en el T3 (1.17 ± 0.165), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3 respecto a las variables peso final (5.61 ± 0.99 g, 8.26 ± 1.22 g) y TEC (7.20 ± 0.20 %, 7.63 ± 0.20 %). La mayor biomasa se observó en el T3 (4.856 ± 0.165 Kg), sin embargo solo existió diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos T1-T3 y T2 (Tabla IX).

Tabla IX. Variables de respuesta (Media \pm DE) para los tratamientos (EPICIN[®]-HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM[®] (T2), Neutrobacter[®] (T3)) de un cultivo superintensivo de camarón durante un ciclo de cultivo a una densidad de 500 Plm^{-3} .

Parámetro	Tratamiento		
	Media \pm Desviación Estándar		
	T1	T2	T3
Supervivencia (%)	80.30 ± 3.60^a	70.03 ± 2.90^b	78.34 ± 4.52^{ab}
Peso final (g)	7.13 ± 0.15^b	6.63 ± 0.8^b	9.3 ± 0.85^a
TEC (%/d)	7.36 ± 0.15^{ab}	7.20 ± 0.20^b	7.63 ± 0.20^a
FCA	1.21 ± 0.08^a	1.43 ± 0.11^a	1.17 ± 0.18^a
Biomasa Final (Kg)	3.99 ± 0.51^a	2.94 ± 0.28^b	4.85 ± 0.16^a
I. R (%)	44.29	32.73	53.92

Dónde T1, T2 y T3 son los tratamientos respecto a las tres densidades de siembra (EPICIN[®]-HATCHERIES (T1), EM1 Tecnología EM[®] (T2), Neutrobacter[®] (T3), 500 Plm^{-3}). $P < 0.05$. TEC= Tasa específica de crecimiento diario, FCA= Factor de conversión alimenticia, I.R = Índice de rendimiento.

Literales diferentes en superíndice (a, b, c...) indican diferencias significativas. ANDEVA ($P < 0.05$).

Como se observa en la Figura 42 el crecimiento fue similar para los tres tratamientos durante las primeras ocho semanas, a partir de la semana nueve, la diferencia de crecimiento cada vez fue más notoria, hasta encontrarse diferencias significativas en la semana 13 ($P < 0.05$) entre el T3 y el T1-T2.

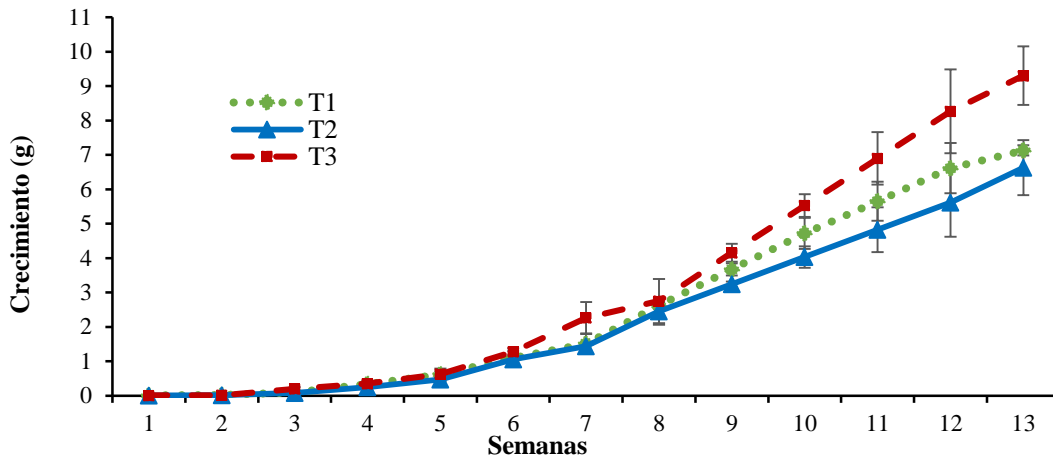


Figura 42. Comportamiento del crecimiento del camarón durante un ciclo de cultivo superintensivo de camarón (500 Plm^{-3}). Dónde T1= EPICIN[®]-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM[®], T3= Neutrobacter[®]. $P < 0.05$.

3.4.3 Análisis en fresco y bacteriológicos

Se realizaron semanalmente análisis bacteriológicos de la columna de agua y de los organismos cultivados como parte del monitoreo, control y prevención de enfermedades de origen bacteriano sobre los organismos cultivados, para observar los efectos de los probióticos en la columna de agua y por ende los efectos en los organismos. El promedio semanal de unidades formadoras de colonias (UFC) tanto de bacterias verdes y amarillas en hepatopáncreas y en agua, se mantuvieron por debajo de 3,500 cel/g, que según la tabla de clasificación e interpretación de resultados bacterianos se clasifican en normal-elevado (verdes) y normal (amarillas). Estos resultados tuvieron un efecto positivo en las variables de respuesta. Además los análisis en fresco mostraron durante todo el cultivo un grado de severidad bajo (0-1) en todos los tratamientos. Sin embargo en el T2 los túbulos del hepatopáncreas presentaron rugosidad y un número reducido de lípidos (Figura 43).

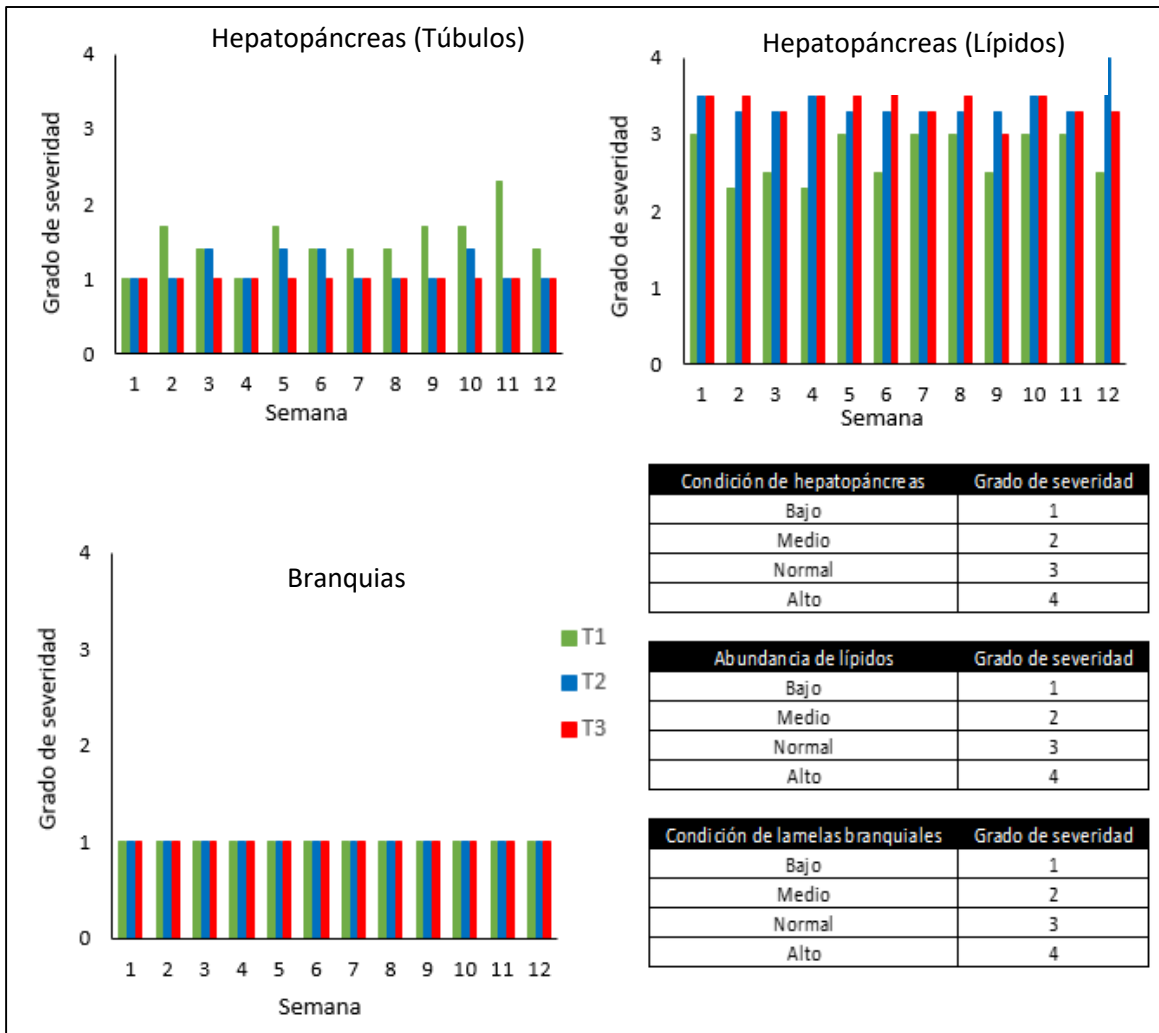


Figura 43. Grados de severidad del hepatopáncreas (túbulos y lípidos), branquias (parásitos epicomensales) en el cultivo superintensivo de camarón un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®.

3.4.4 Conteo de células

Semanalmente se contabilizó el número de células de cada probiótico para ver el comportamiento del probiótico durante el cultivo. Se observa que el mayor número de células se registran en las primeras semanas de cultivo, conforme este transcurre, las concentraciones de los componentes de los probióticos disminuye paulatinamente hasta mantenerse por encima de $1'000,000 \text{ celml}^{-1}$ (Figura 44).

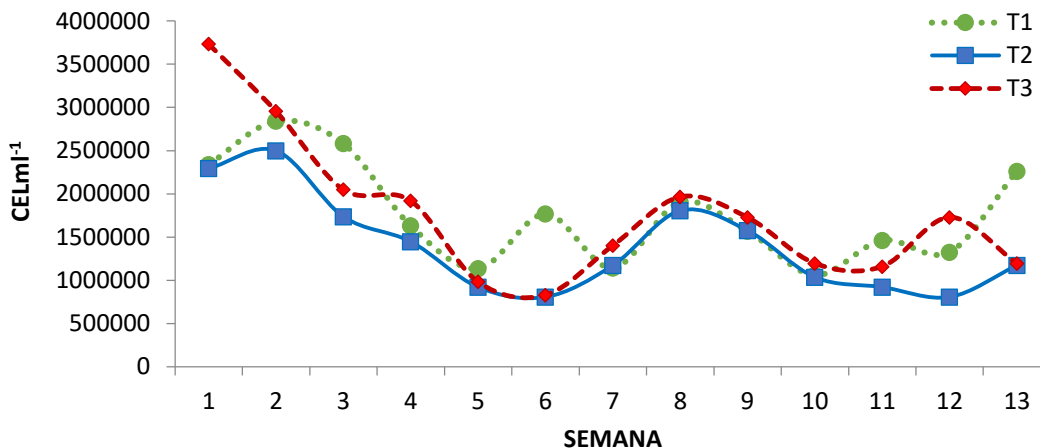


Figura 44. Conteo del número de células de los probióticos utilizados en el cultivo superintensivo de camarón (500 orgm^{-3}) durante un ciclo de cultivo. Dónde T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®. $P < 0.05$.

3.4.5 Correlación de Pearson

En la Tabla X se observa que existe una fuerte correlación negativa entre el número de células de los probióticos contra el NO_3 y el pH en cada uno de los tratamientos. En ningún otro parámetro no se observa correlación fuerte ni positiva ni negativa.

Tabla X. Correlación de Pearson entre el número de células ml^{-1} y las variables de la calidad del agua de un cultivo superintensivo de camarón utilizando tres tipos de probióticos T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®, durante un ciclo de cultivo.

Parámetros	Tratamientos		
	T1	T2	T3
NAT	0.029	0.326	-0.076
NO_2	-0.008	0.144	0.189
NO_3	0.142	0.53	0.612**
PT	-0.318	-0.446	-0.451
PO_4	-0.287	-0.386	-0.419
CaCO_3	0.115	0.5	0.275
pH	-0.621**	-0.753**	-0.736**

Dónde: NAT= nitrógeno amoniacal total, NO_2 = nitritos, NO_3 = nitratos, PT=fósforo total, PO_4 = fosfatos, CaCO_3 = alcalinidad y pH.

T1= EPICIN®-HATCHERIES, T2= EM1 Tecnología EM®, T3= Neutrobacter®.

**= La correlación es significativa con un nivel de confianza del 95 % (bilateral).

3.5 Discusión

Se probaron tres probióticos comerciales (EPICIN[®]-HATCHERIES, EM1 Tecnología EM[®], Neutrobacter[®]) durante 13 semanas en un cultivo superintensivo de camarón, para probar su efectividad sobre el crecimiento, supervivencia y los efectos antagónicos sobre la calidad del agua.

El uso de probióticos en la acuicultura ha provocado gran interés por parte de los productores, particularmente en el cultivo de camarón, ya que estos tienen la capacidad de mejorar la calidad del agua y la composición microbiana en el bentos y en los organismos cultivados. Además se ha demostrado que los probióticos tienen un efecto positivo sobre el crecimiento y supervivencia de los camarones (Moriarty 1998). Los probióticos más utilizados en la acuicultura pertenecen al género *Bacillus spp.* (Nakayama, Lu & Nomura 2009; Ninawe & Selvin, 2009) porque segregan una amplia gama de exoenzimas y compuestos antimicrobianos (Moriarty 1998).

En el presente estudio, se observó que los parámetros físico-químicos de la calidad del agua se encontraron dentro de los intervalos recomendados para el cultivo superintensivo de camarón *Penaeus vannamei*, sin importar el tipo de probiótico que se haya utilizado, concordando con los resultados obtenidos por Melgar-Valdes *et al.* (2013). Uno de los parámetros que más influyen en la calidad del agua es el pH; esto es debido a que tiene una influencia directa sobre las comunidades bacterianas, lo que produce un deterioro en la columna de agua si no están adecuadamente controladas, incrementando las concentraciones de los compuestos nitrogenados. El pH se mantuvo en niveles de 8, esta concentración es apropiada para la especie en cuestión. Trabajos previos han demostrado que los probióticos pueden producir diferentes compuestos orgánicos extracelulares como: bacterias fotosintéticas (Farfanzar, 2006; Qi *et al.*, 2009), ácido láctico, peróxido de hidrogeno, entre otras (Rengpipat *et al.*, 2008), los cuales disminuyen las concentraciones de pH en la columna de agua debido a sus características hidrofílicas (Villamil y Martínez-Silva, 2009).

Los compuestos nitrogenados no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), pero se observa que regulan adecuadamente las concentraciones de NO_2 , NO_3 y el NH_3 (amonio no ionizado-tóxico). Diversos estudios han mencionado que los probióticos no tienen efectos sobre la remoción de compuestos nitrogenados (Ajitha *et al.*, 2004; Günther y

Jiménez-Montealegre, 2004), los tratamientos aplicados en la presente investigación evidenció que en todos los tratamientos se redujo las concentraciones de NH₃ y se mantuvieron dentro de los rangos óptimos los demás compuestos nitrogenados (NAT, NO₂, NO₃), el PT y los PO₄ (Banerjee *et al.*, 2010). Estos resultados son consistentes en este estudio, sin embargo y en contraste McIntosh *et al.* (2000), probaron diferentes dosis de probiótico comercial, encontrándose efectos negativos (infección cutánea y menor tasa de supervivencia) en cultivos intensivos de *P. vannamei*.

Los efectos directos se observaron sobre el crecimiento y supervivencia del camarón, en el presente trabajo las actividades de los compuestos de los probióticos específicamente *Bacillus spp.*, permitieron que las supervivencias estuvieran por encima de del 70 % y el crecimiento se viera incrementado según el periodo de cultivo, lo cual es consistente con lo reportado por Peraza-Gómez (2008) que además observó una disminución en la prevalencia de WSSV, esto mismo se puede observar en los resultados de este experimento al obtener supervivencias elevadas para este tipo de sistemas de cultivo sin que se vieran comprometidas con algún agente patógeno. Nimrat *et al.* (2019) mencionan que la administración de probióticos a base de *Bacillus spp.* como suplemento bacteriano directamente al alimento o a la columna de agua, permite la colonización de las superficies mucosas del tracto digestivo y compite por nutrientes de manera más efectiva a través de la exclusión competitiva (Castex *et al.*, 2014; Hai, 2015). En esta investigación, se observó mejora en el peso ganado semanalmente y en la supervivencia (> 70 %), lo cual coincide con distintos investigadores (Nimrat *et al.*, 2012; Madani *et al.*, 2018; De *et al.*, 2018), quienes observaron mejora en los primeros 60 días de cultivo, con probióticos adicionados a alimento balanceado.

La mayoría de la evidencia científica indica que el mejor método de aplicación de los probióticos es a través del alimento con la finalidad de que las bacterias ingresen, colonicen y se multipliquen en el tracto digestivo (Irianto y Austin, 2002; Kumar *et al.*, 2008), sin embargo se demostró que al aplicar dosis adecuadas de probióticos en la columna de agua, mejora la supervivencia, el crecimiento, FCA y la biomasa final. Lo cual es consistente con lo mencionado por Kesarcodi-Watson *et al.* (2008) quienes mencionan que los probióticos pueden mejorar el sistema inmunológico obteniéndose un efecto positivo en la supervivencia de los organismos cultivados en respuesta a un ambiente adverso. En la presente

investigación el probiótico fue adicionado directamente a la columna de agua, lo que permitió que la comunidad bacteriana y la generación de floculos en el perifiton se viera mejorada en calidad y abundancia, el camarón se alimentó de ellos (detritívoro, por sus hábitos alimenticios), lo cual originó que las TEC estuvieran por encima del 70 %, y el FCA se mantuviera por debajo de 1.43:1 lo cual es consistente con lo mencionado por distintos investigadores (Ray, Ghosh y Ringo, 2012; Castex *et al.*, 2014, Santos *et al.*, 2019).

3.6 Conclusiones

Se acepta la hipótesis que al aplicar probióticos en cultivos superintensivos de camarón, permite mejorar el crecimiento y supervivencia. Esto debido a que los probióticos tienen la capacidad de mejorar el microambiente del tracto digestivo de los camarones, además el uso de otra alternativa como remediador permitió determinar que el uso de otro probiótico respecto al más utilizado en la industria y por ende más caro, se generan los mismos e incluso mejores rendimientos en crecimiento y supervivencia a menor costo.

3.7 Referencias

- Ajitha, S., M. Sridhar, N. Sridhar, I. Singh & V. Varghese. (2004). Probiotic effects of lactic acid bacteria against *Vibrio alginolyticus* in *Penaeus* (*Fenneropenaeus indicus*) (H. Milne Edwards). *Asian Fisheries Society*. 17: 71-80.
- Araneda, M., Pérez, E. P., Gasca-Leyva, E. (2008). White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: condition state based on length and weight. *Aquaculture*. 283(1-4), 13-18.
- Bao, L. (2014). Quality of biomass of floc-associated bacteria isolated from shrimp ponds. Doctoral dissertation, International University, Vietnam. 225p.
- Bachruddin, M., Sholichah, M., Istiqomah, S., & Supriyanto, A. (2018). Effect of probiotic culture water on growth, mortality, and feed conversion ratio of Vanamei shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 137, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
- Balcázar, J. L., Rojas-Luna, T., & Cunningham, D. P. (2007). Effect of the addition of four potential probiotic strains on the survival of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) following immersion challenge with *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 96, 147–150.
- Banerjee, S., H. Khaton, M. Shariff & F.M. Yusoff. (2010). Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp postlarvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. *Fisheries Science*. 76: 481-487.
- Barbieri, E., Bondioli, A. C. V., de Melo, C. B., Henriques, M. B. (2016). Nitrite toxicity to *Litopenaeus schmitti* (Burkenroad, 1936, Crustacea) at different salinity levels. *Aquaculture Research*. 47, 1260–1268.
- Camacho, M.A. (2012). Efecto de la aplicación de probióticos en dietas para camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, mediante indicadores de crecimiento y respuesta inmune. Tesis de Maestría. *ITSO*. Sonora, México.
- Cao, Y. C., Wen, G. L., Li, Z. J., Liu, X. Z., Hu, X. J., Zhang, J. S., He, J. G. (2014). Effects of dominant microalgae species and bacterial quantity on shrimp production in the final culture season. *Journal of Applied Phycology*. 26, 1749–1757.
- Castex, M., Daniels, C., & Chim, L. (2014). Probiotic applications in crustaceans. In D. Merrifield, & E. Ringo (Eds.), *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics* (pp. 290–327). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Chai, P. C., Song, X. L., Chen, G. F., Xu, H., Huang, J. (2016). Dietary supplementation of probiotic *Bacillus* PC465 isolated from the gut of *Fenneropenaeus chinensis* improves the health status and resistance of *Litopenaeus vannamei* against white spot syndrome virus. *Fish and Shellfish Immunology*. 54, 602-611.
- De, D., Raja, R. A., Ghoshal, T. K., Mukherjee, S., & Vijayan, K. K. (2018). Evaluation of growth, feed utilization efficiency and immune parameters in tiger shrimp (*Penaeus monodon*) fed diets supplemented with or diet fermented with gut bacterium *Bacillus*

- sp.* DDKRC1. isolated from gut of Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture Research*. 49, 2147–2155.
- Deng, D., Mei, C., Mai, K., Tan, B.P., Ai, Q., Ma, H. (2013). Effects of a yeast-based additive on growth and immune responses of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), and aquaculture environment. *Aquaculture Research*. 44, 1348-1357.
- Dondajewska, R., Kozak, A., Rosińska, J., Gołdyn, R. (2019). Water quality and phytoplankton structure changes under the influence of effective microorganisms (EM) and barley straw–Lake restoration case study. *Science of the Total Environment*. 660, 1355–1366.
- Farzanfar, A. (2006). The use of probiotics in shrimp aquaculture. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*. 48, 149–158
- Ferreira, N. C., Bonetti, C., Seiffert, W. Q. (2011). Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. *Aquaculture*. 318, 425–433.
- Günther, J. & R. Jiménez-Montealegre. (2004). Efecto del probiótico *Bacillus subtilis* sobre el crecimiento y alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y langostino (*Macrobrachium rosenbergii*) en laboratorio. *Revista de Biología Tropical*. 52: 937-943.
- Hai, N. V. (2015). The use of probiotics in aquaculture: Review. *Journal of Applied Microbiology*. 119, 917–935.
- Interaminense, J. A., Vogeley, J. L., Gouveia, C. K., Portela, R. S., Oliveira, J. P., Silva, S. M., & Bezerra, R. S. (2019). Effects of dietary *Bacillus subtilis* and *Shewanella algae* in expression profile of immune-related genes from hemolymph of *Litopenaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish and shellfish immunology*. 86, 253-259.
- Irianto, A. & B. Austin. (2002). Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*. 25: 633-642.
- Javadi, A., Khatibi, S. A. (2017). Effect of commercial probiotic (Protexin®) on growth, survival and microbial quality of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Nutrition and Food Science*. 47.
- Józwiakowski, K., Czernaś, K., Szczurowska, A. (2009). Preliminary results of studies on the purification of water in a pond using the SCD probiotics technology. *Ecology and Hydrobiology*. 9, 307–312.
- Kesarcodi-Watson, A., H. Kaspar, M.J. Lategan & L. Gibson. (2008). Probiotics in aquaculture: The need, principles and mechanisms of action and screening processes. *Aquaculture*. 274: 1-14.
- Keysami, M. A., C. R. Saad, K. Sijam, H. M. Daud, and A. R. Alimon. (2007). Effect of *Bacillus subtilis* on growth development and survival of postlarvae *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Nutrition*. 13, 131–136.

- Krummenauer, D., Poersch, L., Romano, L. A., Lara, G. R., Encarnação, P., and Wasielesky Jr, W. (2014). The effect of probiotics in a *Litopenaeus vannamei* biofloc culture system infected with *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Applied Aquaculture*. 26(4), 370-379.
- Kumar, M., N. S. Swarnakumar, K. Sivakumar, T. Thangaradjou & L. Kannan. (2008). Probiotics in aquaculture: importance and future perspectives. *Indian Journal of Microbiology*. 48: 299-308.
- Kumar, V, Roy S., Meena, K. D. and Sarkar, U. K. (2016). Application of probiotics in shimp aquaculture: mechanisms of action and methods of administration. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*. 24, 342-368.
- Llario, F., Romano, L. A., Rodilla, M., Sebastián-Frasquet, M. T., & Poersch, L. H. (2018). Application of *Bacillus amyloliquefaciens* as probiotic for *Litopenaeus vannamei* (Boone) cultivated in a biofloc system. *Iranian Journal of Fisheries Science*.
- Li, K., Zheng, T., Tian, Y., Xi, F., Yuan, J., Zhang, G., & Hong, H. (2007). Beneficial effects of *Bacillus licheniformis* on the intestinal microflora and immunity of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Biotechnology Letters*. 29, 525–530.
- Liu, K. F., Chiu, C. H., Shiu, Y. L., Cheng, W., & Liu, C. H. (2010). Effects of the probiotic, *Bacillus subtilis* E20, on the survival, development, stress tolerance, and immune status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* larvae. *Fish and Shellfish Immunology*. 28, 837–844.
- Liu, G., Zhu, S., Liu, D., Guo, X., Ye, Z. (2017). Effects of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status, and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. *Fish and Shellfish Immunology*. 67, 19-26.
- Luis-Villaseñor, I. E., Macías-Rodríguez, M. E., Gómez-Gil, B., Ascencio-Valle, F., & Campa-Córdova, Á. I. (2011). Beneficial effects of four *Bacillus* strains on the larval cultivation of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 321, 136–144.
- Luis-Villaseñor, I. E., Macías-Rodríguez, M. E., Gómez-Gil, B., Ascencio-Valle, F., Campa-Córdova, Á. I. (2011b). Beneficial effects of four *Bacillus* strains on the larval cultivation of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 321, 136-144.
- Lukwambe, B., Qiuqian, L., Wu, J., Zhang, D., Wang, K., Zheng, Z. (2015). The effects of commercial microbial agents (probiotics) on phytoplankton community structure in intensive white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) aquaculture ponds. *Aquaculture International*. 23, 1443–1455.
- Madani, N. S. H., Adorian, T. J., Farsani, H. G., & Hoseinifar, S. H. (2018). The effects of dietary probiotic bacilli (*Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) on growth performance, feed efficiency, body composition and immune parameters of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture Research*. 49, 1926–1933.
- McIntosh, R.P., T.M. Samocha, E.R. Jones, A.L. Lawrence, D.A. McKee, S. Horowitz & A. Horowitz. (2000). The effect of a commercial bacterial supplement on the high-

- density culturing of *Litopenaeus vannamei* with a low-protein diet in an outdoor tank system and no water exchange. *Aquacuacultural Engineering*. 21: 215-227.
- Melgar-Valdez, C., Barba-Macías, E., Álvarez-González, C., Tovilla-Hernández, C. y Zánchez, A. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista Biología Tropical*. 61(3):1215-1228.
- Merrifield, D. L., & Ringo, E. (Eds.). (2014). *Aquaculture nutrition: gut health, probiotics and prebiotics*. John Wiley & Sons.
- Moriarty D.J.W. (1998). Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. *Aquaculture*. 164: 351–358.
- Nakayama T., Lu H. & Nomura N. (2009). Inhibitory effects of *Bacillus* probionts on growth and toxin production of *Vibrio harveyi* pathogens of shrimp. *Letters in Applied Microbiology*. 49: 679–684.
- Nimrat, S., Suksawat, S., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2012). Potential *Bacillus* probiotics enhance bacterial numbers, water quality and growth during early development of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Veterinary Microbiology*. 159, 443–450.
- Ninawe A. S. & Selvin J. (2009). Probiotics in shrimp aquaculture: Avenues and challenges. *Critical Reviews in Microbiology*. 35: 43–66.
- Nimrat, S., Khaopong, W., Sangsong, J., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2019). Improvement of growth performance, water quality and disease resistance against *Vibrio harveyi* of postlarval whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by administration of mixed microencapsulated *Bacillus* probiotics. *Aquaculture Nutrition*. 00:1-12.
- Peraza-Gómez, V. (2008). Uso de plantas medicinales, bacterias ácido lácticas y levaduras con potencial probiótico para combatir la enfermedad de la mancha blanca en *Litopenaeus vannamei*, cultivado en el laboratorio. Tesis de maestría. CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa. 67 pp.
- Qi, Z., X.H. Zhang, N. Boon & P. Bossier. (2009). Probiotic in aquaculture of China-Current state, problems and prospect. *Aquaculture*. 290: 15-21.
- Qiu, X., & Davis, D. A. (2017). Evaluation of flash dried yeast as a nutritional supplement in plant-based practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 23(6), 1244-1253.
- Raja, R. A., Sridhar, R., Balachandran, C., Palanisammi, A., Ramesh, S., Nagarajan, K. (2017). Pathogenicity profile of *Vibrio parahaemolyticus* in farmed Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*. 67, 368–381.
- Ray, A. K., Ghosh, K., & Ringo, E. (2012). Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: A review. *Aquaculture Nutrition*. 18, 465–492.

- Rengpipat, S., T. Rueangruklikhit & S. Piyatiratitivorakul. (2008). Evaluations of lactic acid bacteria as probiotics for juvenile seabass *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*. 39: 134-143.
- Santos, H. M., Tsai, C. Y., Yanuaria, C. A. S., Tayo, L. L., Vo, D. D., Mariatulqabtiah, A. R., & Chuang, K. P. (2019). Effects of sodium alginate- fed Pacific white shrimps, *Litopenaeus vannamei*, on Toll-like receptors and *Vibrio alginolyticus* infection. *Aquaculture Research*. 50, 1384–1392.
- Seenivasan, C., Radhakrishnan, S., Muralisankar, T., & Bhavan, P. S. (2012). *Bacillus subtilis* on survival, growth, biochemical constituents and energy utilization of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* post larvae. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 38, 195–203.
- Sha, Y., Liu, M., Wang, B., Jiang, K., Qi, C., Wang, L. (2016). Bacterial population in intestines of *Litopenaeus vannamei* fed different probiotics or probiotic supernatant. *Journal of microbiology and biotechnology*. 26, 1736-1745.
- Shen, W. Y., Fu, L. L., Li, W. F., & Zhu, Y. R. (2010). Effect of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* on the growth, performance, immune response and antioxidant activities of the shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research*. 41(11), 1691-1698.
- Souza, D. M., Suita, S. M., Leite, F. P. L., Romano, L. A., Wasielesky, W., Ballester, E. L. C. (2012). The use of probiotics during the nursery rearing of the pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) in a zero exchange system. *Aquaculture Research*. 43(12), 1828-1837.
- Timmerman, H. M., Koning, C. J. M., Mulder, L., Rombouts, F. M., Beynen, A. C. (2004). Monostrain, multistain and multispecies probiotics a comparison of functionality and efficacy. *International Journal of Food Microbiology*. 96, 219-233.
- Toledo, A., Frizzo, L., Signorini, M., Bossier, P., & Arenal, A. (2019). Impact of probiotics on growth performance and shrimp survival: A meta-analysis. *Aquaculture*. 500, 196-205.
- Tseng, D. Y., Ho, P. L., Huang, S. Y., Cheng, S. C., Shiu, Y. L., Chiu, C. S., & Liu, C. H. (2009). Enhancement of immunity and disease resistance in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, by the probiotic, *Bacillus subtilis* E20. *Fish and shellfish immunology*. 26(2), 339-344.
- Van Hai, N., Buller, N., Fotedar, R. (2009). The use of customised probiotics in the cultivation of western king prawns (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896). *Fish and shellfish immunology*. 27, 100-104.
- Villamil, D.L. y M.A. Martínez-Silva. (2009). Probióticos como herramienta biotecnológica en el cultivo de camarón: Reseña. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 38: 165-187.

- Vita, G. Q. L. D. (2008). Utilização de probióticos no cultivo super-intensivo do camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*) em um sistema sem renovação de água. Repositorio Institucional da Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, Brasil. 33 p.
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P., Verstraete, W. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 64:655–671.
- Wu, D. X., Zhao, S. M., Peng, N., Xu, C. P., Wang, J., Liang, Y. X. (2016). Effects of a probiotic (*Bacillus subtilis* FY99-01) on the bacterial community structure and composition of shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone) culture water assessed by denaturing gradient gel electrophoresis and high-throughput sequencing. *Aquaculture Research*. 47, 857–869.
- Xu, W., Xu, Y., Huang, X., Hu, X., Xu, Y., Su, H., Li, Z., Yang, K., Wen, G., Cao, Y. (2019). Addition of algicidal bacterium CZBC1 and molasses to inhibit cyanobacteria and improve microbial communities, water quality and shrimp performance in culture systems. *Aquaculture*. 502, 303–311.
- Zheng, X., Tang, J., Ren, G., Wang, Y. (2017). The effect of four microbial products on production performance and water quality in integrated culture of freshwater pearl mussel and fishes. *Aquaculture Research*. 48, 4897–4909.
- Zheng, X., Wang, Y., Zhang, D. (2019). Effects of microbial products and extra carbon on water quality and bacterial community in a fish polyculture system. *Aquaculture Research*. 50, 1220–1229.
- Ziaei-Nejad, S., Rezaei, M. R., Takami, G. A., Lovett, D. L., Mirvaghefi, A.R., & Shakouri, M. (2006). The effect of *Bacillus spp.* bacteria used as probiotics on digestive enzyme activity, survival and growth in the Indian white shrimp *Fenneropenaeus indicus*. *Aquaculture*. 252, 516–524.
- Zokaeifar, H., Balcázar, J. L., Saad, C. R., Kamarudin, M. S., Sijam, K., Arshad, A., Nejat, N. (2012). Effects of *Bacillus subtilis* on the growth performance, digestive enzymes, immune gene expression and disease resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*. 33, 683-689.
- Zokaeifar, H., Babaei, N., Saad, C. R., Kamarudin, M. S., Sijam, K., & Balcazar, J. L. (2014). Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality, growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*. 36, 68–74.

CAPITULO 4. Análisis de la relación beneficio-costo en un cultivo superintensivo de camarón blanco (*P. vannamei*) en densidades de 500 Plm⁻³, probiótico comercial a base de *Bacillus sp.* y alimento balanceado sin proteína de origen marino durante cuatro ciclos anuales.

4.1 Resumen específico

Se proyectó un análisis de costos en un cultivo de camarón blanco *Penaeus vannamei*, para determinar la relación beneficio-costo, el punto de equilibrio y la tasa interna de retorno (TIR). Para ello se determinó utilizar las variables de respuesta del experimento 3, en el cual se empleó la densidad de 500 Plm⁻³ (experimento 1), alimento balanceado Silver cup® (experimento 2) y probiótico Neutrobacter® (experimento 3).

Se determinaron los costos totales de operatividad, los cuales ascienden a \$ 238,120 esto permitió conocer el costo de producción por Kg de camarón, el cual fue de \$ 51.88/Kg. El punto de equilibrio se obtuvo según Perkin (1996); $Pe = Cf / (Is - Cv)$, el punto de equilibrio se determinó en 517.65 Kg/ciclo, con un ingreso mínimo de \$ 59,529.75 para no obtener ganancias ni pérdidas. Una vez determinado el punto de equilibrio se estimó una producción de 127.43 Kg de camarón/geomembrana, según los resultados del experimento 3, los cuales se traspolaron a una producción en nueve geomembranas de 35 m³/cu, que arroja una producción total de 1,146.89 Kg/nueve geomembranas/ciclo, 4,587.59 Kg/4 ciclos. Obteniendo un ingreso neto de \$ 289,718.5/año, con una relación beneficio-costo de 1:1.21 y una TIR del 11.6 % a cinco años.

Se concluye que este tipo de cultivos bajo las condiciones de operatividad mencionadas, son viables en el ámbito industrial. Partiendo de un proyecto inicial, este tipo de cultivos tienen oportunidad de éxito, ya que tiene la capacidad económica-financiera de poder sostenerse con un mínimo de ingresos respecto a su inversión inicial.

4.2 Introducción

El sector de la acuicultura está experimentando un rápido crecimiento y está integrado en un entorno altamente versátil y contexto incierto, debido al cambio climático y la internacionalización del comercio. Impulsado por el mercado de demanda, la mejora de las tecnologías disponibles para los acuicultores, la diversificación de las especies cultivadas, intensificación de la producción y, al mismo tiempo, expansión de las granjas acuícolas (Ottinger *et al.*, 2016). La producción acuícola mundial aumentó de 6.2 a 70.2 millones de toneladas entre 1983 y 2013 (FAO 2015).

El éxito de una empresa acuícola depende no solo de la mejora de técnicas acuícolas, sino también en control de costos y análisis de flujo de efectivo. El manejo adecuado de la producción posiblemente aumentará la productividad, mientras que una administración eficiente puede traer beneficios relacionados con la reducción de gastos, así como el análisis del flujo de caja con herramientas específicas permitirá la visualización de futuros rendimientos económicos (Buarque, 1984; Rocha *et al.*, 2013).

El análisis de costo que incide en las empresas para ofertar un producto o prestar un servicio es de vital importancia, ya que permitirá conocer hasta qué punto es rentable la actividad que desarrollan y como se recupera la inversión, a su vez determinar el beneficio obtenido por la empresa que es la ganancia, lo cual es un exceso en los ingresos sobre los gastos producidos en el transcurso de una operación o en la liquidación de una empresa. El criterio general a tener en cuenta para determinar los costos y beneficios relevantes para un proyecto, es considerar todos aquellos costos y beneficios que se producirán si se emprende el proyecto y que no se producirían si no se realiza (Ludeña-Castillo y Socola-Socola, 2011).

La creciente demanda mundial de productos marinos ha hecho de la acuicultura una actividad en constante crecimiento (Hamilton *et al.*, 2018). El mayor mercado único de importación de marisco es la Unión Europea, en el año 2014 las importaciones ascendieron a 20.6 mil millones de euros, y en el 2016 a 22.2 mil millones, de estos valores de importación, el 56.1 % proviene de los países en vías de desarrollo (Zhang y Tveterås, 2019). Sin embargo, las limitaciones ambientales frenan la búsqueda de la productividad, es por esto que los modelos de desarrollo a adoptar deben, no solo hacer más productiva a la empresa si no también limitar los impactos ambientales (Drabo, 2017). Mientras tanto, el riesgo relacionado con el clima,

las enfermedades y el mercado ha aumentado, con la intensificación que causa a los acuacultores, los practicantes ahora consideran que el cultivo de camarones es una apuesta. Los investigadores tienden a estar de acuerdo (Szuster *et al.*, 2003; Flaherty 2009), aunque la camaronicultura es altamente arriesgada y considerada por muchos como una apuesta, sigue siendo un sistema de producción generalizado, lo que aumenta preguntas sobre cómo los acuacultores perciben y gestionan los riesgos relacionados.

La investigación de riesgos en acuicultura, hasta ahora, se ha limitado principalmente a la evaluación de riesgos ecológicos (Aerni, 2004; Moreau, 2014; Tidbury *et al.*, 2016; Young & Liston, 2016) o han confiado en un enfoque económico que analiza los riesgos de producción a nivel de granja (Hanson *et al.*, 2008; Araneda *et al.*, 2011; Clegg *et al.*, 2014; Gustafson *et al.*, 2014; Oidtmann *et al.*, 2014; Piamsomboon *et al.*, 2015). Diversos investigadores han utilizado un enfoque de análisis de factores de riesgo para explicar y optimizar las prácticas de gestión acuícola. Los factores de riesgo más utilizado en este tipo de análisis varía (enfermedad, precio del camarón, precio de los insumos, clima o fuentes de financiación) y los resultados de este tipo de análisis de riesgos apoyan una mejor gestión de la granja y ayuda a abordar la incertidumbre en el manejo de esta. El riesgo ecológico se relaciona con la degradación de medio ambiente resultante del desarrollo de actividades acuícolas, como la introducción de especies genéticamente modificadas (Aerni 2004; Moreau 2014), o especies exóticas (Tidbury *et al.*, 2016), o los efectos de los nuevos sistemas de producción (Young & Liston 2016). Finalmente, algunos estudios proporcionan análisis de las percepciones de los acuacultores sobre el riesgo relacionado con el clima o la enfermedad (Chitmanat *et al.* 2016; Lebel *et al.*, 2016; Lebel *et al.*, 2016; Kabir *et al.*, 2017), otros investigadores tienen un enfoque más analítico, sobre modelos bioeconómicos, los cuales les ha permitido determinar a través de un análisis de sensibilidad la forma más conveniente de mejorar el cultivo y ajustar los niveles de riesgo a través de las enfermedades en los camarones (Hernández-Llamas y Magallón, 1991; Hernández-Llamas *et al.*, 2004; Hernández-Llamas *et al.*, 2013; Sánchez-Zazueta y Martínez-Cordero, 2009; Estrada-Pérez *et al.*, 2015).

Consecuentemente, Posadas y Hanson (2006) determinaron que muchas otras propuestas que están en pleno proceso de estudio de proyecto, son evaluadas de manera determinística, es

decir, todas las entradas que influyen en la actividad tanto biológicas, tecnológicas y económicas, son consideradas estables sin varianza. El objetivo de la presente investigación fue determinar la relación beneficio-costos en un cultivo superintensivo de camarón en densidades de 500 Plm⁻³, probiótico comercial a base de *Bacillus sp.* y alimento balanceado sin proteína de origen marino durante cuatro ciclos anuales.

4.3 Material y métodos

Con base en los resultados obtenidos en los experimentos 1, 2 y 3; se proyectó un análisis de costos en un cultivo de camarón blanco *Penaeus vannamei*, para determinar la relación beneficio-costo, el punto de equilibrio y la tasa interna de retorno (TIR). Para ello se determinó utilizar las variables de respuesta del experimento 3, en el cual se utilizó la densidad de 500 Plm⁻³ (experimento 1), alimento balanceado Silver cup® (experimento 2) y probiótico Neutrobacter® (experimento 3).

Se traspolaron los resultados del experimento 3 (sobrevivencia, peso final y biomasa) a un cultivo en geomembranas de 35m³ durante cuatro ciclos anuales de 90 días cada uno (tres meses). Se analizaron los costos fijos totales, costos variables totales, para determinar la relación beneficio-costo, punto de equilibrio y la tasa interna de retorno (TIR), con base al precio de venta del camarón, según el precio del mercado local al momento de venta.

4.3.1 Ingreso neto

Para ello se determinó el ingreso neto (nr) en función del tiempo ($nr_t = i_t - c_t$), dónde el ingreso total (i_t) será el producto de la biomasa total del camarón (Kg) por su precio en el mercado y c_t son los costos considerados para el cultivo. Para ello se consideró los siguientes costos:

$$C_t = c_f - c_v$$

Dónde:

C_t = costo total anual

C_f = costos fijos anuales

C_v = costos variables anuales

4.3.2 Punto de equilibrio

Se calculó el punto de equilibrio (PE) según Perkin (1996): $PE = C_f / (I_s - C_v)$. Dónde C_f = costos fijos, I_s = ingreso por Kg de camarón (\$), C_v = costos variables necesarios para producir un Kg de camarón.

4.3.3 Relación beneficio-costo

Para el cálculo de la relación beneficio-costo, se determinó el ingreso total (I_T) entre los costos totales (C_T).

$$\text{Beneficio-costo} = I_T / C_T$$

4.3.4 Tasa interna de retorno (TIR)

Para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), se estimó un tiempo de cinco años, para ello se calculó el valor presente (VP) con un flujo de efectivo para el mismo tiempo y con el valor presente neto (VPN).

4.4 Resultados

4.4.1 Ingreso neto

Para poder calcular el ingreso neto se estimó la siguiente producción con base al experimento 3: se obtuvo una sobrevivencia del 78.3 %, con un peso final de 9.3 g, se traspolaron estos resultados a geomembranas de 35 m³.

$$(500 \text{ Plm}^{-3}) * (35 \text{ m}^3) = 17,500 \text{ Pl/geomembrana}$$

$$(17,500 \text{ Pl/geomembrana}) * (78.3 \% \text{ sobrevivencia}) = 13,702.5 \text{ Pl/geomembrana}$$

$$(13702.5 \text{ Pl}) * (9.3 \text{ g}) = 127,433.25 \text{ g}/1000 = 127.433 \text{ Kg/geomembrana}$$

$$(127.433 \text{ Kg}) * (9 \text{ geomembranas}) = 1,146.89 \text{ Kg}/9 \text{ geomembranas/ciclo}$$

$$(1,146.89 \text{ Kg/ciclo}) * (4 \text{ ciclos}) = 4,587.59 \text{ Kg/año.}$$

$$(4,587.59 \text{ Kg/año}) * (\$115 \text{ precio de venta}) = \$527,572.85$$

Posteriormente se determinó el ingreso neto (IN) con la siguiente formula, $nr_T = i_T - C_T$.

Dónde:

nr_T = ingreso neto.

i_T = ingreso total.

C_T = costo total.

$$nr_T = \$ 527,838.5 - \$ 238,120$$

$$nr_T = \$ 289,718.5/\text{año}$$

4.4.1.1 Costos totales

Se analizó la relación beneficio-costo de la producción de camarón a alta densidad (500 Plm⁻³), en nueve geomembranas circulares de 35 m³. En la Tabla XI, se muestran los costos operativos necesarios para la producción (costos fijos, costos variables), utilizando el alimento sin harina de pescado Silver cup[®] en sus diferentes concentraciones de proteína (40 %, 35 % y 28 %), además se utilizó el probiótico Neutrobacter[®], durante un ciclo de producción, según los experimentos anteriores en esta investigación.

En la Tabla XI, se observan los costos fijos anuales, el cual asciende a \$ 860,818 pesos, sin embargo, para este caso se utilizó el costo total de los gastos fijos pero con amortización, el cual asciende a \$ 43,189 pesos.

Tabla XI. Costos fijos anuales del cultivo de camarón en nueve geomembranas de 35 m³, con una densidad de siembra de 500 Plm⁻³, alimento sin harina de pescado Silver cup[®] y probiótico Neutrobacter[®] durante cuatro ciclos de cultivo.

Costos fijos	Inversión fija	Participación total	Participación % gastos fijos	Vida útil (Años)	Residual	Amortización	Costos de Oportunidad	Total
Invernadero (1256 m ²)	\$469,556	44.5%	55%	20	\$ 2,000	\$ 23,378	\$ 610	\$ 23,988
Geomembranas (7 m diámetro)	\$241,920	22.9%	28%	20	\$ -	\$ 12,096	\$ 316	\$ 12,412
Blower (4 HP)	\$ 23,500	2.2%	3%	15	\$ 500	\$ 1,533	\$ 40	\$ 1,573
Toma de agua (6 puntas)	\$ 37,000	3.5%	4%	20	\$ -	\$ 1,850	\$ 48	\$ 1,898
Bomba (2 HP)	\$ 8,245	0.8%	1%	20	\$ 200	\$ 402	\$ 10	\$ 413
Filtros de bola (2)	\$ 70,460	6.7%	8%	20	\$ 2,000	\$ 3,423	\$ 89	\$ 3,512
Tubería agua 2" PVC (120 m)	\$ 2,100	0.2%	0%	20	\$ -	\$ 105	\$ 3	\$ 108
Codos de 90° (5)	\$ 40	0.0%	0%	20	\$ -	\$ 2	\$ 0	\$ 2
T 2" (7)	\$ 84	0.0%	0%	20	\$ -	\$ 4	\$ 0	\$ 4
Válvula 2" PVC (9)	\$ 990	0.1%	0%	20	\$ -	\$ 50	\$ 1	\$ 51
Pegamento	\$ 510	0.0%	0%	20	\$ -	\$ 26	\$ 1	\$ 26
Manguera aire 2" (100 m)	\$ 3,998	0.4%	0%	20	\$ -	\$ 200	\$ 5	\$ 205
Manguera difusora aero tube (25 m)	\$ 2,225	0.2%	0%	20	\$ -	\$ 111	\$ 3	\$ 114
Subtotal	\$ 860,818	81.5%	100.00%			\$ 43,189		\$ 44,316

Dónde: Residual = Valor que se puede recuperar vendiéndolo, después de su vida útil. Amortización = (Inversión fija – valor residual)/vida útil. Costos de oportunidad = (Amortización) (VAN).

En la Tabla XII, se observan los costos variables anuales, el cual asciende a \$194,930, expresando de manera particular la participación (%) de cada uno de los costos variables en un año de producción.

Tabla XII. Costos variables anuales del cultivo de camarón en nueve geomembranas de 35 m³, con una densidad de siembra de 500 Plm⁻³, alimento sin harina de pescado Silver cup[®] y probiótico Neutrobacter[®] durante cuatro ciclos de cultivo.

Costos variables	Inversión (\$) variable/año	Participación (%) total	Participación % gastos variables
Postlarva	50400	5%	26%
Fármacos	9972	1%	5%
Electricidad	25964	2%	13%
Mano de obra	49356	5%	26%
Alimento	52000	5%	27%
Arena Silica	7238.4	0.52%	2.8%
SUBTOTAL	\$ 194,930	18%	100.0%

Con base en los costos fijos anuales y los costos variables anuales se determinó el costo total:

$$Ct = Cf + Cv \quad Ct = \$43,189 + \$194,930 \quad Ct = \$238,120$$

El precio de venta se estableció en \$115 pesos, según el mercado.

Posteriormente se determinó el costo de producción por unidad (Kg de camarón):

$$Cp = Ct / producción \quad Cp = \$238,120 / 4,589 \text{ Kg/año} \dots \dots \dots Cp = \$51.88/\text{Kg}$$

4.4.2 Punto de equilibrio

Para poder determinar el punto de equilibrio se utilizó la fórmula de Perkin (1996): $Pe = Cf / (ls - Cv)$:

Dónde:

Cf = Costos fijos anuales.

ls = Precio de venta.

Cv = Costos variables por unidad.

$$Pe = \$ 43,189 / (\$ 115 - \$ 31.57) \quad Pe = 517.65 \text{ Kg} \quad Pe = \$ 59,529.75$$

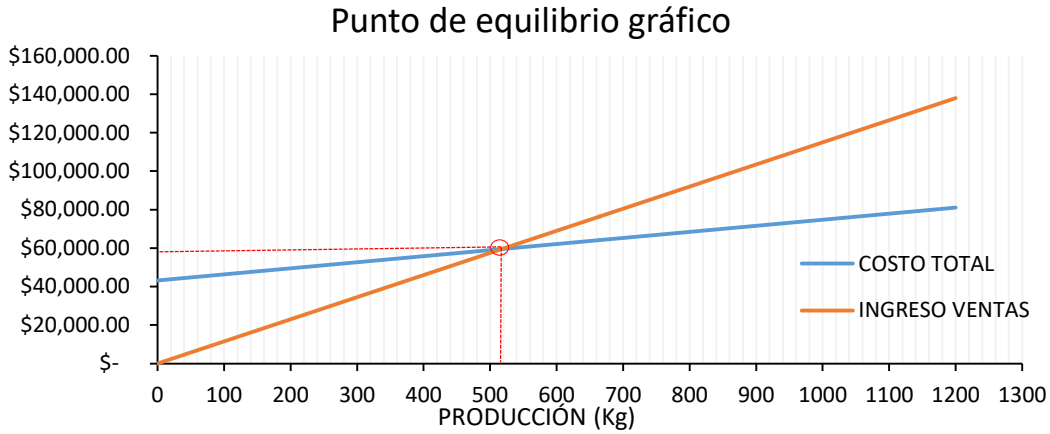


Figura 45. Punto de equilibrio en el cultivo de camarones en un sistema superintensivo, con una densidad de siembra de 500 Plm^{-3} , alimento balanceado sin harina de pescado Silver cup[®] y probiótico Neutrobacter[®], un ciclo de cultivo.

4.4.3 Relación beneficio-costo

$$\text{Beneficio-costo} = \$ 289,718.5 / \$ 238,120$$

$$\text{Beneficio-costo} = 1.21$$

4.4.4 Tasa interna de retorno (TIR)

Como lo muestra la Tabla XIII, se hizo el cálculo para determinar la tasa interna de retorno (TIR) de un proyecto productivo bajo las mismas características en el cual se efectuó la presente investigación. La TIR calculada fue de 11.6 % a un plazo de cinco años.

Tabla XIII. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

AÑO	FLUJO DE EFCTIVO	VALOR PRESENTE
0	-\$ 1,055,748.00	-\$1,055,748.00
1	\$ 289,717.66	\$259,687.51
2	\$ 289,717.66	\$232,770.08
3	\$ 289,717.66	\$208,642.73
4	\$ 289,717.66	\$187,016.25
5	\$ 289,717.66	\$167,631.43
Valor presente neto (VPN):		\$0.00
Tasa interna de retorno (TIR):		11.6%

4.5 Discusión

Se analizó la relación beneficio-costo del cultivo superintensivo de camarón (con base a los resultados del experimento 3), en nueve geomembranas circulares de 35 m³, durante cuatro ciclos al año (90 días por ciclo). El cual se le suministró alimentado balanceado, cuya fuente de proteína no provenía de productos pesqueros (Silver cup[®]), además se le adicionó probiótico comercial a base de *Bacillus spp.* Se tomó la decisión de utilizar la densidad de 500 Plm⁻³ debido a que existe la tendencia en los productores nacionales y locales a cultivar camarones a una densidad de 300 Plm⁻³, aunado a esto Arámbul *et al.* (2019) realizaron una investigación para determinar la mejor densidad de siembra, lo cual arrojó que las densidades de 500 Plm⁻³ son viables en supervivencia y crecimiento, esto permite la oportunidad de analizar el comportamiento a estas densidades y su viabilidad económica. El alimento balanceado utilizado en este experimento fue el Silver cup[®], y el probiótico utilizado fue Neutrobacter[®], estos presentaron los mejores rendimientos en crecimiento y supervivencia (experimento 2 y experimento 3, respectivamente).

Después de determinar los costos fijos, los costos variables y los costos totales, se obtuvo el punto de equilibrio para este tipo de cultivos con las mismas características condiciones que los experimentos 1, 2 y 3. El precio de venta del camarón está supeditado al precio del mercado, el cual fluctúa y está condicionado a la oferta y demanda (Joffre *et al.*, 2018), aunque el riesgo de mercado es una preocupación principal para los acuacultores que practican cultivos intensivos y se considera fundamental para intensificación en acuicultura (Berjford, 2009; Le & Cheong, 2010, Ashan, 2011), estos acuacultores no creen necesario implementar estrategias de gestión de riesgos directamente relacionadas con la mitigación de riesgos de mercado como certificación o por contrato con empresas procesadoras. Sin embargo diversos investigadores han determinado que el análisis de sensibilidad del precio del camarón es el factor de mayor importancia, el cual influye directamente en los ingresos netos (Hernández-Llamas *et al.*, 2013; Estrada-Pérez *et al.*, 2015). Lo cual es consistente con esta investigación, que permitió estar atentos al precio de mercado para determinar las fechas de siembra y las de cosecha, según la talla deseada (Villareal *et al.*, 2016).

Castillo-Barros *et al.* (2018), reportaron que la mayor inversión (43.18 %) se recarga en la adquisición en el equipamiento del sistema de cultivo y solo el 11.90 % de este costo recae

para el cultivo de los camarones, lo cual es consistente en la presente investigación, incluso mayores que los mencionados por los autores anteriores; además Rego *et al.* (2017) mencionan que para un cultivo de biofloc, los gastos se multiplican por 10, en comparación con sistemas convencionales, ya que se utiliza mayor equipamiento para mantener los niveles de O₂ en concentraciones óptimas. De acuerdo con Junge *et al.* (2017) el mayor costo se presenta en sistemas que utilizan fondos artificiales, porque requieren mayor tecnología y mano de obra calificada, lo que eleva los costos de producción. En la presente investigación, los costos se elevaron por la inversión inicial, los cuales la mayoría de ellos se concentró en los gastos del invernadero, geomembranas, bombas, blowers, tubería, en la adquisición de reactivos para la medición de las variables físico-químicas del agua, mano de obra, bombeos periódicos, aplicación de melaza para la regulación de compuestos nitrogenados, aireación constante, esto implicó mayor consumo de energía eléctrica.

En la producción de camarón (independiente del tipo de cultivo), los costos de los insumos, como alimento, pueden alcanzar hasta el 70 % de los costos asignados a operaciones de producción (Valente *et al.*, 2011), en contraste Rego *et al.* (2017) en un sistema de biofloc, solo le atribuyeron un 37.89 % del costo del alimento, lo que sugiere que este tipo de cultivos y los fotoheterotróficos tienen una ventaja sobre los cultivos convencionales, ya que sirven de apoyo en la alimentación de los camarones y reducen los FCA (Samocho *et al.*, 2004; Avnimelech, 2009; Fóes, *et al.* 2012; Castilho-Barros *et al.*, 2018).

En la presente investigación se obtuvieron costos de producción/Kg de camarón relativamente bajos, sin embargo las instalaciones que se utilizaron tienen gran potencial para incrementar su producción utilizando los mismos recursos. A pesar de eso, se requiere que las instalaciones que se operaron tengan un ligero acondicionamiento, sobre todo en la capacidad máxima de las geomembranas. Aunado a esto, el mismo personal utilizado, la misma energía eléctrica necesaria para el bombeo y funcionamiento de los sopladores eléctricos se podría operar el doble de las geomembranas utilizadas en esta investigación, reduciendo un 50 % los costos de producción/Kg. Mejorando así la relación beneficio-costos de 1.21 a 1.32 como mínimo.

4.6 Conclusiones

Se acepta la hipótesis de que los cultivos superintensivos de camarón bajo un esquema de cuatro ciclos constantes al año tienen la capacidad económica-financiera de poder sostenerse con un mínimo de ingresos respecto a su inversión inicial y son perfectamente viables para su ejecución con éxito.

4.7 Referencias

- Aerni, P. (2004). Risk, regulation and innovation: The case of aquaculture and transgenic fish. *Aquatic Sciences*. 66, 327–341.
- Ahsan, D.A. (2011). Farmers motivations, risk perceptions and risk management strategies in a developing economy: Bangladesh experience strategies in a developing economy: Bangladesh experience. *Journal of Risk Research*. 14(3), 325–349.
- Arambul-Muñoz, E., Ponce-Palafox, J. T., Claro De Los Santos, R., Aragón-Noriega, E. A., Rodríguez-Domínguez, G., & Castillo-Vargasmachuca, S. G. (2019). Influence of stocking density on production and water quality of a photoheterotrophic intensive system of white shrimp (*Penaeus vannamei*) in circular lined grow-out ponds, with minimal water replacement. *Latin american journal of aquatic research*. 47(3), 449-455.
- Araneda, M.; Hernández, J. M.; Gasca, E. (2011). Optimal harvesting time of farmed aquatic populations with nonlinear size-heterogeneous growth. *Natural Resource Modeling*. 24: 477-513.
- Avnimelech, Y. (2009). Biofloc technology—a practical guide book. 2^a Ed. *The World Aquaculture Society*.
- Bergfjord, O. J. (2009). Risk perception and risk management in Norwegian aquaculture. *Journal of Risk Research*. 12(1), 91-104. 12 (1), 91–104.
- Buarque, C. (1984). Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática. *Elsevier*. Rio de Janeiro.
- Castilho-Barros, L., Almeida, F. H., Henriques, M. B., & Seiffert, W. Q. (2018). Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. *Aquaculture international*. 26(5), 1187-1206.
- Chitmanat, C., Lebel, P., Whangchai, N., Promya, J., Lebel, L. (2016). Tilapia diseases and management in river-based cage aquaculture in northern Thailand. *Journal of Applied Aquaculture*. 28(1), 9–16.
- Clegg, T. A., Morissey, T., Geogheganb, F., Wayne Martinc, S., Lyons, K., Ashe, S., More S. J. (2014). Risk factors associated with increased mortality of farmed Pacific oysters in Ireland during 2011. *Preventive Veterinary Medicine*. 113(2), 257–267.
- Drabo, A. (2017). Climate change mitigation and agricultural development models: Primary commodity exports or local consumption production. *Ecological Economics*. 137, 110–125.
- Estrada-Pérez, M., Ruiz-Velazco, J. M., Hernández-Llamas, A., and Zavala-Leal, I. (2015). A bio-economic approach to analyze the role of alternative seeding-harvesting schedules, water quality, stocking density and duration of cultivation in semi-intensive production of shrimp in Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 43(3), 466-472.

- FAO (2015). Fisheries and aquaculture software. FishStatJ - software for fishery statistical time series. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome.
- Flaherty, M; Samal, K. C; Pradhan, D; Ray, S. (2009). Coastal Aquaculture in India: Poverty, Environment and Rural Livelihood. New Delhi: Concept Pub. Co.296pp.
- Fóes, G. K., Gaona, C. A. P., & Poersch, L. H. (2012). Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões. *Aquicultura*. 28.
- Gustafson, L., Antognolia, M., Lara Fica, M., Ibarra, R., Mancilla, J., Sandoval del Valle, O., Enriquez Saise, R., Perez, A., Aguilar D., Madrid, E., Bustosh, P., Clementi, A., Godoyj, M.G., Johnson, C., Remmenga, M. (2014). Risk factors perceived predictive of ISA spread in Chile: Applications to decision support. *Preventive Veterinary Medicine*. 117(1), 276–285. Enriquez-Saise, R., Perez, A., Aguilar, D., Madrid, E., Bustosh, P., Clementi, A., Godoyj, M. G., Johnson, C., Remmenga, M. (2014). Risk factors perceived predictive of ISA spread in Chile: Applications to decision support. *Preventive Veterinary Medicine*. 117(1), 276–285.
- Hamilton, K., Chen, A., De-Graft, E., Gitter, A., Kozak, S., Niquice, C., Gurian, P. (2018). Salmonella risks due to consumption of aquaculture-produced shrimp. *Microbial Risk Analysis*. 9, 22–32.
- Hanson, T. R., Shaik, S., Coble, K. H., Edwards, S., Miller, J. C. (2008). Identifying risk factors affecting weather- and disease-related losses in the U. S. Farm-Raised Catfish Industry. *Agricultural and Resource Economics Review*. 37 (1), 27–40.
- Hernández-Llamas, A., Magallón-Barajas, F. J. (1991). Análisis bioeconómico del cultivo del camarón azul (*Penaeus stylirostris*) con fertilizantes orgánicos e inorgánicos y alimentación balanceada. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 6:267–281.
- Hernández-Llamas, A., González-Becerril, A., Hernández-Vazquez, S., Escutia-Zuñiga, S. (2004). Bioeconomic analysis of intensive production of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquaculture Research*. 35: 103–111.
- Hernández-Llamas, A., Ruiz-Velazco, J. M. J., & Gómez-Muñoz, V. M. (2013). Economic risk associated with white spot disease and stochastic variability in economic, zootechnical and water quality parameters for intensive production of *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Aquaculture*. 5, 121–131.
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., Jijakli, M. H. (2017). Strategic points in aquaponics. *Water*. 9:182
- Kabir, M. J., Cramb, R., Alauddin, M., Roth, C., & Crimp, S. (2017). Farmers' perceptions of and responses to environmental change in southwest coastal Bangladesh. *Asia Pacific Viewpoint*. 58(3), 362-378.
- Le, T. C., Cheong, F. (2010). Perceptions of risk and risk management in Vietnamese catfish farming: an empirical study. *Aquaculture Economics & Management*. 14, 288–314.
- Lebel, L., Lebel, P., & Lebel, B. (2016). Impacts, perceptions and Management of Climate-Related Risks to cage aquaculture in the reservoirs of northern Thailand. *Environmental management*. 58(6), 931-945.

- Lebel, P., Sriyasak, P., Kallayanamitra, C. (2016). Learning about climate-related risks: decisions of Northern Thailand fish farmers in a role-playing simulation game. *Regional Environmental Change*. 16(5), 1481–1494.
- Ludeña-Castillo, A. A., and Socola-Socola, S. J. (2011). Análisis del costo–beneficio de la producción de la empresa camaronera “Hawái” de la ciudad de Santa Rosa provincia El Oro, periodo del 01 de enero al 31 de diciembre 2010. 136pp.
- Moreau, D. T. R. (2014). Ecological risk analysis and genetically modified salmon: management in the face of uncertainty. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2, 515–533.
- Oidtman, B. C., Pearce, F. M., Thrush, M. A., Peeler, E. J., Ceolinc, C., Stärkd, K. D. C., Pozza, M. D., Afonsoe, A., Diserensf, N., Reesea, R. A., Cameron, A. (2014). Model for ranking freshwater fish farms according to their risk of infection and illustration for viral *Haemorrhagic septicaemia*. *Preventive Veterinary Medicine*. 115(3–4), 263–279.
- Piamsomboon, P., Inchaisri, C., Wongtavatchai, J. (2015). White spot disease risk factors associated with shrimp farming practices and geographical location in Chanthaburi province, Thailand. *Diseases of Aquatic Organisms*. 117, 145–153.
- Posadas, B. C., & Hanson, T. R. (2006). Economics of integrating nursery systems into indoor biosecure recirculating saltwater shrimp grow-out systems. *Shrimp Culture: Economics, Market, and Trade*. 279-289.
- Rego, M. A. S., Sabbag, O. J., Soares, R., & Peixoto, S. (2017). Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: a case study in the state of Pernambuco, Brazil. *Aquaculture international*. 25(1), 473-483.
- Rocha, I. P., Rodrigues, J. F., Borba, M. G., *et al.* (2013). Levantamento da infraestrutura produtiva e dos aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da carcinicultura marinha no Brasil em 2011. ABCC, Natal.
- Samocha, T. M., Lawrence, A. L., Collins, C. A., Castille, F. L., Bray, W. A., Davies, C. J., & Wood, G. F. (2004). Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater. *Journal of Applied Aquaculture*. 15(3-4), 1-19.
- Sánchez-Zazueta, E., Martínez-Cordero, F. J. (2009). Economic risk assessment of a semi-intensive shrimp farm in Sinaloa, Mexico. *Aquaculture Economics and Management*. 13: 312–327.
- Szuster, B. W., Molle, F., Flaherty, M., & Srijantr, T. (2003). Socio-economic and environmental implications of inland shrimp farming in the Chao Phraya delta. Perspectives on Social and Agricultural Change in the Chao Phraya Delta. White Lotus Press, Bangkok, Thailand, 177-194.
- Ottinger, M., Clauss, K., Kuenzer, C. (2016). Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review. *Ocean & Coast Management*. 119, 244–266.

- Tidbury, H. J. Taylor, N. G. H., Copp, G. H., Garnacho, E., Stebbing, P. D. (2016). Predicting and mapping the risk of introduction of marine non-indigenous species into Great Britain and Ireland. *Biological Invasions*. 18(11), 277–3292.
- Valente, L. M. P., Linares, F., Villanueva, J. L. R., Silva, J. M. G., Espe, M., Escórcio, C., & Álvarez-Blázquez, B. (2011). Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilisation or flesh fatty acids composition of market-sized Senegalese sole. *Aquaculture*. 318(1-2), 128-137.
- Villarreal, H., Naranjo, J., Quadros, W., Hernández, J. A., Moreno, L. D., Vargas, M. (2016). Characterization of a low water exchange system for intensive shrimp production in a subtropical environment. Oral presentation. *World Aquaculture Society*, Las Vegas, NV.
- Young, N., Liston, M. (2016). (Mis) managing a risk controversy: the Canadian salmon aquaculture industry's responses to organized and local opposition. *Journal of Risk Research*. 13:8, 1043-1065.
- Zhang, D., & Tveterås, R. (2019). A fish out of water? Survival of seafood products from developing countries in the EU market. *Marine Policy*. 103, 50–58.

DISCUSIÓN GENERAL

En esta tesis de investigación se logró cumplir con el objetivo general que fue evaluar el efecto de la densidad de siembra, tipos de probióticos y alimentos balanceados, sobre el crecimiento y supervivencia del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), en un cultivo superintensivo con geomembranas. La hipótesis propuesta en esta investigación fue aceptada, esta a su vez permitió conocer que las densidades utilizadas pueden ser viables para cultivos industriales, incluso pueden ser incrementadas con un manejo adecuado de la calidad del agua y del alimento balanceado debidamente racionado. No obstante algunos indicadores indican que la mejor densidad fue la de 300 Plm⁻³, sin embargo la tendencia de investigación sugiere un incremento en las densidades para conocer los comportamientos de las variables físico-químicas de la calidad del agua y las zootécnicas. Los crecimientos y sobrevivencias obtenidas coinciden con investigaciones anteriores, con resultados >70 % y >7 g respectivamente. Aunado a esto, la utilización de alimentos balanceados especializados para cultivos superintensivos con diferentes fuentes de proteína (marino y/o animal-vegetal terrestre) permite crecimientos óptimos, los cuales se ven reflejados en las variables de respuesta. Lo cual contradice la hipótesis de los requerimientos mínimos esenciales que solo pueden ser solventados por harinas de materias primas de origen marino. Lo que significa, que el cuidado de la calidad del agua permite complementar las necesidades nutricionales, ya que los organismos cultivados consumen materia orgánica particulada en el perifiton y la columna de agua, igualando o aumentando las supervivencias y crecimiento cuando se utilizan harinas de origen marino. A su vez, minimiza los FCA reduciendo considerablemente los costos de alimentación. Los alimentos con fuentes de proteína no marina permiten obtener los mismos resultados que alimentos especializados para cultivos superintensivos de camarón a un menor costo.

La adición de los llamados cultivos de apoyo (probióticos) a los cultivos superintensivos de camarón se ha puesto en tela de juicio, ya que no queda claro las concentraciones ni los métodos de aplicación de estos. Los resultados obtenidos contradicen la hipótesis de que los probióticos se deben de aplicar directamente al alimento, sin embargo en la presente investigación, se observa que las variables zootécnicas no se vieron afectadas por aplicar el probiótico directamente a la columna de agua; el correcto ciclado o maduración del agua

(ciclo del nitrógeno) apoyado con los probióticos y recambios mínimos de agua, permitieron que se generaran floculos en las paredes y fondo del estanque, aumentando el área de alimentación de los organismos cultivados, además que los probióticos actuaron como agentes antagónicos sobre bacterias y virus que pudieran afectar la salud de los organismos, teniendo repercusiones directas sobre el crecimiento y supervivencia de los camarones. La elección y uso de probióticos es muy subjetivo y actualmente se centra en las experiencias obtenidas en cultivos anteriores. Sin embargo, los costos de operatividad con el uso de probióticos puede ser contraproducente, algunos probióticos te garantizan excelentes supervivencias y mejorar sus crecimientos; en la presente investigación se logró demostrar que el uso de otra composición y concentraciones de probióticos a menor costo, puede propiciar los mismos resultados que otro a mayor costo, con supervivencias cercanas al 80 % y crecimiento >9 g.

El análisis de la relación beneficio-costo permitió determinar la viabilidad de este tipo de proyectos desde su inversión inicial hasta las producciones mínimas requeridas para mantener un punto de equilibrio. Este análisis determinó que es perfectamente viable ejecutar una inversión de esta magnitud con una tasa interna de retorno de 11.2 % a cinco años. Además se observa que se tiene potencialidad para incrementar la producción con el mismo esfuerzo operativo e infraestructura, reduciendo costos de producción por Kg, y aumentando la relación beneficio-costo. El conocer el comportamiento económico-financiero de una empresa permite observar el crecimiento o decremento de la misma, para poder ejecutar estrategias a corto, mediano y largo plazo para mantener sin pérdidas a la empresa o poder proyectar crecimientos paulatinos según la producción lo permita.

Los resultados indican que este tipo de proyectos, son perfectamente viables en el desarrollo de la acuicultura local, regional y nacional, abriendo una brecha de oportunidad para el desarrollo de estas tecnologías, optimizando el uso de recursos naturales y su impacto.

CONCLUSIÓN GENERAL

Se acepta la hipótesis de que los cultivos con densidades superiores a 200 orgm^{-3} usando probióticos y alimento especial para cultivos superintensivos de camarón blanco (*P. vannamei*), son una alternativa que permite cultivar a altas densidades, mejorando el crecimiento y la supervivencia de postlarvas y juveniles. Ya que los probióticos actuaron como componentes que cambian el tracto digestivo fomentando su colonización con organismos enteropatógenos y el alimento especializado permitió que los camarones cultivados obtuvieran los nutrientes necesarios para un desarrollo que se reflejó en los indicadores económicos.

REFERENCIAS

- Azim, M. E., Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 283:29–35.
- Belhabib, D., Sumaila, U.R., Pauly, D. (2015). Feeding the poor: contribution of West African fisheries to employment and food security. *Ocean Coast Management*. 111, 72–81.
- Ballester, E. L. C., Abreu, P. C., Cavalli, R. O., Emerenciano, M., Abreu, L., Wasielesky, W. (2010) Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*. 16:163–172.
- Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M. B., Wasielesky, W., Poersch, L. H. S. (2012) Substitution offishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 342:112–116.
- Belton, B., Thilsted, S. H. (2014). Fisheries in transition: food and nutrition security implications for the global South. *Global Food Security*. 3 (1), 59–66.
- Cho, C. Y., Hyner, J, D., Wood, K. R., Yoshida, H. K. (1994). Development of high-nutrientdense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture*. 124, 293-305.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 270: 1-14.
- Decamp, O., Conquest, L., Forster, I., Tacon, A. G. J. (2002). The nutrition and feeding of marine shrimp within zero-water exchange aquaculture production system: role of Eukaryotic microorganisms. In: Lee CS, O'Bryen P (Eds), *Microbial approaches to aquatic nutrition within environmentally sound aquaculture production systems*. *World Aquaculture Society*, Baton Rouge, USA, pp 79–86.
- Esparza-Leal, H. M., Pereira-Cardozo, A. & Wasielesky Jr., W. (2015). Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks at high stocking density in clear-water versus biofloc system. *Aquacultural Engineering*. 68: 28-34.
- FAO. (2016). *Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2016*. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 224 pp.
- FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome.
- Fakhri, M., Hariati, A. M., and Prayitno, A. (2013). In vitro antibacterial activity of sponge *Acanthella cavernosa* against *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Environmental Biological Sciences*. 3(3): 1-5.

- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327, 812–818.
- Hall, S. J., Delaporte, A., Phillips, M. J., Beveridge, M., O’Keefe, M. (2011). *Blue Frontiers: Managing the Environmental Costs of Aquaculture*. The WorldFish Centre, Penang, Malaysia.
- Hostins, B., Braga, A., Lopes, D. L. A., Wasielesky, W., Poersch, L. H. (2015) Effect of temperature on nursery and compensatory growth of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* reared in a super-intensive biofloc system. *Aquaculture Engineering*. 66:62-67.
- Jescovitch, L. N., Ullman, C., Rhodes, M. & Davis, D. A. (2018). Effects of different feed management treatments on water quality for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*. 49(1): 526-531.
- Kesarcodi-Watson, A., Kaspar, H., Lategan, J. M., Gibson L. (2008). Probiotics in aquaculture: The need, principles and mechanisms of action and screening processes. *Aquaculture*. 274: 1-14.
- Kungvankij, P., Chua, T. E., Pudadera, B. J., Corre, G. (1986). Shrimp culture; Pond design, operation and management. In: NACA Training Manual Series No. 2. 68pp.
- Lalramchhani, C., Panigrahi, A., Anand, P. S., Das, S., Ghoshal, T. K., Ambasankar, K., & Balasubramanian, C. P. (2020). Effect of varying levels of dietary protein on the growth performances of Indian white shrimp *Penaes indicus* (H. Milne Edwards). *Aquaculture*. 519, 734-736.
- Mishra, J. K., Samocha, T. M., Patnaik, S., Speed, M., Gandy, R. L. & Ali, A. M. (2008). Performance of an intensive nursery system for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, under limited discharge condition. *Aquacultural Engineering*. 38: 2-15.
- Moreno-Figueroa, L. D., Naranjo-Paramo, J., Hernández-Llamas, A., Vargas-Mendieta, M., Hernández-Gurrola, J. A. & Villarreal-Colmenares, H. (2017). Performance of a photo-heterotrophic, hypersaline system for intensive cultivation of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with minimal water replacement in lined ponds using a stochastic approach. *Aquaculture Research*. 49(1): 57-67.
- Pauly, D., Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature Communication*. 7, 10244.
- Ray, A. J., Seaborn, G., Leffler, J. W., Wilde, S. B., Lawson, A., Browdy, C. L. (2010a) Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*. 310:130-138.
- Ray, A. J. & Lotz, J. M. (2017). Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and stable isotope dynamics in clear-water recirculating aquaculture systems versus biofloc systems. *Aquaculture Research*. 48: 4390-4398.

- Scopel, B. R., Schweitzer, R., Seiffert, W. Q., Pierri, V., Arantes, R. F., Vieira, N. Vinatea, A. (2011). Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos cultivados em sistema bioflocos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46:928-934.
- Shi, Y., Zhang, G., Liu, J., Zhu, Y., Xu, J. (2011) Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout systems. *Bioresource Technology*. 102:9416-9424.
- Smith, M. D., Roheim, C. A., Crowder, L. B., Halpern, B. S., Turnipseed, M., Anderson, J., Asche, F., Bourillon, L., Guttormsen, A. G., Khan, A., Liguori, L. A., McNevin, A., O'Connor, M. I., Squires, D., Tyedmers, P., Brownstein, C., Carden, K., Klinger, D. H., Sagarin, R., Selkoe, K.A. (2010). Sustainability and global seafood. *Science*. 327, 784.
- Taw, N. (2005). Shrimp farming in Indonesia evolving industry responds to varied issues. *Global Aquaculture Advocate Magazine*. 65-67.
- Vinatea, L., Gálvez, A. O, Browdy, C. L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B. L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J. W. (2010). Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: interaction of water quality variables. *Aquaculture Engineering*.42:17-24.
- Wasielesky, W., Atwood, H., Atokes, A., 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*. 258:396-403.
- Yu, R., & Leung, P. S. (2006). Optimal partial harvesting schedule for aquaculture. *Marine Resource Economics*. 21: 301-315.
- Zhou, X. X., Wang, Y., Li, W. (2009). Effect of probiotic on larvae shrimp (*Penaeus vannamei*) based on water quality, survival rate and digestive enzyme activities. *Aquaculture*. 287: 349-353.

CURRICULUM VITAE

Eulalio Arambul Muñoz nació el 22 de julio de 1981 en Tepic Nayarit. Egresó en el 2006 de la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS en el puerto de Mazatlán Sinaloa, obteniendo el título de Biólogo Acuacultor con la tesis titulada “Evaluación *in vitro* de la efectividad de agentes parasiticidas químicos y naturales sobre infecciones mixtas de monogeneos ancirocefalinos (*Haliotrema spp.* y *Euryhaliotrema sp.*) y el dinoflagelado *A. cellatum* que parasitan las branquias del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*”. Realizó estudios de Maestría en Ciencias Pesqueras en la Universidad Autónoma de Nayarit en el periodo de 2014-2016, se tituló con la tesis “Estudio de las variaciones ambientales en el cultivo de peces en jaulas flotantes marinas en San Blas Nayarit”.

Actualmente es profesor de módulo de acuicultura del Centro de Estudios Tecnológicos del Mar #26 en San Blas Nayarit. Ha sido gerente de producción de camarón en la empresa Nasaac & Asociados, fue Auxiliar de inspección Fito-zoosanitaria para SENASICA en el puerto interior de Manzanillo Colima.

Ha participado en estancias internacionales en la Estación Marina de Acuicultura perteneciente a la Universidad Federal de Rio Grande (FURG) Brasil, recibiendo capacitación sobre cultivos superintensivos de camarón blanco *P. vannamei* en sistemas de biofloc. Participó en el periodo del 2015-2018 en tres proyectos sobre densidad de siembra, alimentación, y probióticos sobre el crecimiento y supervivencia del camarón blanco *P. vannamei*, en sistemas superintensivo con invernadero. Además participó en el proyecto sobre el efecto del cambio climático en la pesca y la acuicultura en el Pacífico mexicano.

Cuenta con cuatro publicaciones en revistas indexadas en los últimos cuatro años.