

Evaluación de densidades poblacionales en engorde de camarón (*Litopenaeus vannamei*) con tecnología biofloc y baja proteína dietética

*Evaluation of population densities in shrimp fattening (*Litopenaeus vannamei*) with biofloc technology and low dietary protein*

EULALIA IBARRA-MAYORGA¹, JOSÉ LLANES-IGLESIAS², ARIANA JIJÓN-VERGARA¹ Y BÁRBARA RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ³

¹ Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. E-mail: tibarra@utm.edu.ec

² Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas, La Habana, Cuba.

³ Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN ABSTRACT

Se evaluaron diferentes densidades poblacionales en el engorde de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con tecnología biofloc (TBF) y pienso de baja proteína bruta (22 %). Un total de 750 juveniles de $0,71 \pm 0,01$ g de peso medio inicial se distribuyeron según diseño completamente aleatorizado en cuatro tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos fueron densidades de 50; 100; 150 y 200 animales/m². No se encontraron diferencias en los nutrientes residuales para los tratamientos experimentales. El peso final ($p = 0,02$) y la supervivencia ($p = 0,001$) se redujeron con la más alta densidad (200 animales/m²). En tanto, la conversión alimentaria y la eficiencia proteica no difirieron entre los tratamientos. El rendimiento incrementó al aumentar las densidades (0,261; 0,469; 0,615; 0,606 kg/m²). Bajo las condiciones de cultivo de este estudio, se exhibieron los mejores indicadores productivos a una densidad de 150 animales/m². Los resultados alcanzados permiten concluir que es factible el incremento de la densidad poblacional en el engorde de camarón blanco (*L. vannamei*) en tecnología biofloc con baja proteína dietética.

Palabras clave: biofloc, camarón, densidad poblacional.

Different population densities were evaluated in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fattening with biofloc (TBF) technology and low crude protein feed (22 %). A total of 750 juveniles of $0,71 \pm 0,01$ g of initial mean weight were distributed according to a completely randomized design in four treatments with three repetitions. The treatments were densities of 50; 100; 150 and 200 animals/m². No differences in residual nutrients were found for the experimental treatments. Final weight ($p = 0,02$) and survival ($p = 0,001$) were reduced with the highest density (200 animals/m²). Meanwhile, feed conversion and protein efficiency differed between treatments. Yield increased with increasing densities (0,261; 0,469; 0,615; 0,606 kg/m²). Under the culture conditions of this study, the best productive indicators were exhibited at a density of 150 animals/m². The results obtained allow us to conclude that it is feasible to increase the population density in the fattening of white shrimp (*L. vannamei*) in biofloc technology with low dietary protein.

Keywords: biofloc, shrimp, population density.

INTRODUCCIÓN

El incremento del número de animales por área de cultivo se estableció para maximizar los rendimientos productivos en la producción de camarón. Numerosas investigaciones reportaron una relación inversa entre la densidad de siembra y el desempeño de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Krummenauer *et al.*, 2011; Da Silva *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2015). Los animales en altas densidades generalmente crecen y sobreviven menos que a bajas densidades, debido a la competencia por alimento, espacio y eventos de canibalismo (Silva *et al.*, 2015). No obstante, la causa principal está indefinida y pudiera relacionarse con la especie, variables ambientales y condiciones y estrategias de manejo del cultivo.

En sistemas con tecnología biofloc (TBF), la producción de biomasa microbiana se puede utilizar como suplemento alimentario adicional para la especie de cultivo (Bossier & Ekasari, 2017). La permanencia sucesiva de estos organismos puede disminuir el canibalismo, principalmente en altas densidades para obtener mayor rendimiento y disminuir los costos (Khoa *et al.*, 2020).

Varios autores documentaron la posibilidad de aumentar el rendimiento de cultivo de camarón blanco a altas densidades y elevados niveles de proteína (35 %) en sistemas con TBF (Da Silva *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2015). Sin embargo, Ibarra *et al.* (2020) lograron disminuir hasta 22 % de PB sin afectar los indicadores productivos en la misma especie. De ahí que el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes densidades de

siembra con alimento balanceado de 22 % de proteína en el engorde del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con TBF.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó según sistema macrocosmos-microcosmos propuesto por Emerenciano *et al.* (2013). Se utilizó un tanque de fibra de vidrio circular de 3 500 L de capacidad para el macrocosmos y 12 tanques circulares de 250 L como microcosmos. Todos los tanques estuvieron conectados a un rotor de 2,5 HP (Tipo RB-0225, Brasil) para garantizar la aireación y la suspensión de partículas en el agua de cultivo.

El biofloc inicial se preparó en el macrocosmos, donde se inoculó *Thalassiosira* sp. ($2,6 \times 10^4$ células/mL) y 250 g de probiótico (*Bacillus* spp.) a concentración de 10^9 ufc/g. Al día siguiente se sembraron 80 animales (*L. vannamei*) de $10,3 \pm 1,8$ g de peso promedio. Se les proporcionó pienso de 35 % de proteína al 4 % de su peso corporal/día. Cuando el biofloc alcanzó 5 mL/L de sólidos sedimentables en el cono Imhoff (Emerenciano *et al.*, 2017), se transfirieron 150 L a cada microcosmos y se completaron con 100 L de agua de mar filtrada por mangas de 10 μ m para la realización del bioensayo.

Para promover la comunidad heterotrófica del biofloc, se realizó la fertilización a una relación C/N = 20:1, mediante el aporte controlado de carbono con melaza de caña y el nitrógeno proveniente del pienso. Para calcular las concentraciones de nitrógeno y carbono se utilizaron las ecuaciones descritas por Emerenciano *et al.* (2017):

$$N = \frac{\text{Cant. de alim.} \times 0,9 \text{ (90 \% de MS)} \times 0,7 \text{ (70 \% de residuos en agua)} \times 0,35 \text{ (nivel de proteína del alim.)}}{6,25}$$

$$C = \frac{\text{Cant. de alim.} \times 0,9 \text{ (90 \% de MS)} \times 0,8 \text{ (80 \% de residuos que permanecen en el agua)}}{2 \text{ (contenido de carbono en la alim., alrededor de 50 \%)}}$$

Un total de 750 juveniles de camarón *L. vannamei* de $0,71 \pm 0,07$ g de peso promedio inicial se ubicaron al azar en 12 tanques de 0,5 m² (microcosmos) según modelo de clasificación simple de cuatro tratamientos con tres repeticiones. Estos consistieron en densidades de 50 (T-50), 100 (T-100), 150 (T-150) y 200 (T-200) animales/m². Se utilizó balanceado de 22 % de proteína bruta (ALIMENTSA, Durán, Ecuador), comercializado para camarón en la región de Manabí (Tabla 1). Los animales se alimentaron a las 7:00 a.m. y 4:00 p.m. al 6 % del peso corporal durante 60 días, donde se ajustaron las raciones cada 15 días a través de muestreos.

Tabla1. Composición proximal del alimento balanceado empleado en el bioensayo

Indicadores	g/100 g
Materia seca	91,83 (0,08)
Proteína bruta	22,11 (0,13)
Extracto etéreo	6,81 (0,22)
Fibra bruta	2,32 (0,07)
Cenizas	6,37 (0,07)
Energía digestible MJ/kg	13,55 (0,09)

Parámetros físico-químicos del agua

Se registraron diariamente la temperatura, oxígeno disuelto, pH (multiparámetro digital YSI, EUA) y salinidad (refractómetro Aqua fauna-Master EUA). Las concentraciones de nutrientes residuales: amonio total (NAT), nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y fosfatos ($\text{PO}_4\text{-P}$) se monitorearon cada semana y las metodologías se basaron en técnicas colorimétricas y las mediciones de la absorbancia en espectrofotómetro (ThermoScientific Evolution 260 BIO, Estados Unidos). Las determinaciones de NAT se realizaron por método colorimétrico de azul de indofenol (Strickland y Parsons 1972), los nitritos por método de Bendschneider & Robinson (1952), el nitrato por método de Strickland & Parsons (1972) y los fosfatos por método del ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962).

Indicadores productivos

Al final del bioensayo se realizó un pesaje individual a todos los animales y se calcularon los siguientes indicadores productivos:

- Peso medio final.
- Ganancia de peso semanal = Ganancia de biomasa/semanas de cultivo.
- Conversión alimentaria (CA) = Alimento añadido/Ganancia peso.
- Eficiencia proteica (EP) = Ganancia en peso/Proteína suministrada.
- Supervivencia (S) = No. Animales finales/No. Animales iniciales x 100.

Análisis estadístico

Las dinámicas de nutrientes residuales se analizaron por la metodología propuesta por Gómez (2019). Se probaron los supuestos teóricos del análisis de varianza, normalidad de los errores por la dócima de Shapiro & Wilk (1965), análisis de correlación de Pearson y esfericidad de Mauchly (1940). Para el análisis se empleó modelo lineal generalizado mixto, con el procedimiento GLIMMIX del SAS (Versión 13.0, 2013). Dentro del modelo se consideraron como efectos fijos: tratamientos y días, así como la interacción tratamientos x días y como efecto aleatorio se tuvo en cuenta repetición anidada dentro de los días. Para la comparación de medias se utilizó la dócima de rango fijo Tuckey-Kramer (Kramer, 1956) para $p < 0,05$. Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS (2013), versión 9.3. Para las variables productivas se empleó un ANOVA de clasificación simple y para la comparación de medias se utilizó prueba de rangos múltiples de Duncan para $p < 0,05$. Los datos se procesaron en el paquete estadístico INFOTAT versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Evaluación económica

Se realizó según Soarez-Rego *et al.* (2016) a partir de los principales costos (postlarvas, fertilización, probióticos, pienso, energía, mano de obra y mantenimiento) brindados en la Camaronera Manabita ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período experimental los valores medios de temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad (Tabla 2) se encontraron en los intervalos de confort para el buen desempeño del camarón en sistema con TBF según Zahraie *et al.* (2019).

La temperatura estuvo en el límite inferior del intervalo (24-28 °C) recomendado para adecuado crecimiento de la especie por Emerenciano *et al.* (2017), quienes la consideraron un factor ambiental importante que influye en la tasa metabólica, crecimiento, supervivencia, tasa de consumo, excreción de amonio, consumo de oxígeno y ciclo de muda del camarón. No obstante, Arzola *et al.* (2013) concordaron que la temperatura influye en el crecimiento, pero que también existen indicadores determinantes como la salinidad y el pH, los cuales estuvieron en los intervalos óptimos y no se alteraron con el incremento de la densidad de siembra.

El oxígeno disuelto mostró valores de 5,61 mg/L que se atribuyen a la capacidad del rotor (2,5 HP), no obstante, los incrementos de biomasa y materia orgánica en suspensión pueden disminuir los niveles de este indicador. Por otro lado, la salinidad tuvo un valor promedio de 31,5 ups, debido que se comenzó con 28,0 ups y el ligero aumento se debe a la evaporación y el cero recambio de agua. Los resultados de este estudio coinciden con Silva *et al.* (2013, 2015), quienes al incrementar la densidad de siembra en el cultivo de camarón con TBF, no encontraron efectos negativos en los indicadores de calidad de agua.

Por otra parte, las concentraciones de NAT, NO_2^- , NO_3^- y PO_4^{3-} mostraron diferencias entre los tratamientos experimentales y la interacción densidad-tiempo de cultivo (tablas 3, 4, 5 y 6). Los principales trabajos de densidades que se consultaron (Krummenauer *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013, 2015), igualmente mostraron variaciones de estos nutrientes residuales durante el cultivo, dentro del rango de valores recomendados por Emerenciano *et al.* (2017). Los autores coincidieron que se debe a la estabilidad y eficiencia de la comunidad heterotrófica.

La concentración de NAT (Tabla 3) mostró una mayor acumulación de este nutriente con la menor densidad (T-50) durante el cultivo. Por el contrario, los menores tenores se alcanzaron con T-150 y T-200. Esto puede indicar que a mayor densidad poblacional se genera mayor concentración de materia orgánica y por tanto una mejor estabilización de la comunidad heterotrófica.

Tabla 2. Indicadores de calidad del agua para *L. vannamei* cultivado a diferentes densidades con tecnología biofloc y bajo nivel de proteína en la dieta

Indicadores	Densidades de siembra							
	T-50		T-100		T-150		T-200	
	a.m.	p.m.	a.m.	p.m.	a.m.	p.m.	a.m.	p.m.
Temperatura (°C)	23,30	25,00	23,4	25,01	23,50	25,01	23,50	25,02
	0,58	0,74	0,54	0,70	0,52	0,73	0,43	0,66
OD (mg/L)	6,20	5,88	6,09	5,77	5,95	5,61	5,89	5,66
	0,70	0,63	0,59	0,64	0,68	0,69	0,68	0,63
pH	7,99	7,89	7,94	7,99	7,94	7,88	7,89	7,74
	0,29	0,34	0,31	0,44	0,25	0,26	0,25	0,35
Salinidad (ups)	31,79	31,95	31,94	31,84	32,34	32,38	31,93	31,90
	2,92	3,03	3,02	3,01	3,34	3,27	3,04	2,97

Tabla 3. Concentración de NAT con diferentes densidades de siembra en cultivo de camarón con tecnología biofloc y baja proteína en la dieta

Indicador	Tiempo (días)	Densidades de siembra				EE± Sign.
		T-50	T-100	T-150	T-200	
NAT (mg/L)	7	-0,43 ^{ab} (0,65)	-2,22 ^{cdefg} (0,11)	-1,70 ^{abcdef} (0,18)	-2,17 ^{cdefg} (0,11)	0,31 $p < 0,0001$
	14	-0,14 ^a (0,87)	-2,16 ^{cdef} (0,12)	-1,35 ^{abcd} (0,26)	-2,29 ^{cdefg} (0,10)	
	21	-0,17 ^a (0,85)	-2,49 ^{cdefg} (0,08)	-1,87 ^{bcdef} (0,15)	-1,87 ^{bcdef} (0,15)	
	28	-0,22 ^a (0,80)	-2,31 ^{cdefg} (0,10)	-1,58 ^{abcdef} (0,21)	-1,58 ^{abcdef} (0,21)	
	35	-0,89 ^{abcd} (0,41)	-1,29 ^{abcd} (0,28)	-2,54 ^{defg} (0,08)	-2,54 ^{defg} (0,08)	
	42	-1,91 ^{bcdef} (0,15)	1,05 ^{abcd} (0,35)	-3,82 ^g (0,02)	-3,82 ^g (0,02)	
	49	-1,51 ^{abcde} (0,22)	-1,24 ^{abcd} (0,29)	-3,19 ^{efg} (0,04)	-3,29 ^{fg} (0,03)	
	53	-1,69 ^{abcdef} (0,19)	-3,29 ^{fg} (0,03)	-3,29 ^{fg} (0,03)	-0,81 ^{abc} (0,44)	

Medias con distintas letras difieren a $p < 0,05$; () Medias originales.

Al excretarse el 70 % del nitrógeno procedente de la dieta al agua; alimentos balanceados bajos en proteínas proporcionan bajos niveles de NAT y por tanto son más eficientes para el cultivo de altas densidades con TBF. Las concentraciones que se obtuvieron con las diferentes densidades de siembra estuvieron dentro de los límites aceptables para el cultivo de camarón con TBF (Emerenciano *et al.*, 2017). Por tanto, este indicador no limitó el crecimiento y la supervivencia de los animales que se cultivaron.

En el caso del nitrito, las diferencias entre los tratamientos se encontraron los días 49 y 53 (Tabla 4) en la fase final de cultivo, donde las mayores concentraciones se reportaron con T-150 y T-200. No obstante, todos los tratamientos en el período de 21 hasta 35 días alcanzaron

valores ligeramente superiores a los recomendados por Emerenciano *et al.* (2017), menos de 1 mg/L. Esto puede indicar que aún las comunidades de bacterias nitrificantes no tenían la biomasa suficiente para la transformación del nitrito. Después de este período hasta el final del cultivo, las concentraciones estuvieron por debajo del intervalo permisible.

Similar comportamiento tuvieron Khoa *et al.* (2020), que reportaron concentraciones de nitrito de 1,25-1,50 mg/L en el período de 20-30 días de cultivo. También, Wang *et al.* (2016) y Khanjani *et al.* (2016) reportaron tenores de 3 mg/L y 4,5 mg/L en igual período. Estos autores informaron que el camarón cultivado con TBF puede tolerar estos niveles por períodos cortos sin afectar las supervivencias.

Tabla 4. Concentración de nitrito con diferentes densidades de siembra en cultivo de camarón con tecnología biofloc y baja proteína en la dieta

Indicador	Tiempo (días)	Densidades de siembra				EE± Sign.
		T-50	T-100	T-150	T-200	
NO ₂ -N (mg/L)	7	-1,79 ^{def} (0,17)	-1,32 ^{cde} (0,27)	-1,71 ^{def} (0,18)	-2,29 ^{efg} (0,10)	0,20 <i>p</i> < 0,0001
	14	0,19 ^a (1,20)	-0,04 ^{ab} (0,96)	-0,23 ^{abc} (0,79)	0,49 ^a (1,64)	
	21	0,68 ^a (1,57)	0,54 ^a (1,32)	0,32 ^a (1,08)	0,34 ^a (1,00)	
	28	0,074 ^{ab} (1,08)	0,25 ^a (1,28)	0,31 ^a (1,36)	0,35 ^a (1,41)	
	35	0,25 ^a (1,28)	0,32 ^a (1,38)	0,52 ^a (1,58)	0,45 ^a (1,47)	
	42	-3,02 ^{gh} (0,05)	-3,53 ^h (0,03)	-3,03 ^h (0,05)	-1,73 ^{def} (0,18)	
	49	-3,56 ^h (0,03)	-2,51 ^{fgh} (0,08)	-2,09 ^{defg} (0,12)	-1,99 ^{defg} (0,14)	
	53	-2,10 ^{defg} (0,12)	-2,61 ^{fgh} (0,07)	-1,71 ^{def} (0,18)	-0,98 ^{bcd} (0,38)	

Medias con distintas letras difieren a *p* < 0,05; () Medias originales.

Las concentraciones de nitrato mostraron diferencias entre los tratamientos (Tabla 5) y fueron mayores para 100 y 200 animales/m². De igual forma, se encontró interacción densidades de siembra - días de muestreo. Los niveles fueron permisibles para *L. vannamei* con TBF (Emerenciano *et al.*, 2017). De acuerdo con estos resultados, puede afirmarse

que este indicador no limitó el crecimiento y ni la supervivencia del camarón de cultivo.

Emerenciano *et al.* (2017) informaron que en sistemas de acuicultura, es posible que los procesos de transformación del nitrógeno amoniacal en nitrato se deban a: 1. la conversión a través de bacterias quimioautotróficas y 2. la conversión de

nitrógeno amoniacal directamente en la biomasa de bacterias heterotróficas. Estos autores sugieren que la presencia de nitrato encontrado en el sistema indica que se produjo una nitrificación aeróbica y su baja concentración responde a estas formas de transformación del nitrógeno.

En cuanto al nivel de fosfatos (Tabla 6), se encontraron resultados similares a los obtenidos por Da Silva *et al.* (2013). Asimismo se encontraron diferencias entre las densidades de siembra, que resultaron ser más acentuadas el día 28 para las densidades de 150 y 200 animales/m².

Tabla 5. Concentración de nitrato con diferentes densidades de siembra en cultivo de camarón con tecnología biofloc y baja proteína en la dieta

Indicador	Tiempo (días)	Densidades de siembra				EE± Sign.
		T-50	T-100	T-150	T-200	
NO ₃ -N mg/L	7	-0,27 ^{bcde} (0,77)	0,59 ^{abcd} (1,80)	0,68 ^{abcd} (1,98)	0,70 ^{abc} (2,01)	0,26 p = 0,0348
	14	-1,14 ^e (0,32)	0,50 ^{abcd} (1,65)	0,19 ^{abcde} (1,21)	0,72 ^{abc} (2,05)	
	21	-1,22 ^e (0,29)	-0,20 ^{bcde} (0,82)	0,49 ^{abcd} (1,64)	0,72 ^{abc} (2,05)	
	28	1,13 ^e (0,32)	0,96 ^{ab} (2,60)	-0,58 ^{cde} (0,56)	0,84 ^{abc} (2,33)	
	35	-0,26 ^{bcde} (0,77)	0,48 ^{abcd} (1,62)	0,02 ^{abcde} (1,02)	0,97 ^{ab} (2,65)	
	42	-0,23 ^{bcde} (0,21)	0,70 ^{abc} (2,02)	0,05 ^{abcde} (1,05)	0,99 ^{ab} (2,70)	
	49	-0,77 ^{de} (0,46)	0,66 ^{abcd} (1,94)	0,12 ^{abcde} (1,12)	1,34 ^a (3,82)	
	53	-0,24 ^{bcde} (0,80)	1,01 ^{ab} (2,74)	0,41 ^{abcd} (1,5)	0,89 ^{ab} (2,43)	

Medias con distintas letras difieren a $p < 0,05$; () Medias originales.

Tabla 6. Concentración de fosfato con diferentes densidades en cultivo de camarón con tecnología biofloc y baja proteína en la dieta

Indicador	Tiempo (días)	Densidades de siembra				EE± Sign.
		T-50	T-100	T-150	T-200	
PO ₄ -P (mg/L)	7	-1,69 ^{cdefgh} (0,18)	-1,13 ^{cdef} (0,17)	-1,65 ^{cdefgh} (0,3)	-2,27 ^{fgh} (0,28)	0,25 p < 0,0001
	14	-1,82 ^{defgh} (0,32)	-0,69 ^{bcd} (0,50)	-1,79 ^{cdefgh} (0,15)	-1,38 ^{cdefg} (0,25)	
	21	-1,78 ^{cdefgh} (0,19)	-0,70 ^{bcde} (0,14)	-1,95 ^{efgh} (0,10)	-1,53 ^{cdefgh} (0,08)	

Tabla 6. Continuación

Indicador	Tiempo (días)	Densidades de siembra				EE± Sign.
		T-50	T-100	T-150	T-200	
PO ₄ -P (mg/L)	28	-1,19 ^{cdef} (0,10)	-0,56 ^{bc} (0,22)	-1,26 ^{cdef} (1,51)	-1,82 ^{defgh} (2,08)	0,25 <i>p</i> < 0,0001
	35	-1,21 ^{cdef} (0,16)	-1,93 ^{efgh} (0,31)	-2,32 ^{fgh} (0,28)	0,41 ^{ab} (0,37)	
	42	-1,27 ^{cdef} (0,50)	-1,64 ^{cdefgh} (0,57)	-2,68 ^a (0,19)	0,49 ^{ab} (0,18)	
	49	-1,23 ^{cdef} (0,17)	-1,40 ^{cdefg} (0,28)	-2,56 ^{fgh} (0,07)	0,73 ^a (0,56)	
	53	-1,00 ^{de} (0,25)	-1,69 ^{cdefgh} (0,16)	-0,58 ^{bcd} (1,63)	0,42 ^{ab} (1,52)	

Medias con distintas letras difieren a *p* < 0,05 () Medias originales.

Estos resultados pueden atribuirse a una mayor cantidad de alimento suministrado que es la principal entrada de nutrientes al sistema. No obstante, los valores estuvieron en un intervalo óptimo para el cultivo de camarón con TBF (Emerenciano *et al.*, 2017) y fueron ligeramente inferiores a los reportados por Khoa *et al.* (2020).

Los niveles de fósforo en la mayoría de las dietas comerciales exceden los requerimientos nutricionales de los organismos de cultivo y una fuente elemental es la harina de pescado (Da Silva *et al.*, 2013). Se sugiere evitar altas concentraciones de fósforo ya que pueden conducir a la aparición de cianobacterias perjudiciales para los sistemas de biofloc (Khoa *et al.*, 2020).

Krummenauer *et al.* (2011) en *L. vannamei*, obtuvieron la menor concentración de fosfatos a densidad de 150 animales/m² (0,87 mg/L) y encontraron diferencias a densidades de 300 y 450. Por el contrario, Schweitzer *et al.* (2013) no informaron diferencias entre los tratamientos con diferentes densidades de siembra y obtuvieron concentraciones en intervalo de 1,1 hasta 2,2 mg/L para *L. vannamei*. En el presente estudio se registraron concentraciones inferiores a las reportadas por estos autores.

Las concentraciones de fosfatos y nitratos están en función de la asimilación de la comunidad fitoplanctónica y bacterias heterotróficas, que son sus principales nutrientes (Khoa *et al.*, 2020). De igual forma, en esta investigación el bajo nivel de proteína del balanceado pudo influir en las bajas concentraciones de los compuestos nitrogenados y del fósforo.

En cuanto a la cantidad de alimento y proteína suministrada por animal (Tabla 7), no difirieron, aunque con T-150 y T-200 se encontraron los mayores valores. Lo anterior pudo deberse a que esos fueron los tratamientos que demandaron más alimento por el número de animales y tuvieron las mayores mortalidades al final del cultivo.

Se encontraron diferencias en el peso final al incrementar la densidad de siembra (Tabla 7); resultados que respaldan las conclusiones de Krummenauer *et al.* (2011); Silva *et al.* (2013, 2015), quienes coincidieron en la relación inversa entre la densidad de siembra y el peso final, a pesar de que la TBF proporciona una disponibilidad de alimento *in situ* las 24 h.

Por el contrario, la conversión alimentaria y eficiencia proteica no difirieron al incrementar la densidad, aunque los valores fueron más desfavorables con T-200 por la baja supervivencia. Silva *et al.* (2015) obtuvieron la conversión más desfavorable con el tratamiento de mayor densidad de siembra, lo cual atribuyeron a la baja supervivencia (46,26 %), similar a lo que se encontró en este estudio.

Los resultados de este estudio sugieren que bajo las condiciones de experimentación, la productividad natural que se desarrolló en el sistema fue efectiva para cubrir el requerimiento nutricional del camarón. Observación bien documentada en otros estudios de cultivo de camarón con mínimo o cero recambio de agua (Khanjani *et al.*, 2016 y Mendoza-López *et al.*, 2017). Sin embargo, Silva *et al.* (2013) en sistemas con TBF y altas densidades, encontraron que se dificulta el acceso al alimento vivo y por tanto, hay menor disponibilidad.

Tabla 7. Indicadores productivos con diferentes densidades de siembra y baja proteína en la dieta en cultivo de camarón con tecnología biofloc

Indicadores	Densidades de siembra				± EE Sign.
	T-50	T-100	T-150	T-200	
Alimento suministrado/animal (g)	7,85	7,89	8,18	9,94	0,80 $p = 0,1536$
Cantidad de proteína/animal (g)	1,73	1,73	1,80	2,19	0,08 $p = 0,1529$
Peso final (g)	5,52 ^c ±0,13	5,38 ^{bc} ±0,10	5,16 ^{ab} ±0,08	5,01 ^a ±0,08	$p = 0,0024$
Ganancia de peso/semana (g)	0,60	0,59	0,56	0,54	0,01 $p = 0,6325$
Conversión alimentaria	1,64	1,73	1,88	2,56	0,14 $p = 0,0949$
Eficiencia proteica	2,77	2,64	2,43	1,92	0,09 $p = 0,0942$
Supervivencia (%)	94,70 ^a	87,33 ^a	79,55 ^{ab}	57,00 ^b	4,64 $p = 0,001$
Rendimiento (kg/m ²)	0,261 ^a	0,469 ^{ab}	0,615 ^b	0,571 ^b	49,55 $p = 0,0073$

a,b,c: Medias con letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$.

Dentro de las agravantes que respaldan la relación inversa entre la densidad de siembra y el crecimiento, está la calidad del agua, la cual se deteriora al incrementar el número de animales por área. Ferreira *et al.* (2015) concluyeron que *L. vannamei* sometido a sistema de biofloc puede cultivarse a altas densidades en la fase de engorde final y la calidad del agua no es la causa de la relación inversa entre el crecimiento y la densidad, lo que atribuyeron a un efecto comportamental.

Las supervivencias fueron semejantes entre los tratamientos T-50, T-100 y T-150, las que resultaron superiores a T-200, después de ocho semanas de cultivo (Tabla 7), lo cual probablemente refleja el canibalismo y la falta de espacio vital. Estos resultados pueden ser viables para cultivo de camarón con TBF en fase inicial de engorde, al considerar el alto costo de las postlarvas y alimentación durante el cultivo. No obstante, a pesar de las bajas supervivencias con los tratamientos de mayores densidades (T-150 y T-200) se obtuvieron rendimientos más altos (Tabla 7); resultados que coinciden con Krummenauer *et al.* (2011); Silva *et al.* (2013, 2015).

Se conoce que los mayores rendimientos se alcanzan en sistemas con recursos de alta tecnología, temperaturas del agua constante, uso de filtros, animales libres de patógenos y alimentos específicamente formulados para cada etapa del cultivo. Los rendimientos alcanzados en este trabajo fueron superiores a los que se reportaron en cultivos de camarón tradicional, los cuales están en un intervalo de 0,177-0,350 kg/m² (Krummenauer *et al.*, 2011).

Al analizar los indicadores productivos en las condiciones de cultivo que se desarrolló esta investigación se sugiere la densidad de 150 animales/m², una vez que se logró incrementar el rendimiento 0,146 kg/m² respecto a la densidad de 100 animales/m², con solo una diferencia de peso medio de 0,22 g por animal. Resultados que coincidieron con Da Costa & Streit (2018) quienes reportaron densidad óptima de 150 animales/m².

Por otra parte, se encontró que al incrementar las densidades de siembras se incrementan los costos de producción, fundamentalmente por el mayor volumen de

balanceado a utilizar, que representa el 60 % de los gastos totales (Soarez-Rego *et al.*, 2016), lo cual repercute en menores utilidades económicas unido a los menores pesos finales y supervivencias (Tabla 8). De igual forma, se comportó la relación beneficio–costo, aunque fue factible para los cuatro tratamientos (> 1) indicó que la actividad fue rentable, independientemente de la densidad que se utilice.

Soares-Rego *et al.* (2016) informaron que los altos costos operativos de sistemas de cultivo en interiores con nulo recambio de agua, las tasas de producción máximas son importantes para la viabilidad económica del cultivo. También, plantearon que las densidades óptimas en operaciones comerciales se basan en factores de mercado intrínsecos y costos de producción que se asocian a las diferentes tecnologías de cultivo, aspectos que corroboran los resultados de este estudio.

Tabla 8. Indicadores económicos para la producción de una tonelada de camarón con diferentes densidades de siembra en tecnología biofloc y baja proteína en la dieta (US \$/t)

Indicadores	Densidades de siembra			
	T-50	T-100	T-150	T-200
Costo total de producción	1 951,07	2 024,72	2 163,12	2 710,44
Utilidad económica	1 527,19	1 453,54	1 315,14	767,82
Relación beneficio–costo	1,78	1,71	1,61	1,28

Valor de la producción: US \$/t 3 478,26.

Los resultados indicaron que para producir una tonelada de camarón, las utilidades y la relación beneficio–costo fue más favorable con la menor densidad (T-50), por tener el menor costo total de producción y la mejor supervivencia. No obstante, es importante considerar los rendimientos que se alcanzaron con T-100 y T-150 (Tabla 7), que representan 2,08 y 3,54 t/ha más, respectivamente, en relación con T-50. Estos tratamientos se corresponden con ganancias de US \$ 2 831,14 y 4 102,15, respectivamente, en relación con T-50, al final del cultivo. De ahí, que se sugiere utilizar la densidad de siembra de 150 animales/m².

CONCLUSIONES

La densidad poblacional de camarón se puede incrementar al emplear tecnología biofloc y pienso de bajo nivel de proteína, sin comprometer su crecimiento y eficiencia alimentaria. Bajo las condiciones de cultivo de este estudio, *L. vannamei* exhibió los mejores indicadores productivos y económicos a una densidad de 150 animales/m².

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Manabí por el apoyo económico y logístico, así como al personal de apoyo DMV. Víctor Cobeña, Ing. Katerina Moreira, DMV. Jonathan Proaño y al Sr. Jaime Sacoto por su desinteresada labor para ejecutar y concluir la investigación.

REFERENCIAS

- Arzola, J., Piña, P. & Nieves, M. (2013). Supervivencia de post-larvas de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* a diferentes salinidades y temperaturas. *Rev. MVZ Córdoba*, 18 (Supl.), 3618-3625. DOI: 10.21897/rmvz.127.
- Bendschneider, K. & Robinson, R. (1952). A New Spectrophotometric Method for the determination of Nitrite in Sea Water. *Journal of Marine Research*, 11, 87-96.
- Bossier, P. & Ekasari, J. (2017). Biofloc technology application in aquaculture to supportsustainable development goals. *Microb. Biotechnol.* 10, 1012-1016, <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>
- Da Costa, B. B. & Streit, Jr. P. D. (2018). Shrimp farming in biofloc system in Brazil: a sustainable alternative to intensification in aquaculture. *Arq. Cien. Mar, Fortaleza*, 51(2), 116-130. DOI: 10.32360/acmar.v51i2.20507.
- Da Silva, K. R., Wasielesky, W. & Abreu, P. C. (2013). Nitrogen and phosphorus dynamics in the Biofloc production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(1), 30-41. DOI: 10.1111/jwas.12009.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2012). InfoStat. Versión 2012 [Windows], Universidad Nacional de Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat. Disponible: <http://www.infostat.com.ar/>
- Duncan, D. B. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42. DOI: 10.2307/3001478.

- Emerenciano, M., Cuzon, G., Paredes, A. & Gaxiola, G. (2013). Evaluation of biofloc technology in pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* culture: growth performance, water quality, microorganisms profile and proximate analysis of biofloc. *Aquaculture International*, 21(6), 1381-1394. DOI: 10.1007/s10499-013-9640-y.
- Emerenciano, M., Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M. & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): a tool for water quality management in Aquaculture. Intech, Available: <http://dx.doi.org/10.5772/66416> [Consulted: diciembre 11, 2018].
- Ferreira, G. S. et al. (2015). Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 448, 273-279. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.06.006.
- Gómez, S. (2019). Contribución estadística para el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Mayabeque, Cuba.
- Khanjani, M. H., Sajjadi, M. M., Alizadeh, M. & Sourinejad, I. (2016). Study on nursery growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) under different feeding levels in zero water exchange system. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(4), 1465-1484. Available: <http://aquaticcommons.org/id/eprint/22966> [Consulted: diciembre 11, 2018].
- Khoa, T., Tao, C. & Hai, V. K. (2020). Super-intensive culture of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in outdoor biofloc systems with different sunlight exposure levels: Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 524. Available: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735277>
- Ibarra, E., Proaño, J. & Llanes, J. (2020). Evaluación de tres niveles de proteína en cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) con tecnología biofloc. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 37(2), 83-91.
- Kramer, C. Y. (1956). Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12, 307-310.
- Krummenauer, D., Peixoto, S., Cavalli, R. O., Poersch, L. H. & Wasielesky, W. (2011). Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a Biofloc technology system in Southern Brazil at different stocking densities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(5), 726-733. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2011.00507.x.
- Mauchly, J. (1940). Significance test of sphericity of a normal n-variate distribution. *Annals of Mathematical Statistics*, 29, 204-209.
- Mendoza-López, D. G. et al. (2017). The effect of biofloc technology (BFT) on water quality in white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture: A review. *Revista BioCiencias*, 4(4), Article ID 04.04.01. DOI:10.15741/revbio.04.04.01.
- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. DOI: 10.1016/s0003-2670(00)88444-5.
- Shapiro, S. & Wilk, B. (1965). Análisis of variante test for normality (complete simples). *Biométrica*, 52, 591-611.
- Schveitzer R., Arantes, R., Baloi, M. F., Costódio, P. F. S., Arana, L. V., Seiffert, W. Q. & Andreatta, E. R. (2013). Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering*, 54, 93-103. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2012.12.003. [Consulted: November 11, 2017].
- Silva, A., Rodrigues, G., Ballester, E., Krummenauer, D., Abreu, P. & Wasielesky, W. Jr. (2013). Efeito das altas densidades de estocagem no crescimento e sobrevivência de *Litopenaeus vannamei* na fase final de engorda, cultivados em sistemas de bioflocos (BFT). *Ciênc. Anim. Bras., Goiânia*, 14(3), 279-287. DOI: 10.5216/cab.v14i3.10.419.
- Silva, E., Silva, J., Ferreira, F., Soares, M., Soares, R. & Peixoto, S. (2015). Influence of stocking density on the zootechnical performance of *Litopenaeus vannamei* during the nursery phase in a biofloc system. *Bol. Inst. Pesca, São Paulo*, 41, 777-783, en español. DOI: 10.20950/1678-2305.2015v41nep777.
- Soares-Rego, M., Sabbag, O., Soares, R. & Peixoto, R. S. (2016). Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp farm *Litopenaeus vannamei*: a case study in the state of Pernambuco, Brazil. *Aquacultural International*, 25(1), 473-483. DOI 10.1007/s10499016-0044-7.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1972) A practical handbook of seawater analysis (2nd ed.). *Fisheries Research. Board of Canada*, 167, 311-322.
- Wang, L., Lawrence, A. L., Castille, F. & Zhao, Y. (2016). Effects of dietary protein and water exchange on water quality survival and growth of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 13, 19-34.
- Zahraie, B., Szidarovszky, F. & Karamouz, M. (2019). Water quality management. In: T. M. Samocha (Ed.), Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp. Elsevier B. V, 133-151. <https://doi.org/10.1201/9780203499436.ch9>.