

Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua

Claudia Lizeth Lara-Espinoza¹, Angelica Espinosa-Plascencia¹, Marisela Rivera-Domínguez², Karen Rosalinda Astorga-Cienfuegos², Evelia Acedo-Félix³ y María del Carmen Bermúdez-Almada^{1*}

¹Laboratorio de Análisis Biológicos, ²Laboratorio de Biotecnología Molecular de Plantas y ³Laboratorio de Microbiología Molecular.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a la Victoria Km 0,6 Hermosillo, Sonora, México (83000).

e-mail: cbermudez@ciad.mx

Resumen

La creciente demanda de productos acuícolas como camarón ha generado la necesidad de modificar los métodos de producción. Actualmente se produce más camarón por acuicultura que por captura. Esta investigación evaluó un cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua en camarón *Litopenaeus vannamei*, considerando aspectos patológicos como necrosis, ectoparásitos (gregarinas y gametocitos), bacterias filamentosas, daño en túbulos, lípidos en hepatopáncreas, lesiones externas, crecimiento y supervivencia de los organismos. En agua se midió temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, salinidad, nitritos, nitrógeno amoniacal total (NAT), calcio, potasio y magnesio. Se empleó un estanque (50 x 8 x 1,2 m) sembrado con 126 organismos m⁻² con peso inicial de 13,64 ± 2,0 g, mantenidos en cultivo durante 59 días. No se detectaron parásitos o lesiones severas en branquias y hepatopáncreas. Se observó melanización, necrosis en cutícula y expansión de cromatóforos en intestino. Los parámetros de calidad de agua con valores óptimos para camarón fueron: temperatura (30,44 ± 1,0 °C), pH (7,34 ± 0,15), OD (4,71 ± 0,64 mg L⁻¹), NAT (0,55 ± 0,27 mg L⁻¹), Ca (167,84 ± 16,46 mg L⁻¹) y Mg (908,14 ± 176,43 mg L⁻¹). La salinidad (39,90 ± 0,88 ‰), K (88,44 ± 17,78 mg L⁻¹) y nitritos (5,50 ± 2,07 mg L⁻¹) presentaron valores fuera de los óptimos para esta especie. Los organismos incrementaron 1,55 ± 0,91 g semana⁻¹, alcanzando un peso final de 27,56 ± 1,09 g, supervivencia de 56,9%, FCA de 1,47 y una razón C/N de 16:1. Estos resultados indicaron que el sistema de cultivo probado permitió el control de algunos parámetros fisicoquímicos y patológicos que influyen en el desarrollo de *L. vannamei*, con valores aceptables para el FCA y supervivencia.

Palabras clave: Camarón *Litopenaeus vannamei*, sistema intensivo, biofloc, parámetros fisicoquímicos, aspectos patológicos.

Summary

Development of shrimp *Litopenaeus vannamei* in an intensive culture system with biofloc and without water exchange

The growing demand for products such as shrimp cultured has generated the need to change production methods. More shrimp is currently produced by aquaculture than for capture. This research evaluated an intensive culture of shrimp *Litopenaeus vannamei* with biofloc and without water exchange considering pathological aspects as necrosis, ectoparasites (gregarinas and gametocytes), filamentous bacteria, tubule damage, lipids in hepatopancreas, external lesions, growth and survival in the organisms. In water was measured temperature, dissolved oxygen (DO), pH, salinity, nitrites, total ammonia nitrogen (TAN), calcium, potassium and magnesium ions. We used a pond (50 x 8 x 1,2 m) with biofloc, density of 126 organisms m⁻² with initial weight of 13,64 ± 2,0 g maintained in culture during 59 days. No parasites and severe lesions was detected in gills and hepatopancreas, chromatophores were observed in gut and necrosis in the cuticle. Optimal values for shrimp water quality parameters were: temperature (30,44 ± 1,0 °C), pH (7,34 ± 0,15), DO (4,71 ± 0,64 mg L⁻¹), TAN (0,55 ± 0,27 mg L⁻¹), Ca (167,84 ± 16,46 mg L⁻¹) and Mg (908,14 ± 176,43 mg L⁻¹). Salinity (39,90 ± 0,88 ‰), K (88,44 ± 17,78 mg L⁻¹) and nitrites (5,50 ± 2,07 mg L⁻¹) had values outside of those recommended for this specie. The average increase in weight was 1,55 ± 0,91 g week⁻¹ with a final weight of 27,56 ± 1,09 g and survival of 56,9%, FCR of 1,47 and C/N ratio was 16:1. These results indicated proposed culture system allowed the control of some physicochemical and pathological parameters that influence the development of *L. vannamei*, with acceptable values for the FCR, and survival.

Key words: *Litopenaeus vannamei* shrimp, intensive system, biofloc, physicochemical parameters, pathological aspects.

Introducción

Actualmente, el cultivo de camarón en México es uno de los sistemas más tecnificados del país. El consumo de pescados y mariscos mantiene un crecimiento constante y la demanda no es totalmente abastecida (Norzagaray y cols., 2012; Ferreira y cols., 2015). Por esta razón, es importante el desarrollo de nuevas alternativas para la producción intensiva de camarón. Donde, la ausencia de aguas residuales, la reducción de espacio utilizado y la disminución de la introducción de enfermedades infecciosas son el criterio central para la justificación del desarrollo de los cultivos intensivos (Crab y cols., 2012).

El cultivo intensivo de camarón se caracteriza por utilizar altas densidades de siembra. Este sistema de cultivo se desarrolla generalmente en áreas pequeñas, permitiendo mejorar las condiciones de cultivo y optimizar la alimentación. Se utiliza un sistema de recirculación y un limitado o nulo recambio de agua, disminuyendo la posibilidad de eutrofización en los esteros e interacción o transmisión de enfermedades entre las poblaciones silvestres y las cautivas (Ray y cols., 2010). Con estos sistemas se busca reducir el contenido de proteína de las dietas, sustituyéndola por proteína microbiana que forma partículas floculadas (biofloc), utilizadas como alimento por los organismos (Baloia y cols., 2013). Las partículas floculadas son agregados de algas, bacterias, protozoos y otras clases de materiales orgánicos como heces y alimento no consumido. Cada flóculo se mantiene unido por una matriz de mucosidad que es secretada por las bacterias, los microorganismos filamentosos o por atracción electrostática (Cedano-Castro y cols., 2013).

La tecnología de bioflocs permite llegar a intensificar los cultivos de una manera satisfactoria y ofrece una alternativa para mitigar los problemas ambientales relacionados con la descarga de los productos de desecho al medio ambiente (Baloia y cols., 2013).

Entre los factores que influyen significativamente en los sistemas de cultivo intensivos con biofloc se encuentran la calidad del agua, incluyendo temperatura, pH, oxígeno disuelto, concentración de amonio y salinidad (Lawson, 2011). Estos parámetros tienen una gran influencia en el desarrollo óptimo de los organismos (Caipang y Aguana, 2011), los cambios drásticos en dichos parámetros causan estrés en el camarón y favorecen la proliferación de patógenos, provocando infecciones, lento crecimiento o la muerte de los organismos (Carroza y cols., 2012).

Dada esta problemática en la acuicultura mundial por las enfermedades virales y bacterianas urge desarrollar sistemas de cultivo bioseguros y sustentables, como los sistemas intensivos de recirculación con biofloc y bajo o nulo recambio de agua (Sánchez-Romero y cols., 2013). El objetivo de esta investigación fue estudiar la eficiencia de un sistema intensivo de cultivo con biofloc y nulo recambio de agua en camarón *L. vannamei* mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y aspectos patológicos.

Materiales y métodos

Esta investigación fue a nivel de un estudio de campo descriptivo, empleando un estanque de una granja de producción de camarón *L. vannamei*, ubicada en Bahía de Kino, Sonora, México, que se localiza a 28° 41' 41,43" N; 111° 51' 01,06" W. El ensayo comprendió un período de 59 días. El estanque empleado fue tipo invernadero de construcción rústica, con una dimensión de 50 m de largo, 8 m de ancho y una profundidad de 1,2 m, con paredes y fondo cubiertos de polietileno de alta densidad "linner". El estanque se mantuvo con aireación constante durante todo el día mediante agitadores de paleta de 2 HP. Se dio un período de una semana de maduración del

sistema antes de realizar la siembra de los organismos. Durante todo el periodo experimental se adicionó melaza al estanque como fuente de carbono ($19,62 \pm 5,4$ L día⁻¹), para lograr una relación C/N 15-20:1 y con ello el crecimiento bacteriano deseado, según lo reportado por Ladino-Orjuela (2011). La densidad de siembra fue de 126 organismos sub-adultos m⁻², con un peso inicial promedio de $13,64 \pm 2,0$ g.

Se suministró alimento comercial (35% de proteína) con una frecuencia de cinco veces al día y una tasa de alimentación de 3%. Se emplearon charolas muestreadoras en cuatro puntos del estanque para estimar el consumo diario de alimento por los organismos. La cantidad de alimento administrado fue ajustado diariamente dependiendo del consumo. Se hizo el registro del alimento no consumido removido de las charolas, éste se colocó en papel filtro para absorber el exceso de humedad y posteriormente se llevó a peso constante dentro de una estufa a 60 °C. Para estimar el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) se utilizó la fórmula propuesta por Arnold y cols. (2009):

$$\text{FCA} = \text{Alimento total administrado} / \text{Ganancia total de biomasa}$$

Los registros de temperatura (°C), oxígeno disuelto (OD) y pH se llevaron a cabo dos veces al día (06:00 y 17:00 h), empleando para la medición, un termómetro, un oxímetro YSI (YSI 55, Yellow Springs OH. EUA) y un potenciómetro YSI (Ecosense pH 10, Yellow Springs, OH. EUA). La medición de la salinidad se realizó dos veces por semana empleando un refractómetro Aquatic Eco-Systems (VitalSine SR-6, Apopka, FL. EUA).

Se midió la concentración de los iones calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg) debido a que éstos son esenciales durante el desarrollo de los organismos. Los niveles de nitritos (NO₂), nitrógeno amoniacal total (NAT) y iones se midieron con un fotómetro YSI Ecosense 9500 a una longitud de onda de 520 a 640 nm, empleando los kits comerciales NITRICOL (Water Test Tablets Palintest AP 109), amonio No. 1 y No. 2 (Water Test Tablets, Palintest AP 152) y Calcicol No.1 y No.2 (Water Test Tablets Palintest AP 188), potasio (Water Test Tablets Palintest AP 189) y Magnecol (Water Test Tablets Palintest AP 193). Las determinaciones se realizaron por duplicado siguiendo los procedimientos indicados por el fabricante (AILAPHOT®), incluyendo un control negativo.

Los aspectos patológicos incluyeron la identificación de lesiones externas e internas en los organismos. La valoración externa consistió en buscar cambios de coloración en la cutícula y/o pleópodos, así como necrosis en la cutícula. La evaluación interna se basó en la extracción de branquias, intestino y hepatopáncreas y su observación en fresco al microscopio (Labomed, Mod. CX, California EUA), para determinar en branquias la presencia de necrosis; ectoparásitos y bacterias filamentosas en hepatopáncreas; daño en túbulos y contenido de lípidos y en el intestino de los organismos la presencia de gregarinas y gametocitos. El grado de severidad de las lesiones en los distintos órganos de los camarones se estableció usando la escala de Lightner (1996) (Tabla 1). La supervivencia fue establecida por la proporción de organismos cosechados al final del experimento con respecto a la cantidad sembrada al inicio, siguiendo el procedimiento establecido por Li y cols. (2007):

$$\text{Supervivencia (\%)} = 100 \times \frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismos}}$$

Tabla 1. Criterios para establecer el grado de severidad de las lesiones en los distintos órganos de camarón.

Grado de severidad	
Branquias	
1	Ausencia de protozoarios parásitos
2	Menos del 10% de las branquias cubiertas por protozoarios parásitos
3	Menos del 50% de las branquias cubiertas por protozoarios parásitos
4	El 100% de las branquias cubiertas por protozoarios parásitos
Intestino	
1	Ausencia de gregarinas
2	Menos de 10 gregarinas adultas
3	Entre 10 y 50 gregarinas adultas
4	50 o más gregarinas adultas
Lípidos	
0	Ausencia total de esferas de lípidos
1	Leve presencia de esferas de lípidos
2	El 25% de cada túbulo con esferas de lípidos
3	El 50% de cada túbulo con esferas de lípidos
4	Todos los túbulos llenos de lípidos
Túbulos del Hepatopáncreas	
1	Túbulos lisos y con grado 4 de lípidos
2	Presencia leve de túbulos estrangulados, sin disminución de lípidos
3 ^a	El 25% de los túbulos estrangulados en varias partes
3 ^b	El 50% de los túbulos estrangulados y secos
4	Túbulos secos, sin lípidos y con necrosis

(Lightner, 1996)

Para determinar la ganancia de peso se realizaron muestreos al azar tomando 10 organismos diariamente en diferentes puntos del estanque durante toda la etapa experimental, sumando 50 camarones por semana, los cuales se pesaron en una balanza analítica digital marca OHAUS® (Mod. Scout Pro SP202, Parsippany, NJ., EUA). Para calcular dicho parámetro se aplicó la fórmula propuesta por Pan y cols. (2007):

$$\text{Ganancia de peso} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Tiempo experimental} \times \text{Número de organismos}}$$

Se calculó la media y desviación estándar de los datos obtenidos.

Resultados

Parámetros Físicoquímicos:

Los valores promedio obtenidos de las variables fisicoquímicas medidas en el agua del estanque de cultivo fueron temperatura $30,44 \pm 2,09$ °C; OD $4,71 \pm 0,64$ mg L⁻¹ y pH $7,34 \pm 0,15$. La salinidad registrada fue de $39,9 \pm 0,88$ ‰. El comportamiento de dichos parámetros se muestra en las Figuras 1 y 2. La Figura 3 presenta el comportamiento de los iones Ca, K y Mg en el cultivo evaluado, obteniéndose concentraciones promedio de $167,84 \pm 16,46$; $88,49 \pm 17,78$ y $908,14 \pm 176,43$ mg L⁻¹ para Ca, K y Mg, respectivamente. El comportamiento que presentaron Ca y K fue similar, alcanzándose la máxima concentración a los 34 días del estudio para Ca con 210 mg L⁻¹ y K a los 14 días con 155 mg L⁻¹. El nivel mínimo de ambos iones se registró a los 44 días del estudio con 133 y 65 mg L⁻¹ para Ca y K, respectivamente. El ion Mg mostró variaciones en su concentración durante el transcurso del estudio. La relación obtenida entre los iones K/Mg fue de 10,6:1 y Mg/Ca de 5:1.

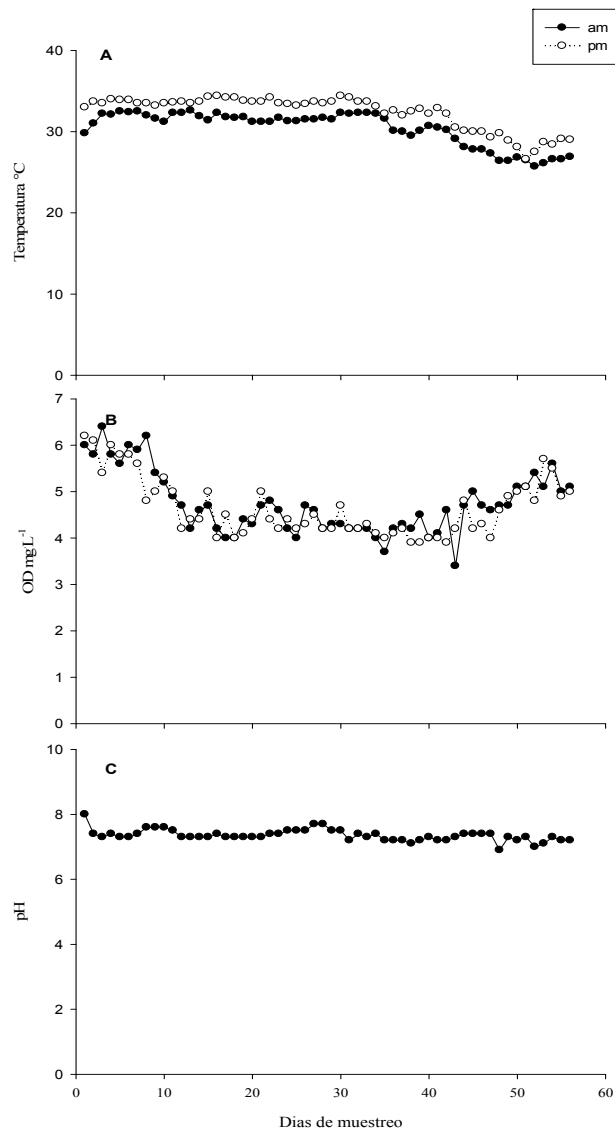


Figura 1. Parámetros de (A) temperatura, (B) oxígeno disuelto y (C) pH en un sistema intensivo de cultivo de camarón *L. vannamei* con nulo recambio de agua.

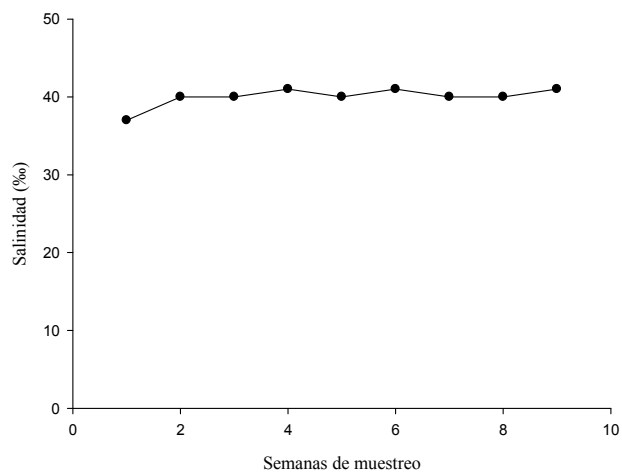


Figura 2. Niveles de salinidad durante el cultivo de camarón *L. vannamei* en un sistema intensivo con nulo recambio de agua.

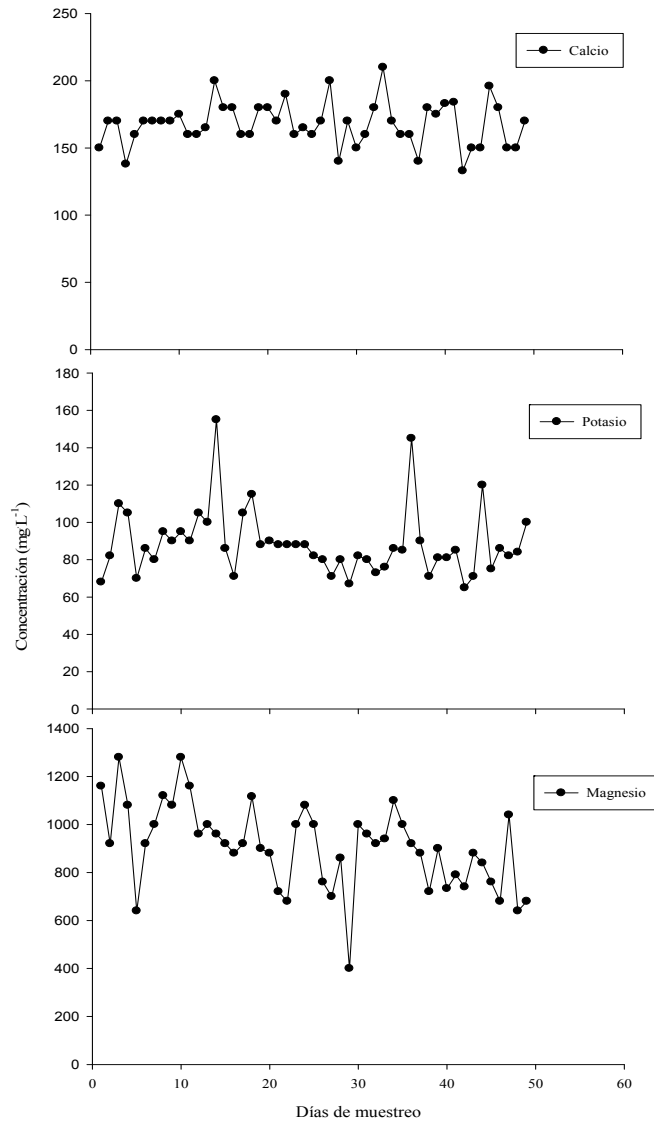


Figura 3. Concentración de los iones calcio, potasio y magnesio en un sistema intensivo de cultivo de camarón *L. vannamei* con nulo recambio de agua.

El nivel promedio de nitritos durante el estudio fue de $4,75 \pm 4,4 \text{ mg L}^{-1}$. Las concentraciones estuvieron en el intervalo de $0,1$ a $13,6 \text{ mg L}^{-1}$. Durante un período de 26 días (del 14 al 40) se observó que los niveles de nitritos se elevaron alcanzándose un valor máximo de $13,6 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 4).

El comportamiento en los niveles de NAT en el agua del estanque se muestra en la Figura 4, presentándose en promedio una concentración de $0,55 \pm 0,27 \text{ mg L}^{-1}$. El valor más alto de NAT se registró a los 14 días de iniciado el estudio y fue de $2,88 \text{ mg L}^{-1}$, el más bajo fue de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ al día 41.

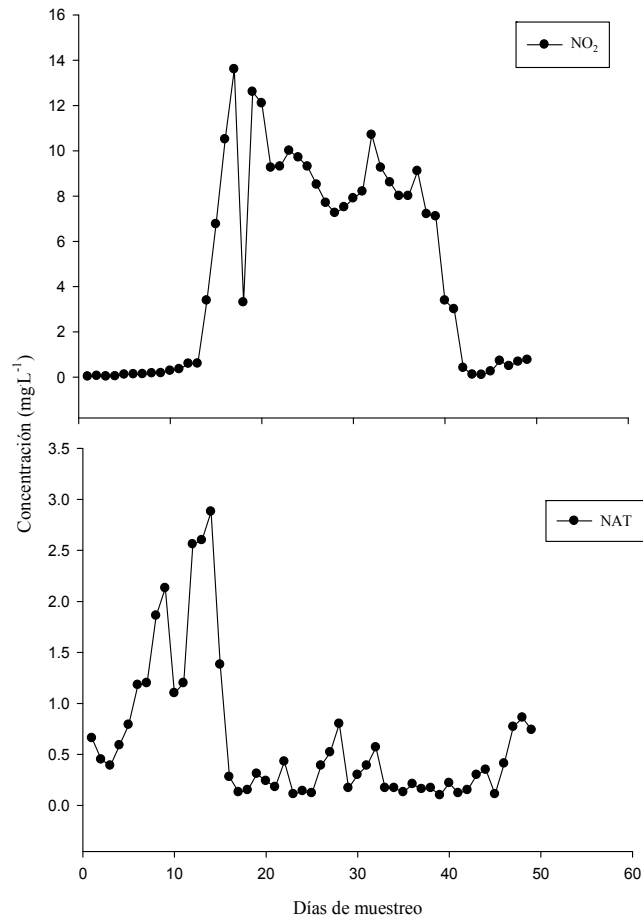


Figura 4. Concentración de nitritos (NO₂) y nitrógeno amoniacal total (NAT) en un sistema intensivo de cultivo de camarón *L. vannamei* con nulo recambio de agua.



Figura 5. Necrosis en la cutícula y expansión de los cromatóforos en camarón *L. vannamei* cultivado en un sistema intensivo con biofloc.

Aspectos patológicos:

Al respecto se puede mencionar que los organismos presentaron un oscurecimiento de la cutícula, necrosis del exoesqueleto y expansión de los cromatóforos (Figura 5). En el análisis en fresco de las branquias no se observó necrosis, bacterias filamentosas o ectoparásitos. En el intestino no hubo presencia de gregarinas o gametocitos y en

hepatopáncreas los túbulos y la concentración de lípidos estuvieron en su mayoría dentro de los valores establecidos como adecuados (valor de 4 que corresponde a túbulos llenos de lípidos). El 74% de los organismos presentaron túbulos lisos y el 84% mostraron una concentración apropiada de lípidos en hepatopáncreas. El 17% del total de los organismos analizados tuvieron túbulos totalmente estrangulados, 5% mostraron túbulos estrangulados en distintas regiones y un 4 % de los organismos exhibió túbulos necrosados y secos (Figura 6). Del total de organismos analizados el 16% presentó una concentración no adecuada de lípidos en hepatopáncreas (Tabla 2).



Figura 6. Hepatopáncreas de camarón *L. vannamei* donde se aprecian túbulos estrangulados y secos.

Tabla 2. Evaluación del daño en los distintos órganos de camarón *L. vannamei* cultivado en un sistema intensivo tipo invernadero con nulo recambio de agua.

Órgano	Daño	Presencia/ Ausencia de indicadores	% de daño en los órganos
Branquias	Necrosis	Ausencia	0
	Ectoparásitos	Ausencia	0
	Bacterias filamentosas	Ausencia	0
Hepatopáncreas	Túbulos	Túbulos lisos	74
		Túbulos estrangulados	17
		Túbulos estrangulados en diferentes partes	5
		Túbulos estrangulados secos y con necrosis	4
	Lípidos	Concentración adecuada de lípidos	84
		50% de túbulos con lípidos	14
	25% de túbulos con lípidos	2	
Intestino	Gregarinas	Ausencia	0
	Gametocitos	Ausencia	0

n = 57 para cada órgano

Supervivencia y ganancia de peso:

Se obtuvo una supervivencia de 56,9%, con una biomasa total de 701 Kg en un área de cultivo de 0,04 ha.

El incremento promedio de peso en los organismos fue de $1,55 \pm 0,91$ g semana⁻¹. El mayor incremento se obtuvo en la segunda semana del estudio con $2,74 \pm 0,41$ g y el menor en la última con un valor de $0,03$ g semana⁻¹. En la gráfica de barras de la Figura 7 se presenta el incremento de peso obtenido en cada semana. Al finalizar el estudio

los organismos alcanzaron un peso promedio de $27,56 \pm 1,09$ g. El consumo total de alimento fue de 1032,5 Kg, el FCA de 1,47 y el promedio de la relación carbono/nitrógeno fue de 16:1. El peso final de los organismos estuvo en el intervalo de 24,5 a 30,0 g.

Entre las ventajas identificadas en el sistema de cultivo intensivo evaluado se encontró, la disminución en el volumen de agua de mar utilizada, un control en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos esenciales para el desarrollo de *L. vannamei*, un peso adecuado en los organismos al momento de su cosecha. Las desventajas presentadas fueron, una elevación en la salinidad y en la concentración de nitritos y melanización en la cutícula de los organismos.

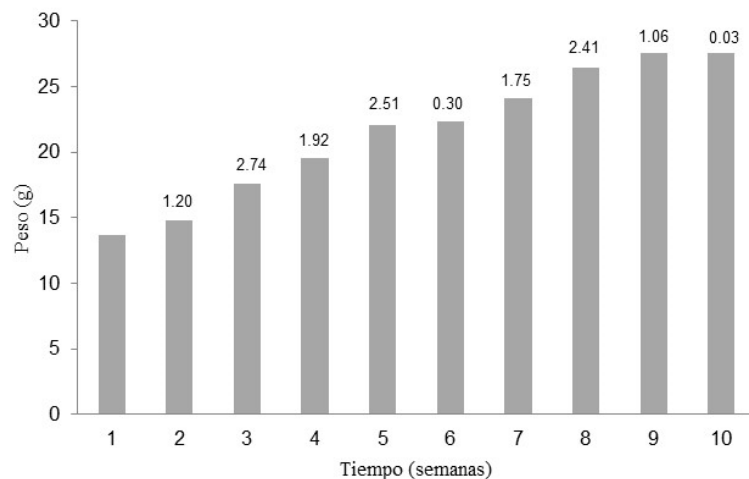


Figura 6. Ganancia de peso de camarón *L. vannamei* durante el periodo experimental del sistema de cultivo intensivo con nulo recambio de agua.

Discusión

Parámetros Fisicoquímicos:

La mayoría de las variables fisicoquímicas se mantuvieron estables y dentro de los valores óptimos para el desarrollo de *L. vannamei*, excepto la salinidad la cual estuvo por arriba del intervalo de 5 – 35 ‰ que reportan como adecuada Arzola y cols. (2013). Li y cols. (2008) reportaron que una elevación en la salinidad del agua no tiene un efecto adverso en el desarrollo del camarón, ya que una de las características de *L. vannamei* es su capacidad de tolerar amplios intervalos de salinidad (1 – 50 ‰), sin que esto sea una limitante para su desarrollo. Sin embargo, para mantener un balance osmótico adecuado los organismos requieren de un gasto energético mayor.

Las concentraciones de K y nitritos estuvieron fuera de los valores recomendados para esta especie. Esto pudo ser debido a que en el estanque no se realizaron recambios de agua, únicamente se repuso el volumen que se perdió por evaporación.

Considerando que los iones K, Mg y Ca son esenciales para el crecimiento, supervivencia y funcionalidad de los crustáceos por su participación directa en la osmorregulación, muda y formación del exoesqueleto, es importante mantener una relación adecuada de los mismos, como lo sugiere Chávez (2011), quien propone un valor de 3:1 (Mg/Ca) y 1:1 (K/Ca) en el agua de los estanques de cultivo de camarón. Cuando la salinidad del agua es de 40 ‰ o cercana a este valor, la relación Mg/Ca en el agua debe ser 4,96:1 de acuerdo a Pan y cols. (2007); este valor coincide con la relación 5:1 (Mg/Ca) obtenida

en este estudio. Sin embargo, la razón K/Mg fue de 10,6:1 y estuvo por debajo de la reportada como adecuada por Roy y cols. (2007), que es de 36:1 para agua de mar con salinidad de 40 ‰. Otros efectos graves que pueden presentarse en los organismos por la deficiencia de estos iones son anorexia, baja actividad, deficiencia en crecimiento e incluso la muerte, de ahí la importancia de su monitoreo (Zhu y cols., 2004).

La fluctuación en los niveles de amonio y la acumulación de nitritos en el cultivo indican una oxidación incompleta de amonio a nitratos, debido a que la cantidad de bacterias heterótrofas no fue suficiente para llevar a cabo una oxidación completa de nitritos a nitratos. Aun cuando se obtuvo una concentración aceptable en la relación C/N para el crecimiento bacteriano (Ladino-Orjuela, 2011; Shyne y cols., 2013) por la adición de melaza, el proceso de nitrificación se vio limitado, reflejándose en una elevación en los niveles de nitritos. Bautista y Ruíz (2011) reportaron que niveles de nitritos superiores a $0,75 \mu\text{g mL}^{-1}$ en el agua provocan estrés en los organismos y concentraciones mayores a 5 mL^{-1} son tóxicas. En este estudio los valores promedio de nitritos rebasaron el nivel tóxico, lo cual se relacionó con la presencia de lesiones en el exoesqueleto. Boyd (1990) reportó que concentraciones elevadas de nitritos en el agua de los estanques puede provocar necrosis en los tejidos y una disminución en el crecimiento de los organismos.

Las variaciones en el NAT estuvieron dentro de los niveles reportados por Zhou y cols. (2009) que son de $0,1 - 1,0 \text{ mg L}^{-1}$. Dichas fluctuaciones dependen de la interacción entre las variables temperatura, alcalinidad, salinidad y pH, como lo mencionan Páez-Osuna y Frías-Espéricueta (2001), o bien pueden deberse a que la biomasa de algas presentes en el estanque no fue capaz de compensar la excreción de los compuestos nitrogenados producidos por los organismos.

Aspectos patológicos:

Las causas del daño patológico en los organismos pueden ser diversas, entre ellas está el estrés ocasionado por el hacinamiento o la presencia de infecciones bacterianas o parasitarias como lo reportan Aguado y Bashirullah (2011). Otros factores que influyen pueden ser el daño mecánico ocasionado por una aireación fuerte, el incremento en los niveles de materia orgánica, la elevada cantidad de alimento, la falta de recambios de agua y el bajo nivel en el oxígeno disuelto (Borges y cols., 2012).

Algunos autores reportan que la presencia de manchas café a negro en la cutícula de *L. vannamei* puede deberse a una infección causada por patógenos oportunistas como vibrios, *Aeromonas*, *Pseudomonas* y citrobacterias, las cuales representan una verdadera amenaza para los organismos cuando se encuentran bajo estrés severo. Las bacterias quitinolíticas están en la superficie del camarón o en el agua circundante y producen enzimas que degradan la cutícula ocasionando la "enfermedad del caparazón" (Ibarra, 1999; Rubio y cols., 2012).

Los camarones, como mecanismo de defensa producen melanina, cuya función es bloquear la penetración de las bacterias. El sistema profenoloxidasa (proPO) es el responsable de la melanización observada en los procesos inflamatorios de los crustáceos, siendo la fenoloxidasa (PO) la enzima clave en esta actividad. El sistema proPO se encuentra dentro de los hemocitos de donde es liberado a los sitios de infección o heridas, para eliminar los patógenos oportunistas (Amparyup y cols., 2013). Las manchas oscuras son producidas por la acumulación de melanina y desaparecen en la fase de muda cuando el exoesqueleto es eliminado, siempre y cuando la lesión no afecte las membranas internas y el músculo (Morales-Covarrubias, 2008).

La determinación del contenido lipídico en hepatopáncreas es importante, ya que en este órgano se llevan a cabo las funciones digestivas del camarón. Gómez-Gil y cols. (2001) reportaron que en hepatopáncreas se absorben y almacenan los nutrientes, por

tanto, cualquier disfunción en este órgano altera severamente el desarrollo de los organismos.

La supervivencia en este estudio fue similar a la obtenida por Lira y cols. (2003), quienes reportaron una supervivencia de 56,9% en sistemas de cultivo semi-intensivos en Brasil. Este porcentaje de supervivencia puede mejorarse si se mantienen las condiciones fisicoquímicas adecuadas para *L. vannamei*, ya que las bacterias de *Vibrio* aun cuando forman parte de la microflora normal de los camarones peneidos, son agentes patógenos oportunistas que ocasionan enfermedades, bajos niveles de supervivencia y pérdidas económicas en la producción de camarón (Aguirre y cols., 2013).

La ganancia en peso fue similar a la reportada por Cohen y cols. (2005) quienes obtuvieron incrementos de 1,2 g semana⁻¹ en cultivos intensivos con invernadero. Ray y cols. (2011) reportaron que un incremento en peso de 1,1 a 1,5 g semana⁻¹ se considera aceptable para camarón *L. vannamei* en cultivos intensivos.

El FCA es un parámetro importante en acuicultura debido a que el valor del alimento representa más del 60% del costo de producción total (Baloia y cols., 2013). Con buenas prácticas de manejo, la razón del Factor de Conversión Alimenticia debe ser de 1,5 a 2,0 inclusive con las densidades de siembra empleadas en los sistemas intensivos. El valor obtenido en este estudio estuvo muy cercano al rango señalado como aceptable de acuerdo a Boyd y cols. (2001).

Los indicadores productivos medibles como, la supervivencia, talla de cosecha, índice de crecimiento semanal, FCA y la producción por hectárea fueron aceptables. Se propone continuar estudiando estos sistemas de cultivo intensivos con invernadero bajo las condiciones ambientales de la región con el propósito de contribuir en la solución de la problemática que afecta al sector camaronícola. Además, se recomienda incluir en estos estudios una comparación de los costos de producción respecto a los ingresos por la comercialización del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los Ingenieros Roberto Federico Aguayo Valenzuela y César Eduardo Patiño, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la fase experimental de esta investigación en la granja acuícola "La Borbolla", así como el apoyo técnico por parte del Tec. Juan Carlos Gastélum Domínguez y Edgar Noris Rodríguez.

Bibliografía

1. Aguado, G. N. y A. Bashirullah (2011). Descripción, intensidad de infección y prevalencia de metacestodos *Lecanicephallidae* en camarones peneidos silvestres del noroeste de Venezuela. *Rev. Cient., FCV-LUZ*, 21:7-15
2. Aguirre, G., E. A. López y M. L. Vázquez (2013). Efecto de *Vibrio harveyi* en la sobrevivencia de las larvas de *Litopenaeus vannamei*. *Scientia Agropecuaria*, 4:121-127.
3. Amparyup, P., W. Charoensapsri y A. Tassanakajon (2013). Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish y Shellfish Immunol*, 34:990-1001.
4. Arnold J.S., F. E. Coman, C. J. Jackson y S. A. Groves (2009). High-intensity, zero water-exchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: An evaluation of artificial substrates and stocking density. *Aquaculture*, 293:43-48.
5. Arzola, G. J., V. P. Piña, S. M. Nieves y M. Medina (2013). Supervivencia de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* a diferentes salinidades y temperatura. *Rev. MVZ Córdoba*, 18:3618-3625.
6. Bautista, C. J. C. y V. A. Ruíz (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en estanques de geomembrana. *Rev. Fuente Univ. Autónoma de Nayarit*, 3:10-14.

7. Baloia, M., R. Arantes, R. Schweitzar, C. Magnotti, y L. Vinatea (2013). Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacult. Eng.*, 52:39-44.
8. Borges, M. R. O., Y. J. Mendoza y N. M. Carbonell (2012). Necrosis en postlarvas de camarón. *Rev. Elect. Vet.*, 13:1-4.
9. Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Birmingham Publishing Co. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn AL.USA. pp. 280-381.
10. Boyd C. E., G. Treece, R.C. Engle, D. Valderrama, D. V. Lightner, C. R. Pantoja, J. Fox, D. Sánchez, S. Otwell, L. Garrido, V. Garrido y R. Benner (2001). Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. En: Haws M.C. y C. E. Boyd (ed). *Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*. Managua, Nicaragua. pp.1-30.
11. Cedano-Castro, M. D., A. Lujan-Bulnes y H. Suárez-Marín (2013). Crianza de *Oreochromis niloticus* Var chitralada en sistema biofloc en la Empresa PRODUMAR SA, Guayaquil (Ecuador). *REBIOLEST 2013*; 1(2): 79-91. Revista Científica de Estudiantes Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.
12. Caipang, C. y M. Aguana (2011). Conventional PCR assays for the detection of pathogenic *Vibrio spp.* in shrimp aquaculture in the Philippines. *Int. J. Bioflux Soc.*, 4:339-350.
13. Carroza, C., F. Hurtado y X. Gutierrez (2012). Nitrogenated compounds biofiltration under alternative bacterium fixation substrates. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40:772-785.
14. Chávez, J. (2011). Balance iónico en los alimentos acuícolas: términos y referencias. *Panorama Acuicola Magazine*, 16:40-44.
15. Cohen, J. M., T. M. Samocha, J. M. Fox, R. L. Gandy y A. L. Lawrence (2005). Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools. *Aquacult. Eng.*, 32:425-442.
16. Crab, R., T. Defoirdt, P. Bossier, y W. Verstraete (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357:351–356.
17. Ferreira, J.G., Falconer, L., Kittiwanih J., Ross L., Saurel, C., Wellman, K., Zhu, C.B. y Suvanachai, P. (2015). Analysis of production and environmental effects of Nile tilapia and White shrimp culture in Thailand. *Aquaculture*, 477:23-26.
18. Gómez- Gil. B., A. Roque y F. A. Guerra (2001). Enfermedades infecciosas más comunes en la camaronicultura en México y el impacto del uso de antimicrobianos. En: *Camaronicultura y medio ambiente*. Páez-Osuna, F. (ed). Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. pp. 315-346.
19. Ibarra, G. J. C. (1999). Epizootiología de las enfermedades detectadas en el cultivo de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* en el parque acuícola El Siari, Sonora, México. San Nicolás de los Garzas. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 26-28.
20. Ladino-Orijuela, G. (2011). Dinámica del carbono en estanques de peces. *Rev. Orinoquia*, 15(1):49-61.
21. Lawson, E. O. (2011). Physico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the mangrove swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Adv. Biol. Res.*, 5:8-21.
22. Li, E., L. Chen, C. Zeng, X. Chen, N. Yu, Q. Lai y J. G. Qin (2007). Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture*, 265:385-390.
23. Li, E., L. Chen, C. Zeng, N. Yu, Z. Xiong, X. Chen y J. G. Qin (2008). Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities. *Aquaculture*, 274:80-86.
24. Lightner, D. V. (1996). A Handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures of diseases of cultured penaeid shrimp. *World Aquacult. Soc.* Baton Rouge, LA, USA. pp. 304.
25. Lira, J. R., R. Amaral, V. F. Moura, L. Rocha y E. S. Correja (2003). Performance evaluation of *Litopenaeus vannamei* marine shrimp in intensive and semi-intensive farming systems. *World Aquacult. Soc.* Brasil, pp. 423-424.
26. Morales-Covarrubias, M. (2008). Enfermedades bacterianas, cap. 3. En: *Guía Técnica: Patología e Inmunología de camarones penaeidos*. Q.V. Morales y J. Cuéllar-Anjel (eds.), Programa Iberoamericano en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Panamá, República de Panamá. pp.119-134.
27. Norzagaray, C. M., S. P. Muñoz, V. L. Sánchez, F. L. Capurro y C. O. Llánes (2012). Acuicultura. Estado actual y retos de la investigación en México. *Rev. AquaTIC*, 37:20-25.

28. Páez-Osuna, F. y M. G. Frias-Espericueta (2001). Toxicidad de los compuestos del nitrógeno en camarones. En: Páez-Osuna F. (ed) *Camaronicultura y medio ambiente*. Colegio de Sonora, Mazatlán, Sinaloa. México. pp. 253-276.
29. Pan, L., L. Zhang y H. Liu (2007). Effects of salinity and pH on ion-transport enzyme activities, survival and growth of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture*, 273:711-720.
30. Ray, A. J., K. S. Dillon y J. M. Lotz (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacult. Eng.*, 45:127-136.
31. Ray, J. A., L. B. Lewis, L. C. Browdy y W. J. Leffler (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.
32. Roy, L. A., D. A. Davis, I. P. Saoud y R. P. Henry (2007). Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262:461-469.
33. Rubio, M., R. Silveira, L. Pérez, y N. González (2012). Enfermedad de la mancha del caparazón en el camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei*. *Rev. Electr. Vet. REDVET*, 13(7):2-8.
34. Sánchez-Romero, A., A. Miranda-Baeza, J. A. López-Elías, L. R. Martínez-Córdova, A. Tejada-Mansir, y E. Márquez-Ríos (2013). Efecto del fotoperiodo y la razón camarón: macroalga en la remoción de nitrógeno amoniacal toral por *Gracilaria vermiculophylla*, en cultivo de *Litopenaeus vannamei*, sin recambio de agua. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(5):888-897.
35. Shyne A.P.S., S. Kumar, A. Panigrahi, T.K. Ghoshal, D.J. Syama, G. Biswas, J. K. Sundaray, R. D. Ananda, A. D. Deo, S. M. Pillai y P. Ravichandra (2013). Effects of C:N ratio and substrate integration on periphyton biomass, microbial dynamics and growth of *Penaeus monodon* juveniles. *Aquacult. Int.* 21:511-524.
36. Zhu, C., S. Dong, F. Wang y G. Huang (2004). Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 234:485-496.
37. Zhuo, X., Y. Wang y W. Li (2009). Effect of probiotic on larvae shrimp (*Penaeus vannamei*) based on water quality survival rate and digestive enzyme activities. *Aquaculture*, 287:349-353.