

# ENSAYO PARA EL CULTIVO DEL CAMARÓN MARINO *LITOPENAEUS VANNAMEI* PÉREZ-FARFANTE Y KENSLEY, 1997, A BAJA SALINIDAD EN LA ESTACIÓN DEL MARIEL

Javier Eduardo Cabrera Machado, Barbarito Jaime Ceballos y José Galindo López  
Centro de Investigaciones Pesqueras. MINAL.

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* a baja salinidad, se ensayaron diferentes modificaciones del agua de pozo de una localidad cercana al río Mosquito (Mariel, La Habana, Cuba), previo análisis de su composición iónica. Se desarrolló un diseño completamente aleatorizado a escala de laboratorio, durante 14 días, utilizando postlarvas (PL<sub>20</sub>). Al agua se le realizaron las siguientes modificaciones: I) agua de pozo + sal bruta + sulfato de magnesio + cloruro de potasio, II) agua de pozo + sal bruta, III) agua de pozo + sal bruta + cloruro de potasio + sulfato de potasio, IV) agua de pozo + sal bruta + sulfato de magnesio, V) agua de pozo + sal bruta + cloruro de potasio, y como control VI) agua de pozo + agua de mar (hasta 2 ups). El agua de pozo presentó relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  menores que las del agua de mar. La supervivencia fue significativamente más baja ( $P < 0,05$ ) en los tratamientos donde la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  fue semejante a la reportada para el agua de mar, así como en el que se añadió sólo sal bruta, en contraste con aquellos en los que la razón  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  fue similar o inferior a la encontrada para el agua de mar. El incremento de la biomasa normalizada (IBN) fue mayor en los tratamientos en los cuales el potasio quedó en exceso o complementado con respecto al sodio.

*Palabras claves:* *Litopenaeus vannamei*, composición iónica, baja salinidad, cultivo.

## INTRODUCCIÓN

El camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei* Pérez-Farfante y Kensley, 1997 (Decapoda, Penaeidae) es la especie de camarón más cultivada en el hemisferio occidental (Davis *et al.*, 2004) y, debido a su alta tolerancia a la baja salinidad, constituye un excelente candidato para ser cultivado en aguas continentales (Saoud *et al.*, 2003). Sin embargo, la exposición a bajas salinidades produce un estrés fisiológico y bioquímico en el animal, que se evidencia en la alteración de la actividad del sistema enzimático de la fenoloxidasas (Jaime Ceballos *et al.*, 2008), así como en otros sistemas más estrechamente relacionados con la función osmorreguladora, como el de la anhidrasa carbónica (Roy *et al.*, 2007a) y el de la ATPasa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (Lucu y Towle, 2003). Se conoce que los camarones requieren de una concentración mínima en el agua de los aniones (bicarbonatos, sulfatos y cloruros) y de los cationes (calcio, magnesio, potasio y sodio) más importantes (Boyd *et al.*, 2002). No obstante, el cultivo de *L. vannamei* ha sido posible a salinidades tan bajas como 0,7 ups (Green, 2008), y tanto en el proceso de aclimatación como en el crecimiento, la composición y proporciones iónicas del agua parecen ser más importantes que la salinidad, en su efecto sobre la supervivencia de los animales (Saoud *et al.*, 2003; Balbi *et al.*, 2005). Se ha demostrado que el desequilibrio en las proporciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  limitan la supervivencia y el crecimiento del camarón (Davis *et al.*, 2005). Tanto el  $\text{K}^+$  como el  $\text{Mg}^{2+}$  son iones esenciales para el mantenimiento de la capacidad osmorreguladora en los crustáceos (Péqueux, 1995). La modificación del perfil iónico del agua de pozo con baja salinidad, deficiente en  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , mediante el empleo de sales y/o fertilizantes comerciales que aportan dichos iones, ha mostrado un efecto benéfico sobre la supervivencia y el crecimiento de las postlarvas de *L. vannamei* (Davis *et al.*, 2002 y 2005).

El cultivo de *L. vannamei* a baja salinidad constituye una alternativa factible en aquellas áreas alejadas del mar. Sin embargo, no todas las aguas con baja salinidad son idóneas para el cultivo tierra adentro, pues el perfil iónico varía incluso para un mismo acuífero, y con frecuencia difiere del patrón típico del agua de mar (Saoud *et al.*, 2003). De ahí que sea necesario hacer un análisis particular cada vez que se desea realizar el cultivo exitoso de *L. vannamei* a baja salinidad. En Cuba, son muy escasas las investigaciones realizadas al respecto, en contraste con otros países, en los que actualmente se buscan nuevos métodos para optimizarla. Por ello, el presente estudio tiene por objetivo evaluar la supervivencia y el crecimiento del camarón marino *L. vannamei* cultivado en agua de pozo de una localidad cercana al río Mosquito (Mariel, La Habana, Cuba), cuyo perfil iónico ha sido modificado, previo análisis del mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental

Se realizaron seis modificaciones al agua de pozo (tabla 1) previo análisis de su composición iónica. Para dichas modificaciones se empleó sal bruta y fertilizantes comerciales como fuente de potasio o de magnesio (tabla 2), en dependencia del tratamiento, con el objetivo de imitar la relación sodio/potasio y/o magnesio/calcio del agua de mar, así como para elevar la salinidad del agua de pozo hasta 2-3 ups, de acuerdo a lo sugerido por Davis *et al.* (2004). Se establecieron tres réplicas por tratamiento, para un total 18 unidades experimentales distribuidas completamente al azar mediante el uso de una tabla de números aleatorios.

Tabla 1. Características de los tratamientos aplicados en el ensayo del cultivo a baja salinidad de *L. vannamei*

Tratamientos	Características	Objetivo
T 1	agua de pozo + sal bruta + sulfato de magnesio + cloruro de potasio	Complemento de potasio y magnesio
T 2	agua de pozo + sal bruta	Déficit de potasio y magnesio
T 3	agua de pozo + sal bruta + cloruro de potasio + sulfato de potasio	Exceso de potasio
T 4	agua de pozo + sal bruta + sulfato de magnesio	Complemento de magnesio
T 5	agua de pozo + sal bruta + cloruro de potasio	Complemento de potasio
T 6	agua de pozo + agua de mar	Control

Tabla 2. Características de los tres fertilizantes químicos empleados (Davis *et al.*, 2004)

Fertilizante	Fórmula	Nombre comercial	Composición química
Cloruro de potasio	KCl	Muriato de potasio	50%K; 45%Cl
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	41,5% K; 50,9%SO <sub>4</sub>
Sulfato de magnesio heptahidratado	MgSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	Sal de Epsom	10% Mg; 39% SO <sub>4</sub>

### Condiciones del cultivo

#### Fase I: Recepción, mantenimiento y distribución de las postlarvas

Se trasladaron aproximadamente 3 000 postlarvas de 10 días de edad (PL-10) de camarón blanco del Pacífico *L. vannamei*, provenientes de un criadero comercial (YAGUACAM, Cienfuegos, Cuba). Los animales se mantuvieron en un tanque de 500 L con agua de mar (38 ups) y aireación constante, mediante un soplador

trifásico (Sweetwater® de 4-5 HP), y una piedra difusora que descansaba en el fondo del tanque. La alimentación de las PL se realizó según el esquema descrito en la tabla 3. Transcurrida una semana, se colocaron 1440 PL-17 en 18 tanquetas de 10 L de capacidad, que contenían 8 L de agua de mar (38 ups) con aireación constante. La distribución de las PL se llevó a cabo aleatoriamente hasta completar 80 PL/tanqueta.

*Fase II: Aclimatación de las postlarvas a la baja salinidad*

Al día siguiente comenzó la aclimatación de las PL-18 a la baja salinidad en tres etapas: I) dilución del agua de mar (38 ups) con el agua potable (0,4 ups) procedente de un pozo ubicado en una localidad cercana al río Mosquito (Mariel, La Habana, Cuba), hasta alcanzar 10 ups de salinidad, a razón de 1 ups/h; II) diluyendo el agua a 10 ups hasta 4 ups con el agua de pozo modificada correspondiente a cada tratamiento (ver tabla I), a razón de 0,5 ups/h; y III) diluyendo el agua a 4 ups hasta 2-3 ups con el agua de pozo modificada correspondiente a cada tratamiento (tabla I), a razón de 0,25 ups/h. Para el ajuste de la salinidad se emplearon las fórmulas empleadas por (Jaime Ceballos *et al.*, 2008). Durante este período (48 h), las PL fueron alimentadas dos veces/día (tabla 3), el volumen de las tanquetas se mantuvo constante, y la salinidad se chequeó cada una hora con un refractómetro ATAGO® modelo 2401 de 0,01 ups de precisión. Concluida la aclimatación, se agregó vitamina C (1 mg/L) y EDTA (10 mg/L) a cada tanqueta para mejorar la calidad del agua.

*Fase III: Mantenimiento de las postlarvas en el agua con baja salinidad*

En esta etapa (14 días), la alimentación de los animales se llevó a cabo teniendo en cuenta el crecimiento de los mismos (ver tabla 3). La limpieza y el intercambio del 50 % del volumen de cada tanqueta se realizaron diariamente en la mañana antes de la primera alimentación. Las variables físico-químicas del agua se midieron tres veces al día (9 am, 3pm y 9 pm). La temperatura y el oxígeno disuelto (OD) se midieron con un oxímetro YSI 550A (Yellow Springs Instrument, Yellow Springs, OH, USA), y el pH con un pHímetro pH 340i (WTW 82362, Wellheim, Alemania). La temperatura se mantuvo en  $24,9 \pm 0,3$  °C, el OD de  $4,30 \pm 0,04$  mg/L, y el pH en  $8,03 \pm 0,02$ . La supervivencia fue inspeccionada visualmente cada día, y se tomó como criterio para el desmontaje de un tratamiento, la observación de una mortalidad de más del 50 % de los animales sembrados. Al final del ensayo, se midió el peso (mg) y el largo total (longitud en mm desde el límite anterior del cefalotórax hasta el límite posterior de los urópodos), de 90 PL por tratamiento, y se contó el número de camarones que quedaron vivos por recipiente.

Tabla 3. Esquema y horarios de alimentación de las postlarvas durante las tres fases de trabajo del experimento.

Horarios	Tipo de alimento	Fase del experimento	Ración
9 am	ABM 400µ® (Aquafauna Bio-Marine Inc.)	Fase I	1 mg/L
		Fase II	
		Fase III	1-5 mg/L
3pm	Nauplios de Artemia (INVE®)	Fase I	5 nauplios/PL
		Fase III	5-8 nauplios/PL
9pm	Flake de Artemia® (Aquafauna Bio-Marine Inc.)	Fase I	1 mg/L
		Fase II	
		Fase III	1-5 mg/L

**Análisis de la composición iónica de las aguas**

Los análisis de agua realizados para determinar la composición iónica del agua de pozo, del agua de mar, de la sal bruta empleada (10 g de sal bruta disueltos en 1 L de agua desionizada), y del agua de cada tratamiento

(tabla I), se llevaron a cabo por la UEB-ENAST (Empresa de Análisis y Servicios Técnicos, Ciudad de La Habana, Cuba). Las muestras fueron analizadas de acuerdo al protocolo recomendado por SMWW (1998) como sigue: Calcio (SMWW 3500B Método de valoración con EDTA); Magnesio (SMWW 3500B Método de cálculo); Sodio (SMWW 3500B Método fotométrico de emisión con llama); Potasio (SMWW 3500B Método fotométrico de emisión con llama); Cloruro (SMWW 4500B Método Argentométrico); Carbonato (SMWW 2320B Método de valoración); Hidrogenocarbonato (SMWW 2320B Método de valoración); Sulfato (NC 93-01-118:87 Método turbidimétrico); Alcalinidad total (SMWW 2320B Método de valoración) y Dureza total (SMWW 2340B, C Método de cálculo y Método de valoración con EDTA). Los resultados de estos análisis se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Composición iónica de las aguas de los tratamientos, del agua de mar del agua de pozo y de la sal bruta empleada (mg/L)

Iones	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Sal bruta	Agua potable	Agua de mar
Calcio	64	60	68	68	64	70	33	55	416
Magnesio	224	31	34	236	32	89	10	23	1336
Sodio	679	675	679	679	676	623	4172	39	11213
Potasio	21	13	91	12	23	19	4	2,4	344
Carbonato	0	0	0	0	0	15	0	18	27
Bicarbonato	290	275	281	287	281	247	31	238	119
Cloruro	1216	1191	1242	1178	1221	1179	6568	34	21100
Sulfato	595	44	164	597	41	178	79	28,9	3101
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	1096	277	310	1059	349	545	122	235	7927
Alcalinidad total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	235	225	230	235	215	5	1	5	88
Salinidad (ups)	3,1	2,4	2,4	3,0	2,2	2,4	10,9	0,4	38,1
<b>Relaciones iónicas</b>									
Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	33	54	7	55	29	33	1192	16	33
Mg <sup>2+</sup> /Ca <sup>2+</sup>	4	1	1	3	1	1	0,3	0,4	3
Ca <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup>	3	5	1	6	3	4	9	23	1

### Procesamiento estadístico

Los datos de peso final y largo total final fueron procesados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, previa determinación de la normalidad (Prueba Kolmogorov-Smirnov), y de la homogeneidad de varianzas (Prueba de Levene). Se determinó el incremento de la biomasa normalizada (IBN) de cada tratamiento, de acuerdo a Conklin *et al.* (1975), así como el factor de conversión del alimento (FCA). Los valores de IBN y de FCA, se compararon respectivamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) paramétrico de clasificación simple, al cumplirse la normalidad y la homogeneidad de varianzas; para determinar las diferencias entre los tratamientos, se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Se comparó la supervivencia mediante la prueba de chi cuadrado. En todas las pruebas estadísticas el nivel de significación fue de 0,05. El manejo estadístico de los datos fue hecho con el programa Sigma Stat 3.11.

### RESULTADOS

El peso y el largo total final no se diferenciaron ( $P > 0,05$ ) entre las variantes del ensayo con agua de pozo de Mariel (tabla 5). De igual forma, la ganancia en peso y la tasa de crecimiento específico fueron muy similares

entre los tratamientos aplicados. No fue posible establecer una comparación entre el crecimiento de la cuarta variante y el resto, pues los bioindicadores del mismo solo se reportan en este tratamiento hasta el sexto día de ensayo, debido a una alta mortalidad (> 50 %) de los animales.

Tabla 5. Valores de las medianas de los pesos y largos totales iniciales y finales, ganancias en peso (mg) y tasas de crecimiento específico (TCE;) de las postlarvas (PL-20) cultivadas durante 14 días en agua de pozo de Mariel con diferentes modificaciones iónicas

	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Peso inicial (mg)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Peso final (mg)	28,7 <sup>a</sup>	28,3 <sup>a</sup>	29,5 <sup>a</sup>	9,5 <sup>r</sup>	28,7 <sup>a</sup>	28,5 <sup>a</sup>
Ganancia en peso (mg)	19,7	19,6	20,6	0,8 <sup>*</sup>	21,6	19,7
TCE (%/día)	14	14	15	2 <sup>*</sup>	15	14
Largo total inicial (mm)	10	10	10	10	10	10
Largo total final (mm)	16 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	11 <sup>*</sup>	17 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>

\*Estos datos se reportan para el sexto día del ensayo.

El IBN fue menor y significativamente diferente ( $P > 0,05$ ) del resto de los tratamientos, en aquella variante en la que sólo se empleó sal bruta para modificar el agua de pozo del Mariel (fig. 1).

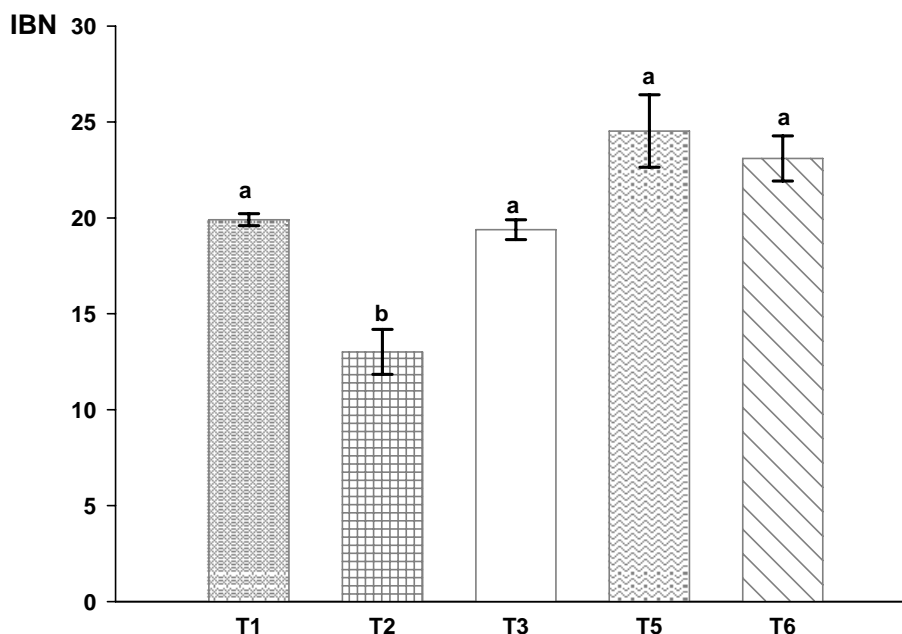


Figura 1. Comportamiento del incremento de la biomasa normalizada (IBN) en las seis modificaciones iónicas realizadas al agua de pozo de Mariel. Cada valor representa la media  $\pm$  Error estándar,  $n = 3$ .

Los mayores porcentajes de supervivencia se obtuvieron en los tratamientos 1, 5, 6 y 3 del agua de pozo de Mariel, aunque esta última fue menor y diferente ( $P > 0,05$ ) respecto a las primeras (fig. 2). Los valores más bajos

de supervivencia se registraron en las variantes 2 y 4, aunque para la 4 se reportan los resultados hasta el sexto día del ensayo.

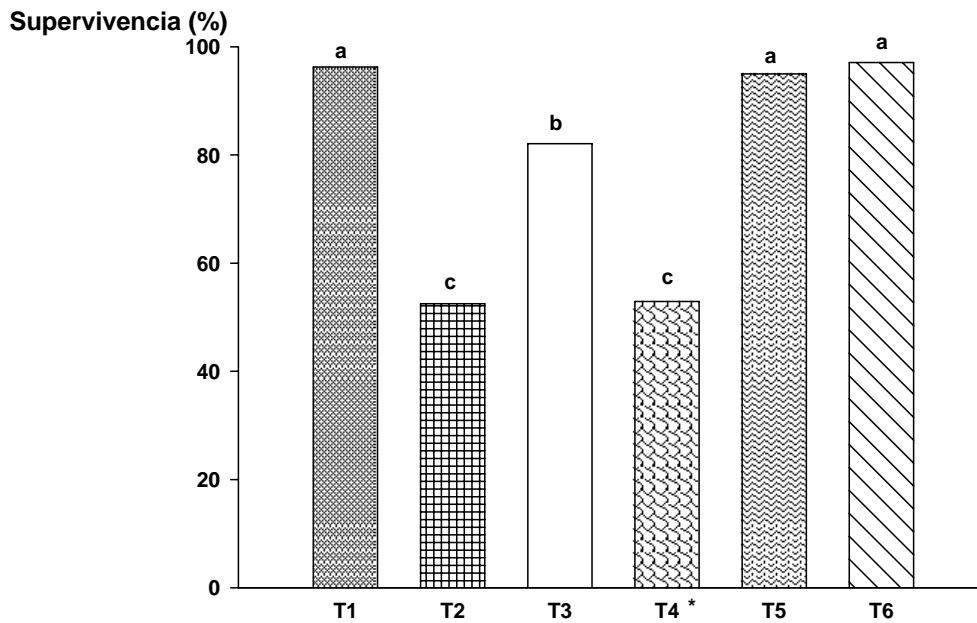


Figura 2. Porcentaje de supervivencia de las postlarvas (PL-20) cultivadas durante 14 días en agua de pozo de Mariel con diferentes modificaciones iónicas. \*La supervivencia del tratamiento 4 se reporta para el sexto día.

Los mejores factores de conversión del alimento (FCA) se observaron en los tratamientos 1, 3, 5 y 6, los que fueron significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ) de los dos restantes (fig. 3).

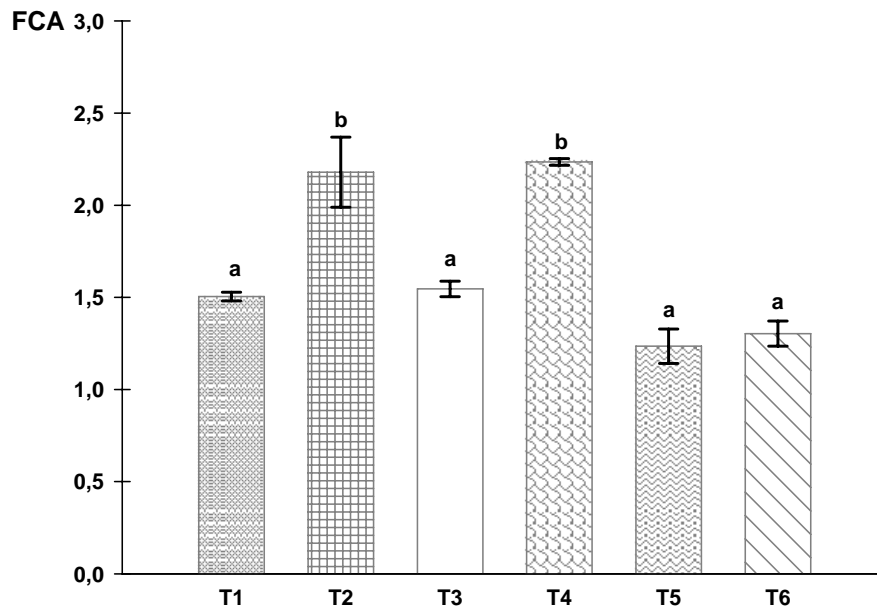


Figura 3. Comportamiento del factor de conversión del alimento (FCA) en las seis modificaciones iónicas realizadas al agua de pozo de Mariel. Cada valor representa la media  $\pm$  Error estándar,  $n = 3$ .

## DISCUSIÓN

### Perfil iónico de las modificaciones al agua de pozo de Mariel

Los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  son los que más contribuyen a la salinidad de las variantes experimentales, en correspondencia con lo reportado por Green (2008) donde el  $\text{Cl}^-$  representa el 55,3 % y el  $\text{Na}^+$  el 30,8 % en el agua de mar y los mismos participan (88,4 %) en la osmolalidad de la hemolinfa del camarón (Chen y Chen, 1996). Con frecuencia, las aguas de pozo con baja salinidad son deficientes en algunos de estos iones, por lo que se hace necesaria la adición al agua de pozo de fertilizantes y/o sales comerciales ricas en iones como el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ . En el presente trabajo se empleó una combinación de sal bruta con muriato y sulfato de potasio, y/o sulfato de magnesio (tabla 1), que de acuerdo a Boyd (2002), son sustancias relativamente baratas, ampliamente disponibles, y son seguras para su uso en la acuicultura. La dureza total y la alcalinidad total de las aguas de los tratamientos (tabla 4) fueron adecuadas ( $> 75 \text{ mg/L}$ ), al igual que la concentración de calcio ( $> 30 \text{ mg/L}$ ) y de bicarbonato ( $> 90 \text{ mg/L}$ ), según lo sugerido por Boyd (2002), Boyd y Thunjai (2003) y Davis *et al.* (2004).

### Comportamiento de la supervivencia

Los resultados del presente estudio confirman que es la composición iónica y no la salinidad del agua, la que más influye sobre el rendimiento del cultivo, pues aunque la salinidad de los tratamientos aplicados fue similar (tabla 4), la supervivencia no se comportó de la misma manera en todos (fig. 2), y parece guardar mayor relación con la proporción  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  que con  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ . Por lo que la supervivencia de las postlarvas fue alta en las variantes experimentales en que se añadió potasio para complementar su déficit (T1 y T5) o para dejarlo en exceso respecto al sodio (T3). Varios autores coinciden en que la adición de  $\text{K}^+$  al agua de pozo mejora extraordinariamente la supervivencia de *L. vannamei* cultivado a baja salinidad, tanto en experimentos con PL a corto (McGraw y Scarpa, 2003) y largo plazo (Saoud *et al.*, 2003), como en experiencias a escala piloto en estanques de engorde con juveniles (Green, 2008). La explicación fisiológica detrás de estos resultados, pudiera ser la evidencia de que el  $\text{K}^+$  constituye el principal catión intracelular, debido a su importancia para el funcionamiento correcto de la ATPasa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , la cual es un componente esencial de la regulación del volumen extracelular (Péqueaux, 1995).

Por otra parte, la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  resulta también de interés para lograr una buena supervivencia del camarón cultivado en agua de pozo (Davis *et al.*, 2004). En el agua de mar dicha proporción es 1:1, y debido a que el agua dulce tiene un mayor contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  que de  $\text{K}^+$  (Boyd, 2000), la adición de este último alivia el desequilibrio entre ambos iones. Según nuestros resultados, los porcentajes de supervivencia más bajos se observaron en los tratamientos para los cuales la proporción  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  fue mayor de 3:1, y fueron altos entre 1:1 y 3:1 (tabla 4; fig. 2). Son necesarias futuras investigaciones en este sentido, para determinar cuál es la relación entre el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{K}^+$  a nivel fisiológico, y a efectos prácticos, cuál debe ser la proporción óptima para mejorar la supervivencia.

A diferencia del  $\text{K}^+$ , la adición de  $\text{Mg}^{2+}$  parece no afectar la supervivencia de las postlarvas, sino que agudizó el estrés osmótico de estas cuando el  $\text{K}^+$  quedó deficitario (variante 4) y que se evidenció en la mortalidad masiva de los animales al sexto día del ensayo. Al comparar los tratamientos 4 y 2, en el que los iones  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  estaban deficitarios, el T4 resultó ser más drástico para los camarones, indicando que la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$  no debe desbalancearse más allá de ciertos límites, lo que debe ser objeto de futuros estudios. Estos resultados apoyan los obtenidos por McGraw y Scarpa (2003) acerca de la baja influencia del  $\text{Mg}^{2+}$  sobre la supervivencia de las PL, y el rol preponderante del  $\text{K}^+$ , lo que contrastan con los reportes de otros autores (Saoud *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2005; Roy *et al.*, 2007b) que indican que los niveles de  $\text{Mg}^{2+}$  y de  $\text{K}^+$  afectan la supervivencia de PL y de juveniles. Se conoce que el  $\text{Mg}^{2+}$  es cofactor de muchas enzimas como la ATPasa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (Lucu y Towle, 2003), y de otras que participan directamente en el metabolismo, pero aún debe continuar estudiándose su efecto sobre la fisiología del camarón cultivado en agua de pozo.

## Comportamiento del crecimiento

Las diferencias en el perfil iónico de las seis variantes experimentales no afectaron el crecimiento de las postlarvas, pues ninguno de los índices del crecimiento analizados difieren entre los tratamientos, a excepción del T4. Aún no queda clara la influencia del  $Mg^{2+}$  y del  $K^+$  sobre el crecimiento de los camarones en agua dulce, aunque se ha informado que el  $Mg^{2+}$  no lo afecta, a diferencia del  $K^+$  (Roy *et al.*, 2007b).

Al combinar los resultados de crecimiento y supervivencia mediante el IBN, se observa que el tratamiento 2, en el cual el  $Mg^{2+}$  y el  $K^+$  estaban deficitarios, presentó el menor valor, significativamente diferente de los demás (1, 3, 5 y 6), en los que la relación  $Na^+/K^+$  fue similar o inferior a la del agua de mar (tabla IV; fig.1). Nuevamente, el  $K^+$  parece ejercer un efecto determinante, lo cual coincide con lo reportado por Davis *et al.* (2005). Desde el punto de vista fisiológico, la actividad de la ATPasa  $Na^+/K^+$  depende en gran medida de la concentración de  $K^+$  en el medio (Álvarez *et al.*, 2004); por que puede inferirse que en aquellos tratamientos en los que los niveles de  $K^+$  eran bajos, la energía disponible por las PL debió desviarse hacia la osmorregulación, comprometiendo el crecimiento y otros procesos metabólicos vitales.

De igual forma, los mejores factores de conversión del alimento (FCA) se observaron en las variantes 1, 3, 5 y 6, en las que la proporción  $Na^+/K^+$  fue similar o inferior a la del mar, a diferencia de las 2 y 4, con los FCA más altos y en las que el  $K^+$  se encontraba en déficit (fig.3). La explicación fisiológica a este hecho se corresponde a lo observado por Álvarez *et al.* (2004) respecto al aumento de la actividad de la ATPasa  $Na^+/K^+$  luego de someter drásticamente a las PL a la baja salinidad. El aumento del transporte iónico activo como respuesta fisiológica al estrés osmótico, conduce a la desviación de parte de la energía disponible por el organismo hacia la osmorregulación. En concordancia con ello, las PL de los tratamientos 2 y 4 aprovecharon menos el alimento suministrado en crecer, a causa del estrés iónico al que fueron sometidas, y que reafirma nuevamente la importancia vital del  $K^+$  para el cultivo exitoso de *L. vannamei* en agua de pozo.

## CONCLUSIONES

1. El agua de pozo de Mariel debe ser modificada para el cultivo del camarón marino *L. vannamei* ya que presenta relaciones  $Na^+/K^+$  y  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  menores que las del agua de mar.
2. Es posible el cultivo de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* a baja salinidad en el agua de pozo de Mariel, previa modificación de la misma con la adición de sales minerales.
3. Los niveles de potasio en el agua de cultivo afectan la supervivencia de las postlarvas de *L. vannamei*, mientras que el magnesio no parece influir notoriamente.
4. El crecimiento de las PL no fue diferente entre las variantes experimentales; sin embargo, los valores de IBN y FCA fueron mejores en los tratamientos con relación  $Na^+/K^+$  similar o inferior a la del agua de mar.

## REFERENCIAS

- Álvarez, A.L., Racotta, I.S., Arjona, O. y Palacios, E. (2004) Salinity stress test as a predictor of survival during growout in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 237, 237-249.
- Balbi, F., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T. y Maneiro, C. (2005) Aclimatación a baja salinidad de postlarvas del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) provenientes de dos criaderos comerciales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40, 109-115.
- Boyd, C.E. y Thunjai, T. (2003) Concentrations of Major Ions in Waters of Inland Shrimp Farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34, 524-532.
- Boyd, C.E. (2000) *Water quality: an introduction.*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA.



- Boyd, C.E., Thunjai, T. y Boonyaratpalin, M. (2002) Dissolved Salts in Water for Inland, Low-Salinity Shrimp Culture. *Global Aquaculture Advocate*, 5, 40-45.
- Chen, J.C. y Chen, C.T. (1996) Changes of osmotic and electrolyte concentrations in the haemolymph of *Penaeus japonicus* exposed to ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 114C, 35-38.
- Conklin, D.E., Devers, K. y Shleser, R.A. (1975) Initial development of artificial diets for the lobster, *Homarus americanus*. *Proc. World Maricult. Soc.*, 6, 237-248.
- Davis, D.A., Boyd, C.E. y Rouse, D.B. (2005) Effects of Potassium, Magnesium and Age on Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei* Post-Larvae Reared in Inland Low Salinity Well Waters in West Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society*, 36, 416-419.
- Davis, D.A., Samocha, T.M. y Boyd, C.E. (2004) Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to Inland, Low-Salinity Waters. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), Publication N°2601.
- Green, B.W. (2008) Stocking strategies for production of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in amended freshwater in inland ponds. *Aquaculture Research*, 39, 10-17.
- Jaime-Ceballos, B., Galindo-López, J., Laria-Lamela, E., Cupul-Magaña, F. y Vega-Villasante, F. (2008) Traslado de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) a diferentes tiempos, salinidades y densidades y su efecto en la supervivencia y algunos marcadores bioquímicos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43, 681-686.
- Lucu, C. y Towle, D.W. (2003) Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase in gills of aquatic crustacea. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 135A, 195-214.
- McGraw, W.J. y Scarpa, J. (2003) Minimum Environmental Potassium For Survival Of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) In Freshwater. *Journal of Shellfish Research*, 22, 263-267.
- Péqueaux, A. (1995) Osmotic regulation in crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 15, 1-60.
- Pérez-Farfante, I. y Kensley, B. (1997) Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world, keys and diagnoses for the species and genera. In *Memories Museum National d' Histoire Naturelle.*, Vol. 175, pp. 235. Zoology.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P. y Henry, R.P. (2007a) Branchial carbonic anhydrase activity and ninhydrin positive substances in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, acclimated to low and high salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 147A, 404-411.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P. y Henry, R.P. (2007b) 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*, 461-469.
- Saoud, I.P., Davis, D.A. y Rouse, D.B. (2003) Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture*, 217, 373-383.