



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.4>

Artículo Original. Recibido: 07/01/2024. Aceptado: 27/03/2025. Publicado: 11/09/2025. Clave: e2024-5.

https://www.youtube.com/watch?v=DFUy_IBLS1g

Impacto de la densidad poblacional en el sistema inmune, crecimiento y supervivencia de *Litopenaeus vannamei*

Impact of stock density on the immune system, growth, and survival of *Litopenaeus vannamei*



Claro-De-los-Santos Raúl¹ , Arambul-Muñoz Eulalio² , Rodríguez-Olague Delia¹ , Peraza-Gomez Viridiana¹ , Escalera-Valente Francisco³ , Castillo-Vargasmachuca Sergio^{*1}

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias (Ciencias Pesqueras), Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Laboratorio de Bioingeniería Costera. San Blas, Nayarit, 63740, México. ²Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Km 107 Autopista Tijuana-Ensenada, C. P. 22860 Ensenada, Baja California, Mexico. ³Universidad Autónoma de Nayarit, Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias (Ciencias Zootécnicas y Veterinarias), Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela-Chapalilla Km 3.5 S/N CP. 63700. Autor de correspondencia: Sergio Gustavo Castillo-Vargasmachuca, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Laboratorio de Bioingeniería Costera. San Blas, Nayarit, 63740, México. E-mail: clarosantosraul@gmail.com, eulalio.arambul@uabc.edu.mx, delia_dro@hotmail.com, viridiana.peraza@uan.edu.mx, fescalera@uan.edu.mx, sergioc@uan.edu.mx

RESUMEN

El estudio evaluó los efectos de la densidad de población en la producción de hemocitos de *Litopenaeus vannamei*, así como su impacto en el crecimiento, condición y supervivencia en un cultivo con mínima reposición de agua. Se analizaron tres densidades (TA = 300, TB = 500, TC = 700 org m⁻³) durante 83 días. La calidad del agua se mantuvo dentro de rangos adecuados, sin embargo, las concentraciones de NO₂-N y NO₃-N fueron más altas en TC. Se observó que la tasa de crecimiento y supervivencia disminuyeron con el aumento de la densidad, donde TC es el más afectado. El número de hemocitos, incluye hialinos, semigranulares, granulares y totales, fue mayor en TC. Se encontró una alta correlación negativa entre el conteo de hemocitos y las concentraciones de NO₂-N, así como entre el peso-longitud del camarón y el conteo de hemocitos. Los resultados sugieren que una mayor densidad de población afecta negativamente la respuesta inmune del camarón, ya que incrementa el uso de las reservas de energía en procesos de homeostasis, lo que reduce su rendimiento productivo y el crecimiento.

Palabras clave: hemocitos, nitrato, calidad del agua, cultivo superintensivo, densidad de siembra.

ABSTRACT

The study evaluated the effects of population density on hemocyte production in the white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its impact on growth, condition, and survival in a culture system with minimal water exchange. Three densities (TA = 300, TB = 500, TC = 700 org m⁻³) were analyzed over 83 days. Water quality remained within suitable ranges, but NO₂-N and NO₃-N levels were higher in TC. Growth rates and survival decreased with increased density, particularly in TC, which also showed a higher number of hemocytes, including hyaline, semigranular, granular, and total hemocytes. A strong negative correlation was found between hemocyte count and NO₂-N concentrations, as well as between shrimp weight-length



and hemocyte count. The results suggest that higher population density negatively affects the shrimp's immune response by increasing the use of energy reserves for homeostasis, thereby reducing growth and overall productivity.

Keywords: hemocytes, nitrite, water quality, super-intensive culture, stocking density.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la producción mundial de camarón ha aumentado significativamente (FAO, 2020), impulsada por diversas estrategias que han mejorado la producción en los diferentes esquemas de cultivo para satisfacer la creciente demanda global (Hamilton *et al.*, 2018). Aunque la intensificación de la acuicultura ha presentado importantes retos, también ha creado oportunidades para optimizar la sostenibilidad y eficiencia en la producción. Una de estas estrategias clave ha sido el aumento de la densidad de siembra, lo que permite maximizar la productividad en los sistemas de cultivo.

A partir de esto se han realizado diversas investigaciones para determinar el efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y supervivencia en diferentes sistemas de cultivo, tal como RAS, Biofloc, Heterotróficos, entre otros, así como en diversos esquemas de manejo como: sustratos, adiciones de fuentes de carbón, recambios de agua, periodos de cultivo, maternidades, calidad del agua, composición microbiana en la columna de agua y sustratos, salinidades, entre otras (Tierney & Ray, 2018; Arambul *et al.*, 2019; Fleckenstein *et al.*, 2020; Tierney *et al.*, 2020; Zulkarnain *et al.*, 2020; Bardera *et al.*, 2021). Además, se han evaluado indicadores metabólicos e inmunológicos en camarones cultivados a distintas densidades de siembra (20, 50, 200 y 600 organismos/m⁻³) con resultados no concluyentes donde solo se observó una disminución en la actividad fenol oxidasa (Aguilar *et al.*, 2011). Por otro lado, Lin *et al.* (2015) describe que las densidades de 10 a 40 organismos/m⁻³ tienen un efecto negativo directamente en parámetros inmunes, tales como actividad fenol oxidasa, actividad respiratoria, estrés oxidativo, actividad lisozima, proteína en hemolinfa y el conteo de hemocitos.

Los crustáceos, al no poseer un sistema inmunológico adaptativo como el de otros organismos (Tassanakajon *et al.*, 2013; Flegel, 2019), son especialmente vulnerables a infecciones por patógenos. Además, se ha demostrado que el estrés y la pérdida de las condiciones óptimas necesarias para mantener la homeostasis agravan esta susceptibilidad, lo que afecta aún más su capacidad para resistir enfermedades y afectar negativamente la composición celular de los hemocitos (Hartinah *et al.*, 2017). Los hemocitos desempeñan un papel esencial en su sistema inmunológico, ya que llevan a cabo procesos de defensa celular y también son responsables de sintetizar y liberar diversos factores que apoyan la inmunidad humoral, proporcionan así una base material para las respuestas inmunes del organismo; sin embargo, su clasificación, maduración y diferenciación aún están en debate. Hasta la fecha, solo se ha reportado información discreta e inconsistente sobre la clasificación de los hemocitos del camarón (Koiwai *et al.*, 2021).

Los hemocitos, tradicionalmente son clasificados en tres tipos morfológicos según la tinción de sus gránulos intracelulares (Söderhäll & Smith, 1983; Johansson *et al.*, 2000)



y se dividen en hialinos, semigranulares y granulares. Más recientemente, estudios con secuenciación de ARN unicelular (scRNA-seq) con base en microfluidos han permitido analizar mejor sus funciones (Raddi *et al.*, 2020; Tattikota *et al.*, 2020). No obstante, la falta de genomas de referencia de alta calidad para los crustáceos, debido a la alta proporción de repeticiones de secuencias simples, dificultan esta investigación (Zhang *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de la densidad de siembra del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en la producción total (NTH) y diferencial de hemocitos (DH), así como determinar la correlación entre la producción de estos hemocitos y la calidad del agua. El estudio busca entender cómo diferentes densidades afectan el sistema inmune del camarón, con énfasis en los hemocitos, que son clave en su defensa inmunológica, y cómo estos cambios influyen en las condiciones ambientales y en la salud del cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería Costera, de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad de Nayarit, San Blas Nayarit, México (21°29'N, 105°12'W). Las postlarvas de camarón *L. vannamei* (PL 15) utilizadas fueron adquiridas del laboratorio comercial Acopio de Larvas y Asesoría en Proyectos S.A. de C.V. ubicado en Bahía Matanchén, San Blas, Nayarit. Las postlarvas de camarón tuvieron un peso inicial medio de 0.005 ± 0.002 g y fueron transferidas a los tanques experimentales de forma aleatoria para su aclimatación.

El diseño experimental consistió con tres densidades de siembra por sistema de cultivo experimental: 300 (TA); 500 (TB), 700 (TC) org m⁻³, con tres réplicas asignadas al azar. Los camarones se alimentaron cada dos horas mediante comederos con dieta comercial MaltaCleyton® (35 a 28 % de proteína bruta). La tasa de alimentación fue de 16 a 1.7 % de la biomasa, ajustada diariamente hasta el final del estudio, el cual tuvo una duración de 83 días.

Sistemas de cultivo experimental

Se utilizaron nueve estanques circulares de 1.5 m³ de capacidad máxima (microcosmos), revestidos de geomembrana. Cada estanque contó con aireación continua mediante cuatro difusores a una tasa de 29 mL s⁻¹. Los sistemas se llenaron con agua de mar filtrada (arena y carbón activado) a una salinidad de 35 mg L⁻¹. Durante el estudio, no hubo recambio de agua; solo se reponía la pérdida por evaporación con un 0.5 % semanal de agua de mar.

Calidad del agua

Durante el estudio, se registró la calidad del agua en los tanques experimentales. La concentración de oxígeno disuelto (OD; mg L⁻¹), la temperatura (°C), el pH y la salinidad (mg/L) se monitorearon cada dos horas con un equipo multiparámetro (modelo Pro-20,



YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (TAN mg L⁻¹), nitrito-N (NO₂-N mg L⁻¹), nitrato-N (NO₃-N mg L⁻¹), ortofosfato-P (PT mg L⁻¹) y la alcalinidad-CaCO₃ (mg L⁻¹) se midieron semanalmente, según los métodos descritos por la UNESCO (1983).

Desempeño de crecimiento

El desempeño de crecimiento de los camarones fue evaluado conforme a lo detallado por (Arambul-Muñoz *et al.*, 2019), quienes incluyen el cálculo de la ganancia en peso (GP), peso diario ganado (G/D), tasa específica de crecimiento (TEC), factor de conversión alimentaria (FCA), índice leptosomático (IH), factor de condición (FC) y Supervivencia (%S) el cual se determinó al final del experimento como la relación entre el número final y el número inicial de los camarones en cultivo, todos los parámetros se calcularon tal y como se detalla a continuación:

$$\begin{aligned}
 GP(g) &= \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)} \\
 G/D &= \frac{\text{Peso final (g)} * \text{Peso inicial (g)}}{\text{Días de cultivo}} \\
 TEC &= \frac{\text{Ln Peso final} - \text{Ln Peso inicial}}{t} * 100 \\
 FCA &= \frac{\text{Alimento seco ofertado}}{\text{Peso húmedo ganado}} \\
 IH(\%) &= \frac{\text{Peso del hepatopáncreas (g)}}{\text{Peso del camarón (g)}} * 100 \\
 FC(\%) &= \frac{\text{Peso final (g)}}{[\text{Longitud total (cm)}]^3} * 100 \\
 S(\%) &= \frac{Ti}{Tf} * 100
 \end{aligned}$$

Extracción de hemolinfa y conteo de hemocitos

A partir de la quinta semana del cultivo experimental se extrajo hemolinfa semanalmente a seis organismos por tratamiento, con jeringas estériles para insulina de 1 mL (0.3 mL 31Gx6mm) del seno hemolinfático ventral de los camarones, en la zona del segundo par de pleópodos. La jeringa se cargó con una solución isotónica (NaCl 450 mM, KCl 10 mM, Hepes 10 mM) para camarón y EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) como anticoagulante (EDTA-Na₂ 10 mM, pH 7.3, 850 mOsm/kg) previamente almacenado a 4°C (Vargas-Albores *et al.*, 1993), en una proporción 2:1 (2 volúmenes de SIC-EDTA por cada volumen extraído de hemolinfa). La muestra de hemolinfa se depositó en tubos estériles de 1.5 mL sobre hielo. Se tomaron 50 µL de la dilución 2:1 de SIC-EDTA-hemolinfa y se mezclaron con 150 µL (1:3 v/v) de una solución de formaldehído pre-enfriado al 4 %, para fijar los hemocitos. A partir de esta dilución se realizó el conteo total y diferencial por muestra utilizando una cámara Neubauer con una retícula de 0.01 mm bajo un microscopio óptico (VELAB®). La respuesta inmune del camarón se evaluó



mediante el conteo total de hemocitos de acuerdo a [Cabrera-Pérez et al. \(2019\)](#)

$$(CTH) \text{ (células/mL)} = (Hc * D * C) / 0.4$$

Donde:

Hc = Número total de hemocitos contados

D = Factor de dilución de la hemolinfa

C = Conversión del factor x 0.1 mm³ x mL (1000)

Análisis estadísticos

Se probó la normalidad y la homocedasticidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente, ahora bien, cuando $N < 50$, la normalidad se probó por Shapiro-Wilk. Tanto el conteo de hemocitos, calidad del agua y desempeño de crecimiento, se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos para cada una de las variables estudiadas, se realizó una prueba de Tukey. Cuando no cumplieron con los supuestos estadísticos de homocedasticidad y normalidad se realizó el análisis de varianza de una vía para datos no paramétricos de Kruskal-Wallis al 95 % de nivel de confianza. Además, se efectuó un análisis de correlación de Spearman entre el conteo de hemocitos, las variables de respuesta y la calidad del agua. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics V26® (Armonk, N.Y., EE. UU.).

Consideraciones éticas

La especie *L. vannamei*, no se encuentra en peligro de extinción o protegida y se cumplió con la Norma Oficial Mexicana: [NOM-062-ZOO-1999](#), la cual señala las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

RESULTADOS

Calidad del agua

La concentración de oxígeno disuelto (OD), la temperatura, el pH y la salinidad del agua, concentración de NAT, PT y CaCO₃, no mostraron ninguna diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las diferentes densidades de siembra (Tabla 1). Sin embargo, las mayores concentraciones de NO₂-N se registraron en la densidad TC, y se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre TC y los otros tratamientos. Las mayores concentraciones de NO₃-N se presentaron en los tratamientos TB y TC, sin diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos, pero si difirieron con la menor concentración registrada en el tratamiento TA. No obstante, todas las variables anteriormente descritas se encontraron dentro de los intervalos óptimos para la especie ([Boyd, 2019](#)).



Tabla 1. Variables fisicoquímicas de calidad del agua (Media $\pm$ Desv. Est.) en estanques utilizados para el cultivo de *L. vannamei* en diferentes densidades de siembra durante un periodo de 83 días

Variables	TA	TB	TC
T ($^{\circ}$ C)	31.73 $\pm$ 1.04	31.79 $\pm$ 1.00	31.68 $\pm$ 0.96
OD (mg L ⁻¹)	4.91 $\pm$ 0.52	4.81 $\pm$ 0.50	4.81 $\pm$ 0.51
pH	7.95 $\pm$ 0.14	7.96 $\pm$ 0.14	7.94 $\pm$ 0.16
Salinidad (mg L ⁻¹)	35.24 $\pm$ 0.97	34.93 $\pm$ 0.97	35.16 $\pm$ 0.98
NAT (mg L ⁻¹)	1.91 $\pm$ 1.48	2.26 $\pm$ 1.70	2.67 $\pm$ 1.72
NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	2.50 $\pm$ 0.30 ^c	4.55 $\pm$ 0.33 ^b	6.73 $\pm$ 0.41 ^a
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	11.46 $\pm$ 0.31 ^a	10.93 $\pm$ 0.46 ^b	10.98 $\pm$ 0.59 ^b
PT (mg L ⁻¹)	6.14 $\pm$ 2.50	6.05 $\pm$ 2.85	7.13 $\pm$ 2.49
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	116 $\pm$ 13.59	114.87 $\pm$ 18.95	112.72 $\pm$ 18.89

TA= 300 org m⁻³, TB=500 org m⁻³, TC=700 org m⁻³, Temperatura (T), Oxígeno disuelto (OD), Nitrógeno amoniacal total (NAT), Nitrito (NO₂-N), Nitrato (NO₃-N), Fósforo total (PT), Alcalinidad (CaCO₃).

Rendimiento del crecimiento de los camarones

Los camarones cultivados a menores densidades (TA) presentaron mejores rendimientos en peso final (10.06 $\pm$ 0.13), tasa específica de crecimiento (2.78 $\pm$ 0.01), ganancia diaria de peso (0.30 $\pm$ 0.03), índice hepatosomático (4.25 $\pm$ 0.39) y supervivencia (84.92 $\pm$ 1.98), encontrándose diferencias significativas (P<0.05) respecto a las otras dos mayores densidades de cultivo (TB y TC). El factor de conversión alimenticia y el factor de condición no presentaron diferencias significativas (P>0.05) entre las tres densidades de siembra. La mayor biomasa total se registró en la densidad intermedia (TB) (5.05 $\pm$ 0.29), lo que difiere significativamente (P<0.05) de las otras dos densidades de siembra (TA y TC) (Tabla 2).

Tabla 2. Desempeño de crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* cultivado en diferentes densidades durante un periodo de 83 días (Media $\pm$ Desv. Est.)

Variables	Tratamiento		
	Media $\pm$ Desv. Est.		
	TA	TB	TC
PF (g)	10.06 $\pm$ 0.13 ^a	8.43 $\pm$ 0.47 ^b	5.44 $\pm$ 0.20 ^c
FCA	1.33 $\pm$ 0.10	1.15 $\pm$ 0.01	1.36 $\pm$ 0.02
TCE (% d ⁻¹)	2.78 $\pm$ 0.01 ^a	2.56 $\pm$ 0.06 ^b	1.99 $\pm$ 0.09 ^c
Biomasa total (Kg tanque ⁻¹)	3.91 $\pm$ 0.21 ^b	5.05 $\pm$ 0.29 ^a	4.23 $\pm$ 0.27 ^b
PG (g d ⁻¹)	0.30 $\pm$ 0.03 ^a	0.19 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.11 $\pm$ 0.01 ^b
IH (%)	4.25 $\pm$ 0.29 ^a	3.91 $\pm$ 0.11 ^a	2.62 $\pm$ 0.16 ^b
FC (%)	0.61 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.05	0.68 $\pm$ 0.09
Supervivencia (%)	84.92 $\pm$ 1.98 ^a	80.06 $\pm$ 0.44 ^b	74 $\pm$ 2.00 ^c

TA= 300 org m⁻³, TB= 500 org m⁻³, TC= 700 org m⁻³. Peso final (PF), Factor de conversión alimenticia (FCA), Tasa de crecimiento específica (TCE), Peso ganado por día (PG), índice leptosomático (IH), Factor de condición (FC).



Conteo de hemocitos

La concentración de hemocitos HH en los camarones cultivados fueron similares entre las diferentes densidades de siembra, con una concentración $< 20,000 \text{ cel mL}^{-1}$, en cambio, los camarones cultivados a la mayor densidad de siembra (TC) presentaron las mayores concentraciones de SGH ($77,401.44 \pm 4,041.63$), GH ($73,541.48 \pm 1,833.52$) y TH ($161,194.81 \pm 5,451.04$) lo que difiere significativamente ($P < 0.05$) de las concentraciones obtenidas en camarones cultivados en las otras dos densidades menores de siembra (TA y TB) (Figura 1).

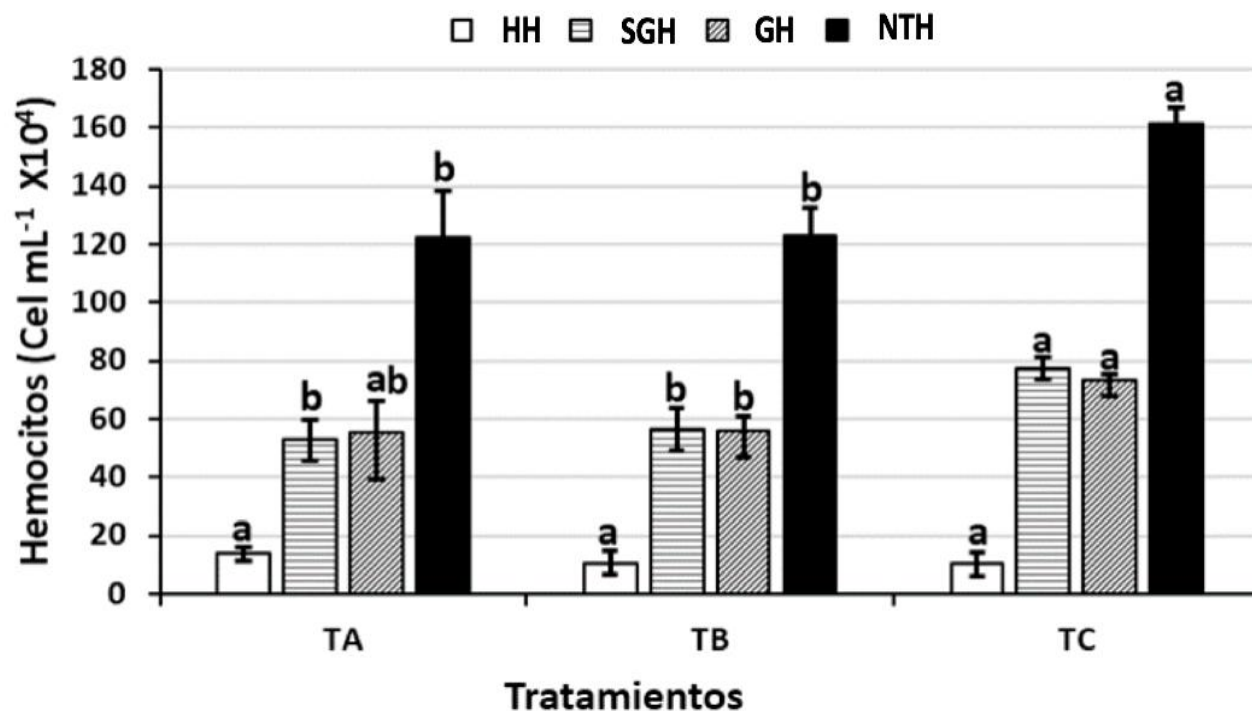


Figura 1. Relación del número de hemocitos (células mL⁻¹) de camarón blanco juvenil cultivado a diferentes densidades de siembra. TA= 300 org m⁻³, TB= 500 org m⁻³, TC= 700 org m⁻³. HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= Número total de hemocitos.

En los estanques con menores densidades de siembra (TA) se observó una correlación negativa entre la concentración de NO₂-N en el agua y la concentración de hemocitos HH, SGH y NTH en los camarones cultivados NTH ($P < 0.05$). En cambio, en los estanques con mayores densidades de siembra (TC) solo se observó una correlación negativa con los hemocitos HH y NTH, mientras que en los estanques con densidades medias (TB) la correlación negativa solo se observó con los hemocitos HH.



Tabla 3. Correlación de Spearman ($P < 0.05$) entre el número de hemocitos (HH, SGH, GH, NTH) y concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ en diferentes densidades de siembra de camarón blanco *L. vannamei* durante 83 días de cultivo

Tratamiento	NO_2		
	TA	TB	TC
HH	-0.987**	-0.937**	-0.955**
SGH	-0.472	-0.078	0.063
GH	-0.822**	-0.018	-0.024
NTH	-0.895**	-0.475	-0.671*

TA= 300 org m^{-3} , TB= 500 org m^{-3} , TC= 700 org m^{-3} . $\text{NO}_2\text{-N}$ = nitrito. HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= número total de hemocitos. *. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral). **. La correlación es muy significativa en el nivel de 0.05 (bilateral).

Se observó correlación negativa ($P < 0.01$) entre la longitud y peso de los camarones cultivados y su concentración de hemocitos HH, SGH, GH y NTH.

Tabla 4. Correlación de Spearman ($P < 0.05$) entre el número de hemocitos (HH, SGH, GH, NTH) y el crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* durante un periodo de 83 días

Crecimiento	HH	SGH	HG	NTH
Peso	-.646**	-.422*	-.478*	-.596**
Longitud	-.622**	-.440*	-.504**	-.620**

HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= número total de hemocitos. *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral). **La correlación es muy significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

DISCUSIÓN

La calidad del agua del cultivo de camarón a diferentes densidades de siembra durante el periodo de 83 días, se mantuvo dentro del intervalo adecuado para el crecimiento y supervivencia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boyd, 2019; Zahraie et al., 2019; Martins et al., 2020), no obstante las concentraciones de $\text{NO}_2\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ tuvieron un incremento considerable más allá de los niveles óptimos de la especie (Boyd, 2019), debido a la acumulación de materia orgánica sedimentada y en suspensión en los sistemas de cultivo (Avnimelech, 2006; Avnimelech, 2009), aunado a esto, el mínimo recambio de agua, la exposición prolongada a las altas densidades de cultivo de los camarones y la alta dependencia de la comunidad bacteriana, permitieron que las concentraciones de estos compuestos nitrogenados se incrementaran (Arámbul et al., 2019; Tierney et al., 2020; Ray & Rode, 2021).

El rendimiento de los camarones fue significativamente mayor en el tratamiento de menor densidad (TA), por lo que se infiere que existe una fuerte influencia por la densidad de siembra en el desarrollo de los organismos cultivados. Al respecto, Sharawy et al., 2020, mencionan que las altas densidades de siembra afectan directamente los indicadores productivos debido a: la limitación de espacio, la competencia por alimento, acumulación



de sedimentos y sustancias tóxicas (como NO₂-N) y proliferación de comunidades bacterianas.

Estos factores disminuyeron la supervivencia, así como la tasa de crecimiento al incrementar de la densidad de siembra, sin embargo, la biomasa máxima se registró en la densidad de siembra intermedia (TB), como resultado del balance entre supervivencia, peso final y densidad de siembra (TB). El sistema inmune de *L. vannamei*, principalmente los procesos de fagocitosis y la producción de melanina (Amparyup *et al.*, 2013), puede ser evaluado indirectamente por el conteo de hemocitos. Los resultados de la presente investigación muestran que la exposición crónica al estrés por la alta densidad de siembra aumento el número total de hemocitos respecto a camarones sin estrés, coincidiendo con lo reportado por Sharawy *et al.*, 2020. Los hemocitos (células circundantes de la hemolinfa) y el hepatopáncreas constituyen los componentes clave en la respuesta al estrés por compuestos nitrogenados en el camarón, cumpliendo funciones esenciales en metabolismo, desintoxicación y defensa inmunológica (Liang *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2020). A diferencia de lo reportado por Pinto *et al.* (2016) donde sus resultados presentaron una reducción en NTH durante estrés crónico por nitrógeno, nuestro estudio mostró un incremento significativo en el NTH correlacionado positivamente con la densidad de siembra.

Hartina *et al.* (2017) demostraron que juveniles de *Penaeus monodon*, experimentan un período crítico de 36 horas de estrés intenso cuando se cultivan a densidades mayores de 60 camarones/m². Los organismos que superan este período muestran una mayor actividad motora, alimenticia y aumento de hemocitos en la hemolinfa, indicando adaptación exitosa. Nuestros resultados son consistentes con este patrón, ya que después de 83 días de exposición a altas densidades de siembra, el NTH aumentó significativamente, este incremento en el NTH sugiere un buen estado inmunológico en los camarones adaptados como lo reportado por Hartina *et al.* (2017).

Se observó una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) entre el conteo total de hemocitos y las concentraciones de NO₂-N en todos los tratamientos, derivado de la respuesta inmune a las altas densidades y como estrategia de aumentar la resistencia defensiva de los organismos contra gradientes ambientales externos (Perazzolo *et al.*, 2002; Hartina *et al.*, 2017). En la presente investigación los intervalos de NO₂-N sobrepasaron los máximos permisibles (0.4 a 0.8 mgL⁻¹) para la especie (Boyd, 1998; Avnimelech & Ritvo, 2003), además esas concentraciones se mantuvieron por largos periodos de tiempo, lo que posiblemente ocasionó las bajas supervivencias y que los pesos finales fueran afectados significativamente. Adicionalmente se correlacionó el peso y la longitud final de los organismos con el número total de hemocitos, los resultados evidencian una alta correlación negativa entre las variables evaluadas y el número de hemocitos, lo cual se ve reflejado en el índice hepatosomático, pero no en el factor de condición.



Se recomienda que, en futuras investigaciones se trabaje sobre el efecto de las densidades de siembra en la respuesta inmune del camarón, con énfasis al análisis molecular del hepatopáncreas, para definir expresión génica al estrés temprano.

CONCLUSIÓN

Se concluye que la densidad de siembra en cultivos superintensivos de camarón con mínimo recambio de agua influye significativamente en la fisiología del camarón. Si bien se observa un efecto negativo en la proliferación de hemocitos, estrés y una menor tasa de crecimiento individual, la alta densidad permite alcanzar una mayor biomasa total de cosecha. Esto sugiere que, aunque los camarones priorizan la homeostasis en detrimento del crecimiento individual, la producción total se maximiza. Estos resultados subrayan la necesidad de optimizar las densidades de siembra y las condiciones de cultivo, donde se considere tanto el crecimiento individual como la biomasa total, para garantizar la salud y la productividad del camarón en sistemas superintensivos.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR V, Racotta IS, Goytortúa E, Wille M, Sorgeloos P, Civera R, Palacios E. 2011. The influence of dietary arachidonic acid on the immune response and performance of Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at high stocking density. *Aquaculture Nutrition*. 18(3):258-271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00892.x>
- AMPARYUP P, Charoensapsri W, Tassanakajon A. 2013. Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 34(4):990-1001. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.08.019>
- ARAMBUL-MUÑOZ E, Ponce-Palafox JT, Claro De Los Santos R, Aragón-Noriega EA, Rodríguez-Domínguez G, Castillo-Vargasmachuca SG. 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. <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue3-fulltext-7>
- AVNIMELECH Y. 2006. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*. 34(3):172-178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>
- AVNIMELECH Y. 2009. Biofloc technology: A practical guide book. *World Aquaculture Society*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113266301>
- BARDERA G, Owen MA, Façanha FN, Alcaraz-Calero JM, Alexander ME, Sloman KA. 2021. The influence of density and dominance on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding behaviour. *Aquaculture*. 531:735949. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735949>



BOYD CE. 1998. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. <http://hdl.handle.net/11200/49690>

BOYD CE. 2019. Water quality: An introduction springer nature Switzerland AG. Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>

CABRERA E, Marcelo Z, Reyes W, Azañero C. 2019. Efecto de dietas con alta concentración de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la proliferación de hemocitos en camarones *Cryphiops caementarius* machos. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 30 (3): 1057-1067. ISSN: 1609-9117. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i3.16733>

CAMPA-CÓRDOVA AI, Hernández-Saavedra NY, De Philippis R, Ascencio F. 2002. Generation of superoxide anion and SOD activity in haemocytes and muscle of American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response to β -glucan and sulphated polysaccharide. *Fish & Shellfish Immunology*. 12(4):353-366. <https://doi.org/10.1006/fsim.2001.0377>

DIREKBUSARAKOM S, Danayadol Y. 1998. Effect of oxygen depletion on some parameters of the immune system in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*): 147-149 In: *Advances in shrimp biotechnology*. BIOTEC The National Center for Genetic Engineering and Biotechnology Thailand. <https://www.slideshare.net/lichlinhlam/advances-in-shrimp-biotechnology>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. La sostenibilidad en acción. Roma, Italia. *Organización de las Naciones Unidas*. ISBN 978-92-5-132756-2. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

FLECKENSTEIN LJ, Kring NA, Tierney TW, Fisk JC, Lawson BC, Ray AJ. 2020. The effects of artificial substrate and stocking density on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) performance and water quality dynamics in high tunnel-based biofloc systems. *Aquacultural Engineering*. 90:102093. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102093>

FLEGEL TW. 2019. A future vision for disease control in shrimp aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*. 50(2):249-266. <https://doi.org/10.1111/jwas.12589>

HAMILTON KA, Chen A, Johnson EDG, Gitter A, Kozak S, Niquice C, Gurian PL. 2018. Salmonella risks due to consumption of aquaculture-produced shrimp. *Microbial Risk Analysis*. 9:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2018.04.001>

HARTINAH T, La Paturusi LP, Ratsanari R, Rimal H, Dahlia D, Rustam R. 2017. Performance of total haemocyte count and survival rate the tiger prawn *Penaeus monodon* fabricius Juvenile Rearing at High Density. *Aquacultura Indonesia*. 18(1):9-14. <http://aquasiana.org/index.php/ai/article/view/77>



- HOSE JE, Cross JN, Smith SG, Diehl D. 1987. Elevated circulating erythrocyte micronuclei in fishes from contaminated sites off southern California. *Marine Environmental Research*. 22(3):167-176. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(87\)90034-1](https://doi.org/10.1016/0141-1136(87)90034-1)
- JOHANSSON MW, Keyser P, Sritunyalucksana K, Söderhäll K. 2000. Crustacean haemocytes and haematopoiesis. *Aquaculture*. 191:45–52. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00418-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00418-X)
- KOIWAI K, Koyama T, Tsuda S, Toyoda A, Kikuchi K, Suzuki H, Kawano R. 2021. Single-cell RNA-seq analysis reveals penaeid shrimp hemocyte subpopulations and cell differentiation process. *eLife*, 10, e66954. <https://doi.org/10.7554/eLife.66954>
- LIANG Z, Liu R, Zhao D, Wang L, Sun M, Wang M, Song L. 2016. Ammonia exposure induces oxidative stress, endoplasmic reticulum stress and apoptosis in hepatopancreas of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Fish & shellfish immunology*. 54:523-528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.009>
- LIN YC, Chen JC, Chen YY, Yeh ST, Chen LL, Huang CL, Li CC. 2015. Crowding of white shrimp *Litopenaeus vananmei* depresses their immunity to and resistance against *Vibrio alginolyticus* and white spot syndrome virus. *Fish & Shellfish Immunology*. 45(1):104-111. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.02.012>
- MARTINS MA, Poli MA, Legarda EC, Pinheiro IC, Carneiro RFS, Pereira SA, do Nascimento Vieira F. 2020. Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. *Aquaculture*. 514:734517. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734517>
- NOM (Norma Oficial Mexicana, NOM-062-ZOO-1999). 1999. de especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=764738&fecha=18/06/2001
- PERAZZOLO LM, Gargioni R, Ogliari P, Barracco MA. 2002. Evaluation of some hemato-immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress. *Aquaculture*. 214(1-4):19-33. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00137-0)
- PINTO MR, Lucena MN, Faleiros RO, Almeida EA, McNamara JC, Leone FA. 2016. Effects of ammonia stress in the Amazon river shrimp *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae). *Aquatic Toxicology*. 170:13-23. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.10.021>
- RADDI G, Barletta ABF, Efremova M, Ramirez JL, Cantera R, Teichmann SA, Barillas-Mury C, Billker O. 2020. Mosquito cellular immunity at single-cell resolution. *Science*. 369:1128–1132. <https://doi.org/10.1126/science.abc0322>



RAY AJ, Rode R. 2021. Small-scale, year-round shrimp farming in temperate climates. North Central Regional Aquaculture Center. *Aquaculture Magazine*. 1-12.
<https://store.extension.iastate.edu/product/16228>

SHARAWY ZZ, Abbas EM, Abdelkhalek NK, Ashry OA, Abd El-Fattah LS, El-Sawy MA, El-Haroun E. 2022. Effect of organic carbon source and stocking densities on growth indices, water microflora, and immune-related genes expression of *Litopenaeus vannamei* Larvae in intensive culture. *Aquaculture*. 546:737397.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737397>

SHARAWY ZZ, Ashour M, Abbas E, Ashry O, Helal M, Nazmi H, Goda A. 2020. Effects of dietary marine microalgae, *Tetraselmis suecica*, on production, gene expression, protein markers and bacterial count of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*. 51(6):2216-2228. <https://doi.org/10.1111/are.14566>

SÖDERHÄLL K, Smith VJ. 1983. Separation of the haemocyte populations of *Carcinus maenas* and other marine decapods, and prophenoloxidase distribution. *Developmental & Comparative Immunology*. 7:229–239. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(83\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0145-305X(83)90004-6)

TASSANAKAJON A, Somboonwiwat K, Supungul P, Tang S. 2013. Discovery of immune molecules and their crucial functions in shrimp immunity. *Fish & shellfish immunology*. 34(4):954-967. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.09.021>

TATTIKOTA SG, Cho B, Liu Y, Hu Y, Barrera V, Steinbaugh MJ, Yoon S-H, Comjean A, Li F, Dervis F, Hung R-J, Nam J-W, Ho SS, Shim J, Perrimon N. 2020. A single-cell survey of *Drosophila* blood. *eLife*. 9:e54818. <https://doi.org/10.7554/eLife.54818>

TIERNEY TW, Ray AJ. 2018. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid nursery systems (Part I): Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and stable isotope dynamics. *Aquacultural Engineering*. 82:73-79.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.06.002>

TIERNEY TW, Fleckenstein LJ, Ray AJ. 2020. The effects of density and artificial substrate on intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* nursery production. *Aquacultural Engineering*. 89:102063. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102063>

UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization). 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual and Guides* 12. Paris, France. Pp. 53.
<https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/87>

VARGAS-ALBORES F, Guzmán MA, Ochoa JL. 1993. An anticoagulant solution for haemolymph collection and prophenoloxidase studies of penaeid shrimp (*Penaeus californiensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 106(2): 299-303. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(93\)90516-7](https://doi.org/10.1016/0300-9629(93)90516-7)



ZAHRAIE B, Szidarovszky F, Karamouz M. 2019. Water quality management. In: Samocha TM. (1st. Ed.), Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp. *Elsevier B.V.* ISBN: 9780128180402. Pp. 133-151. <https://www.elsevier.com/books/sustainable-biofloc-systems-for-marine-shrimp/samocha/978-0-12-818040-2>

ZHANG X, Yuan J, Sun Y, Li S, Gao Y, Yu Y, Liu C, Wang Q, Lv X, Zhang X, Ma KY, Wang X, Lin W, Wang L, Zhu X. Zhang C, Zhang J, Jin S, Yu K, Kong J, Xu P, Chen J, Zhang H, Sorgeloos P, Sagi A, Alcivar-Warren A, Liu Z, Wang L, Ruan J, Chu KH, Liu B, Li F, Xiang J. 2019. Penaeid shrimp genome provides insights into benthic adaptation and frequent molting. *Nature Communications*. 10:356. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08197-4>

ZHAO M, Yao, D, Li S, Zhang Y, Aweya JJ. 2020. Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: a review. *Reviews in Aquaculture*. 12(4):2194-2211. <https://doi.org/10.1111/raq.12429>

ZULKARNAIN R, Adiyana K, Nugroho H, Nugraha B, Thesiana L, Supriyono E. 2020. Selection of intensive shrimp farming technology for small farmers with analytical hierarchy process: A case for whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 404(1):12-17. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/404/1/012017>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>