

Evaluación de la maduración y la reproducción de camarones *Litopenaeus vannamei* en sistema de recirculación de agua

Gilberto J. Gutiérrez-Salazar*, Abundio González-González*, Mario Hernández-Acosta*, Jorge Loredó-Osti** y Francisco M. Guzmán-Sáenz*

La maduración de *Litopenaeus vannamei* en ciclo cerrado puede reducir la posibilidad de liberar agentes patógenos, por la descarga de agua utilizada en el sistema, así como la liberación de organismos ajenos al ecosistema local. Se utilizaron 120 camarones *L. vannamei* con un peso promedio de 49 ± 7.2 g las hembras, y 36.7 ± 5.4 g los machos, distribuidos en seis tanques de 2 100 l de agua a una densidad de 10 a 10 para lograr su apareamiento natural. Los reproductores fueron alimentados con ostión y calamar frescos a 12% (base húmeda) del peso de la biomasa por tanque, y se les suministró alimento seco para maduración. Los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada se mantuvieron sin variación. La alcalinidad manifestó una variación de 19.5 y el pH tuvo un comportamiento constante hacia la baja, finalizando el experimento con un pH de 6.35. El porcentaje de eclosión fue de $78.7 \pm 22.9\%$, con un promedio de $251\ 080 \pm 43$, 362.9 huevos. Al realizar un comparativo con respecto al comportamiento reproductivo de hembras de *L. vannamei* mostrado en sistemas de reposición de agua según datos bibliográficos, la producción promedio de huevos por hembra por desove, así como el porcentaje de eclosión conseguidos en este trabajo, son muy superiores a los reportados en sistemas de reposición. En todos los desoves se observó que los huevos después de 4 h a 6 h sufrieron lisis sin eclosionar nauplios viables.

Palabras clave: Maduración, *Litopenaeus vannamei*, cero recambio.

Evaluation of reproduction and maturation of shrimps *Litopenaeus vannamei* in recirculating water system

Maturation of *Litopenaeus vannamei* in closed recirculating system might reduce the possibility of uploading pathogenic agents into the system, as well as the liberation of organisms to the local ecosystem due to releasing waters. We used 120 *L. vannamei* shrimps with an average weight of 49 ± 7.2 g (females), and 36.7 ± 5.4 g (males), which were distributed in six tanks of 2 100 l of seawater at a density of 10 to 10 to obtain its natural mating. Shrimps were fed with fresh oysters and squids at 12% (humid base) biomass' weight per tank; dry food for maturation was provided as well. Physical and chemical parameters of the water used in the system, showed no variation. Alkalinity showed a variation of ± 19.5 , but pH showed a constant negative trend, finalizing the experiment at 6.35 pH. Hatching percentage was $78.7 \pm 22.9\%$, averaging $251\ 080 \pm 43$, 362.9 fertile eggs. A comparative trial on the reproductive behavior of females of *L. vannamei* in water replacement systems (open system) according to the bibliographical data available versus the one in this trial showed that the percentage of spawning and hatching in our trial was higher to those reported in replacement systems. In all cases eggs suffered lyses after 4 h to 6 h without hatching viable nauplii.

Key words: Maturation, *Litopenaeus vannamei*, cero exchange.

Introducción

La industria acuícola dentro de las franjas costeras es señalada como una actividad que pro-

picia acciones que afectan los ecosistemas de las especies marinas, por lo cual, el uso de sistemas de recirculación de agua es una opción que debe ser considerada para evitar descargas accidentales de agua u organismos vivos contaminados con agentes patógenos que pudieran afectar a los organismos del medio silvestre (Golburg y Triplett, 1997).

El camarón blanco del océano Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, es una de las especies

* Laboratorio de Organismos Acuáticos, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas. aglezpfpa@yahoo.com

** Departamento de Informática y Estadística, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas.

más cultivada en el mundo (Jory, 1997) y representa una de las operaciones productivas de mayor éxito, tanto por los volúmenes de producción como por las divisas generadas (FAO, 2006). En contraste con los beneficios económicos que esta actividad productiva representa, durante su desarrollo la industria acuícola ocasionó algunos daños al medio ambiente, como la afectación que sufrieron las zonas de manglar de varias regiones del mundo (Barbier y Burgess, 2001), la liberación de especies exóticas en el medio natural (Heimowitz, 2001) y la introducción de patógenos que han diezmando a las poblaciones naturales de camarón (Lightner *et al.*, 2002). Las enfermedades virales han cobrado gran importancia, así como algunas ocasionadas por otros agentes patógenos tales como bacterias, protozoarios, hongos y epicomensales (Lightner y Redman, 1998).

El uso de técnicas de recirculación de agua en la maduración de *L. vannamei* es una alternativa que minimiza la introducción de agentes patógenos al sistema, asimismo reduce las posibilidades de diseminar contaminantes y patógenos al medio silvestre. El presente estudio tiene como objetivos evaluar la factibilidad de maduración y reproducción de camarones *L. vannamei* en un sistema cerrado con recirculación de agua en condiciones de laboratorio, establecido en un lugar alejado de la costa para reducir la incorporación o liberación de patógenos; los resultados serán comparados con los reportados de la maduración obtenida en sistemas de recambio de agua en la literatura.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, ubicado a 200 km de la costa del Golfo de México y una altitud sobre el nivel del mar de 342 metros.

Se utilizaron 15 000 l de agua marina obtenida de un pozo de 3 m de profundidad en la orilla de la playa, filtrada por su arena natural en el litoral del Golfo de México, La Pesca, Soto la Marina, Tamaulipas. El agua fue transportada al

laboratorio de acuicultura en tres contenedores de plástico de 5 000 l cada uno.

Antes de su ingreso al sistema, el agua fue bombeada y filtrada físicamente en arena sílica a 30 μm , y con filtros de cartucho de 20, 15, 10 y 5 μm , pasada por un sistema de luz ultra violeta (UV) de tres lámparas de 30 watts, para ser contenida en un reservorio de plástico de 2 500 l previo al paso a través de un filtro biológico. Antes del ingreso a los tanques de maduración, el agua fue suministrada por gravedad y esterilizada con rayos UV en un sistema de ocho lámparas de 30 watts (Fig. 1).

Se controló la temperatura del agua del sistema a 27°C, con dos calentadores de 3 Kw a 220 voltios dentro del reservorio de 2 500 l de agua, que fueron accionados por un termostato digital y un lector que se colocó en uno de los tanques de maduración, y para la temperatura del área de maduración se utilizó un acondicionador de aire con sistema reversible de refrigeración-calentamiento y un control de termostato de $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

El fotoperiodo fue controlado automáticamente por medio de interruptores eléctricos (timers) que activaban una serie de lámparas de 39 watts (Cool White™) de par en par, a diferentes horas del día, a partir de las 6:00 am y hasta las 6:00 pm para simular la salida y la puesta del sol, respectivamente.

El tratamiento del agua en el área de maduración/reproducción se realizó por medio de filtración biológica y física por el paso de ésta por los siguientes mecanismos:

- a) Biofiltración: El sistema mantuvo una recirculación continua de agua de 287% (en seis tanques de maduración) pasada por un filtro biológico de inmersión (inverso) que consiste en un tubo de policloruro de vinilo (PVC) de 50 mm de diámetro para mantener el nivel del agua, en cada tanque, cubierto por otro de 150 mm con perforaciones en la parte inferior del tubo para permitir la extracción del agua del fondo y los *detritus* orgánicos. El medio de soporte para las bacterias nitrificantes estuvo compuesto por concha de ostión quebrada y tamizada en una malla de cinco cm^2 de diámetro lavada y desinfectada con cloro a seis por ciento.
- b) Filtración a 500 μm de la descarga general de los seis tanques de maduración al pasar

por una cama de 30 cm³ de concha de ostión para la retención de los residuos de materia orgánica.

- c) Filtración a 250 μm por el paso del agua a través de un filtro de malla (*sock filter*) para su sedimentación en un tanque de plástico de 750 l, donde permaneció por espacio de 30 minutos para ser bombeada y filtrada por arena sílica de 30 μm (Jacuzzi™). Posteriormente se pasó el agua por filtros de cartucho de 20, 15, 10 y 5 μm.
- d) Biofiltración final que utilizó un sistema de nitrificación, que consistió en un cilindro

(sellado y aislado) de 40 cm de diámetro por 150 cm de altura, con un medio aspersion del agua en la parte superior y un sustrato de soporte para las bacterias nitrificantes, constituido por fibra sintética de plástico para mantener la calidad del agua por largos periodos.

Todos los tanques de maduración fueron aireados con una piedra de microburbuja de 25 x 25 x 150 mm durante las 24 h y los tanques de desove con una de 12.5 x 12.5 x 50.

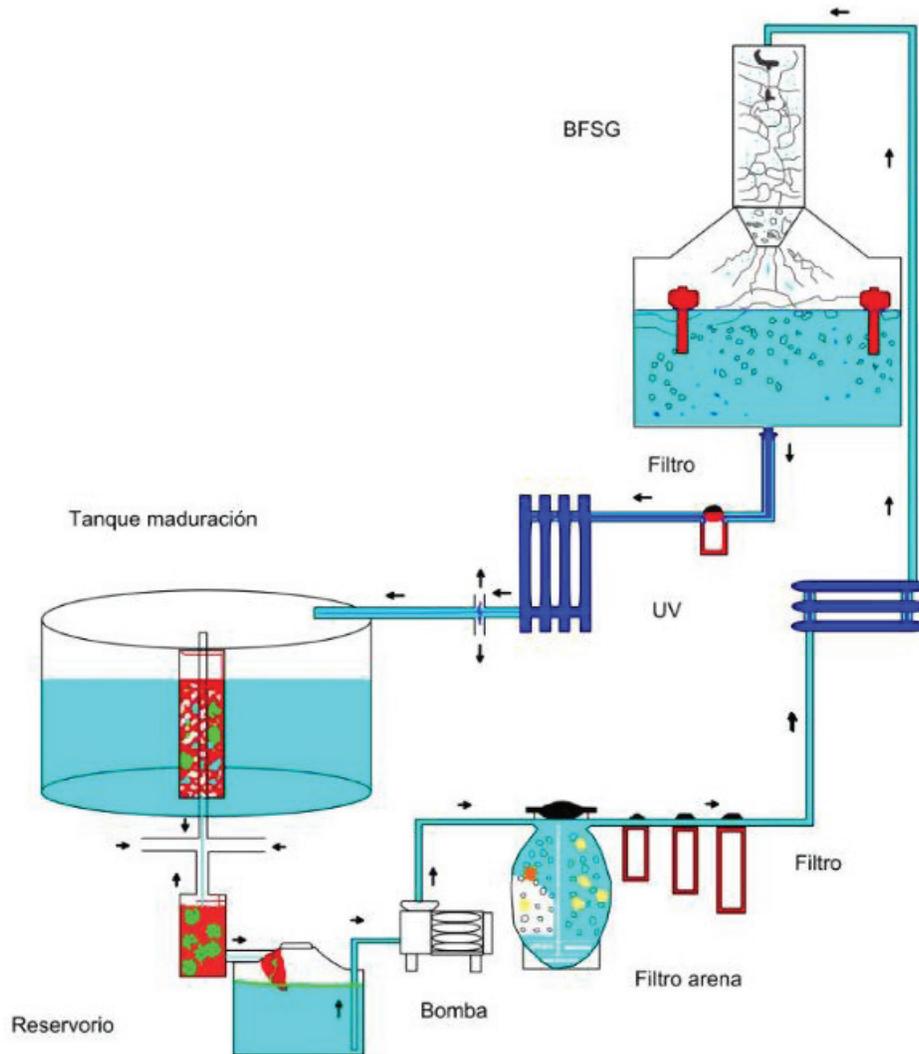


Fig. 1. Esquema del sistema de tratamiento de agua en recirculación.

Se utilizaron 120 camarones *L. vannamei* con un peso promedio de 49 ± 7.2 g las hembras, a las que se les colocaron bandas elásticas numeradas para identificarlas en uno de los pedúnculos oculares con una pinza de tres puntas marca National Band & Tag Co. Para registrar estadios de maduración y desoves se les practicó la ablación de uno de los pedúnculos oculares y fueron distribuidas en seis tanques de fibra de vidrio con una capacidad de 2 100 l de agua a una densidad por tanque de 10 hembras y 10 machos con un peso promedio de 36.7 ± 5.4 g para lograr su apareamiento natural. Las hembras fueron diariamente inspeccionadas para determinar el grado de madurez ovárica de las 18:00 a las 20:00 h, con base en la escala de desarrollo de maduración gonadal y metodología propuesta por Mendoza (1997). Las hembras con desarrollo de fase III de maduración fueron capturadas con una red de hilo de algodón (luz de malla 5 mm), y las que mostraban espermatóforo adherido fueron colocadas de manera individual en un tanque de desove al día siguiente a las 07:00 h. Después del desove, las hembras fueron regresadas al tanque correspondiente (Gandy, 2004; Peixoto *et al.*, 2005); los desoves fueron evaluados siguiendo el procedimiento descrito por Mendoza (1985).

La limpieza se realizó todos los días a las 08:00 h en cada tanque, antes del primer alimento. Se utilizó un tubo de PVC de 25 mm conectado a una manguera para la succión del agua con alimento sobrante, heces fecales y mudas para su registro diario; la materia orgánica se filtró a $300 \mu\text{m}$ y el agua extraída se envió al sistema de recirculación.

Los reproductores se alimentaron con ostión y calamar frescos a 12% (base húmeda) del peso de la biomasa calculada por tanque, a las 09:00 h, y además se les suministró alimento seco para maduración (Ziegler Bros[™], Gardners, Pa) a 3% de la biomasa diariamente a las 13:00 horas.

Los parámetros fisicoquímicos del agua, temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), pH, alcalinidad, salinidad (S‰), nitrógeno amoniacal total (TAN), amonio no ionizado (N-NH₃), nitritos (N-NO₂), nitratos (N-NO₃), fueron registrados para monitorear la calidad del agua y analizados con base en el protocolo de Kuhn *et al.* (2007).

La T y el OD fueron medidos diariamente con un oxímetro marca YSI modelo 54, el pH

fue medido todos los días con un potenciómetro marca Milwaukee modelo PH 53, el TAN, N-NH₃, N-NO₂ y N-NO₃ fueron medidos cada semana con un colorímetro marca Hach modelo DR/890, la alcalinidad se midió cada semana con un kit Lamotte modelo LMAQ4 para agua marina. La salinidad se registró semanalmente con un refractómetro modelo SR6.

El aumento de peso, la sobrevivencia, la maduración y el desove fueron comparados utilizando el estadístico de prueba *t-Student* con el procedimiento de STATISTICA[™] (*data analysis software system version 7*).

Resultados

Los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en el sistema de recirculación, como OD, T, N-NO₃ y S‰ se mantuvieron sin variación considerable en el transcurso del tiempo. En contraste, los valores de TAN, N-NH₃ y N-NO₂ tuvieron una considerable dispersión en el tiempo de estudio. El TAN y N-NH₃, a diferencia de los demás, mostraron un aumento considerable en la última semana. La alcalinidad manifestó una variación de 19.5 y el pH, si bien el CV es de sólo 0.62, a diferencia de los otros parámetros que mostraron altas y bajas, éste manifestó un comportamiento constante hacia la baja, finalizando el experimento con un pH de 6.35 considerado como ácido para la maduración de las hembras (Tabla 1).

El desove inició en los cinco días posteriores a la ablación, con un promedio de 5.6 ± 2.9 desoves por hembra; 3.7 ± 2.13 presentaron espermatóforo adherido y, de éstas, el 3.05 ± 1.95 resultó fértil (Tabla 2), con un promedio de 8.98 ± 1.94 días por desove. Las hembras tuvieron un porcentaje de sobrevivencia de 90%, los machos 83%, y en 7% de éstos, se observó necrosis del espermatóforo.

El porcentaje de eclosión fue de $78.7 \pm 22.9\%$, con un promedio de $251\ 080 \pm 43\ 362.9$ huevos. Para la determinación de este valor se consideró la metodología propuesta por Mendoza (1985). No se observó diferencia significativa ($p > 0.05$). Los resultados de desoves totales, fecundaciones y fertilidad de los desoves por hembra se muestran en la *figura 2*. En todos los desoves se observó

Tabla 1

Valores medios de los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos del sistema, con relación al tiempo de estudio

Parámetros Fisicoquímicos	Tiempo (Semanas)										Media	C.V.
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
T (°C)	27	27	27.25	27	26.5	27	27	26	27	28	26.975	1.9
OD (mg/l)	5.4	5.1	5.4	5.4	5.6	5.2	5.1	5.4	5.3	4.9	5.28	3.9
pH	8.05	8.02	8.01	7.9	7.5	7.2	7	6.96	6.65	6.35	7.364	0.62
TAN (mg/l)	0	0.05	0.05	0.075	0.0875	0.05	0.05	0.05	0.0875	0.3375	0.0838	110.6
N-NH ₃ (mg/l)	0	0.003	0.003	0.0037	0.0016	0.0005	0.0003	0.0003	0.0002	0.0005	0.0013	107.3
N-NO ₂ (mg/l)	0.2	0.425	0.4	0.175	0.5	0.425	0.75	0.4	0.175	0.65	0.41	47.2
N-NO ₃ (mg/l)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8.5	9.85	4.8
Alcalinidad	88	66	56	64	82	88	56	54	64	60	67.8	19.5
Salinidad ‰	32	33	33	34	33.5	32	32	33	34	34	33.05	2.5

Tabla 2

Resultados de número de maduraciones, presencia de espermatóforo adherido, desove fértil por hembra y muertes. I = Identificación de la hembra, T = Total de maduraciones o desoves, P = Presencia de espermatóforo adherido, F = Desove fértil, S = Muerte

I	T	P	F	S	I	T	P	F	S	I	T	P	F	S	I	T	P	F	S				
1	7	5	5		13	1	0	0	x	25	2	1	0	x	37	0	0	0	x	49	5	3	3
2	8	7	6		14	5	4	4		26	8	7	5		38	4	4	3		50	6	5	5
3	3	1	1	x	15	8	7	6		27	5	4	3		39	1	0	0	x	51	6	4	3
4	6	5	4		16	7	5	5		28	7	6	6		40	5	3	1		52	5	4	2
5	7	6	6		17	1	0	0	x	29	5	3	3		41	5	4	4		53	7	6	4
6	1	0	0	x	18	5	4	4		30	8	4	4		42	5	3	2		54	1	0	0
7	6	4	2		19	0	0	0	x	31	2	1	1	x	43	6	3	2		55	6	5	4
8	8	5	5		20	5	3	3		32	5	3	2		44	8	5	4		56	9	8	7
9	7	6	5		21	9	4	4		33	5	5	4		45	5	4	3		57	6	4	4
10	4	1	1		22	6	5	5		34	6	4	0		46	8	7	6		58	4	3	2
11	6	5	4		23	6	4	3		35	6	2	1		47	7	1	1		59	6	1	1
12	6	6	5		24	7	3	3		36	8	7	5		48	7	5	4		60	6	3	3

que los huevos después de 4 h a 6 h sufrieron lisis sin eclosionar nauplios viables.

Al final de la investigación se observaron 324 desoves con 222 eventos de maduración en que las hembras mostraron espermatóforo adherido y 183 resultaron fértiles. El incremento medio en peso y talla de las hembras fue de 0.3 ± 0.2 g y de 0.57 ± 0.32 cm y de 0.2 ± 0.2 g y 0.23 ± 0.21 cm para los machos, respectivamente.

Un comparativo, con respecto al comportamiento reproductivo de hembras de *L. vannamei* mostrado en este trabajo, contra los reportados en sistemas de reposición de agua según datos bibliográficos se presenta en la *tabla 3*

(Chamberlain y Lawrence, 1981; Wyban *et al.*, 1987; Lián-Cabello, 1995).

Discusión

El sistema cerrado con recirculación de agua para la maduración de *L. vannamei* mostró ser efectivo, dado que no se descargó agua al medio ambiente o en su entorno natural. El sistema se ajustó para mantener una recirculación de 273% diario, y asegurar la calidad deseada de los parámetros del agua tomando en consideración el volumen total del agua, el alimento y la biomasa en los tanques. El volumen de flujo permitió

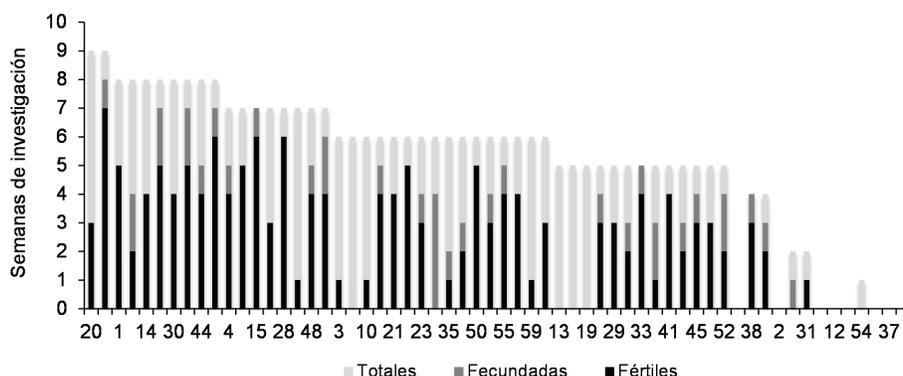


Fig. 2. Resultados individuales de número de desoves, presencia de espermatóforo adherido y fertilidad.

que el agua pasara por el sistema de filtración y biofiltración por lo menos dos veces al día para eliminar el amoniaco.

En la mayoría de los sistemas de recirculación, diariamente se reemplaza de 5% a 10% con agua nueva (Masser *et al.*, 1992; Lee, 2000). En esta investigación no se agregó agua. El sistema de recirculación concluyó con un volumen aproximado de 14 300 l de agua por efecto de pérdidas por la evaporación y en la limpieza diaria de los tanques, lo que representó $\pm 4.5\%$; la bioseguridad es una de las ventajas primarias en este sistema, debido al uso reducido de agua costera que podría estar contaminada (Courtland, 1999). A diferencia de los sistemas abiertos, que utilizan recambios de agua hasta de 400% de descarga libre hacia el medio ambiente (Golburg y Triplett, 1997).

En esta investigación se observó que el pH fue cambiando conforme se incrementaba el tiempo, pues inició con un valor de 8.05 para terminar ligeramente ácido (6.35), lo que podría

afectar la viabilidad de los huevos. Treece y Fox (1993) señalan que el valor óptimo del pH para la reproducción de camarones peneidos es de 8.0 a 8.3. En el presente trabajo, no fue posible conseguir este valor, ya que mostró una disminución permanente a medida que transcurrían las semanas, motivado principalmente por la acumulación de materia orgánica (*detritus* y microbiota) en el sistema, finalizando con un pH considerado como ácido para la maduración de las hembras, a diferencia del sistema abierto en el que es constante.

Los parámetros como temperatura, oxígeno disuelto y salinidad se fijaron conforme los estándares establecidos para un sistema abierto. Las concentraciones de compuestos nitrogenados (TAN, N-NH₃, N-NO₂ y N-NO₃) observados en este sistema cerrado estuvieron dentro de los niveles que se observan en un sistema abierto para la maduración de hembras en el ámbito comercial (Treece y Fox, 1993), por lo que estos factores podrían ser descartados como causantes

Tabla 3
Comportamiento reproductivo de *Litopenaeus vannamei* con relación a datos bibliográficos

Peso promedio de hembras	Promedio huevos por desove	Porcentaje eclosión	Nauplios por desove	Fuente
43.8	84 900	15.5	No reportado	Chamberlain y Lawrence (1981)
18.4	106 553	37.9	28 351	Wyban <i>et al.</i> (1987)
43.1	136 511	49.7	60 138	Liñán-Cabello (1995)
49.2	251 080	78.7	Lisis	Este trabajo

de problemas en este sistema cerrado de recirculación (Green *et al.*, 1999).

La maduración concluida en este sistema se presentó cinco días después de la ablación, tiempo menor en comparación con el del sistema abierto, en el que se concluye después de la ablación unilateral pasados entre 16 a 19 días (Hall *et al.*, 2002).

Al realizar un comparativo con respecto al comportamiento reproductivo de hembras de *L. vannamei* mostrado en sistemas de reposición de agua (Tabla 3) según datos bibliográficos (Chamberlain y Lawrence, 1981; Wyban *et al.*, 1987; Liñán-Cabello, 1995), la producción promedio de huevos por hembra por desove, así como el porcentaje de eclosión conseguidos en este trabajo son muy superiores a los reportados en sistemas de reposición. Sin embargo, en este trabajo no se obtuvieron nauplios viables.

La obtención de mejores resultados en cuanto al número de desoves por hembra, promedio de huevos por desove y porcentaje de eclosión, se explica toda vez que las hembras referidas en el presente trabajo fueron de un peso mucho mayor que la de los reportados en los datos bibliográficos consultados, lo cual ya ha sido descrito por Arcos (2004). Asimismo, los parámetros del agua del sistema de recirculación en general fueron los óptimos para la maduración-reproducción del camarón (Kuhn *et al.*, 2007).

La dieta instrumentada en este trabajo no llegó a ser un factor crítico para llevar a los reproductores a la maduración completa y el desove. Las dietas consisten de varios alimentos frescos de origen marino. En el sistema aquí propuesto se utilizaron sólo tres ingredientes, dos de ellos frescos y el otro seco, a diferencia de los sistemas abiertos que utilizan hasta seis ingredientes por día (calamares, poliquetos, pata de mula, artemia adulta, almejas, mejillones y peces (Bray y Lawrence, 1992). Esto es relevante, ya que se observó incremento de amonio en el sistema utilizado, lo pudiera limitar el uso de volúmenes mayores de alimento fresco para los reproductores (Okumura *et al.*, 2004).

Con respecto a la no obtención de nauplios viables a consecuencia de la lisis mostrada por los huevos fértiles desovados, se podría lanzar la hipótesis de que el bajo valor de pH del agua

en recirculación podría ser el factor responsable de dicha lisis. Chen *et al.* (1991) encontraron bajas tasas de eclosión a un pH similar (6.8), pero Gandy (2004) menciona haber logrado madurar, reproducir, desovar y obtener nauplios viables de camarón café en un pH de 7.75 ± 0.5 , lo que contrasta con lo encontrado en este experimento; aunado a que podrían existir otros factores como el deterioro de la calidad del agua o alimenticios no evaluados o considerados en el presente estudio.

Hasta el momento no se han reportado eventos de lisis en los huevos de camarón *L. vannamei* mantenidos en recirculación. Sin embargo, se ha establecido que en *Penaes aztecus*, la deficiencia de magnesio (Mg^{+2}) en el agua de mar inhibe la expulsión de los bastones corticales, precursores de la envoltura vitelínica en los huevos. Esta envoltura vitelínica protege al cigoto temprano de las condiciones del ambiente, y sus componentes químicos podrían actuar como agentes antibacterianos o como repelentes a otros microorganismos (Lynn y Clark, 1987).

Conclusiones

El sistema cerrado fuera de la costa, con recirculación de agua para la maduración de *Litopenaeus vannamei*, resultó tener un mejor desempeño que los sistemas de reposición de agua, dado que en este tipo de sistemas se muestran valores inferiores a los aquí presentados, además de que en el sistema propuesto se utilizaron sólo tres ingredientes alimenticios, dos de ellos frescos y el otro en pellets, a diferencia de los sistemas abiertos que utilizan hasta seis ingredientes por día.

Utilizar este sistema reduce la incorporación o liberación de agentes patógenos dentro o fuera del sistema, lo cual es un aspecto importante.

Literatura citada

ARCOS GF. 2004. Análisis fisiológico y genético del desempeño reproductivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. En: <http://hdl.handle.net/1834/3524>

- BARBIER EB y JC Burgess. 2001. The economics of tropical deforestation. *Journal of Economic Surveys* 15(3): 413-432.
- BRAY WA y AL Lawrence. 1992. Reproduction on *Penaeus* species in captivity. En: AW Fast y LJ Lester (ed.). *Marine shrimp culture: principles and practices*. Developments in aquaculture and fisheries science. Vol. 23. Elsevier Sci. Publisher B.V. The Netherlands, pp: 93-170.
- CHAMBERLAIN GW y LA Lawrence. 1981. Maturation, reproduction and growth of *Penaeus vannamei* and *P. stylirostris* fed natural diets. *Journal of the World Mariculture Society* 12(1): 209-224.
- CHEN F, B Reid y CR Arnold. 1991. Maturing, spawning, and egg collecting on the white shrimp *Penaeus vannamei* borne in a recirculating system. *Journal of the World Aquaculture Society* 22: 167-172.
- COURTLAND S. 1999. Recirculating system technology for shrimp maturation. *The Advocate*, pp: 74-77. Disponible en Internet: www.aquaneer.com/article.pdf.
- FAO. 2006. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Fisheries department. Disponible en: <http://www.fairtradefish.org/FAO%20state%20of%20fishing%202006%20world.pdf>
- GANDY RL 2004. Investigations into the reproductive performance and larval rearing of the brown shrimp, *Farfantepenaeus aztecus*, using closed recirculating systems. Tesis de Doctorado. Texas A&M University.
- GOLBURG R y T Triplett. 1997. Murky waters: environmental effects on aquaculture in the U.S.A. En: *The Environment Defense Fund*. EDF Publications, Wash. DC. 196p.
- GREEN BW, DR Teichert-Coddington y CE Boyd. 1999. Influence of daily water exchange volume on water quality and shrimp production. En: K McElwee, D Burke, M Niles y H Egna (eds.). *Sixteenth annual technical report*. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp: 121-127.
- HALL MR, N Young y M Kenway. 2002. AIMS. Manual for the determination of egg fertility in *Penaeus monodon*. Australian Institute of Marine Science. PMB. No. 3, Townsville Mail Centre Qld 4810, Australia 2002. Disponible en: <http://www.aims.gov.au/pages/research/mdef/mdef-00.html>
- HEIMOWITZ P. 2001. Review of impacts of aquatic exotic species: What's a risk? Marketing and Shipping live aquatic products. <http://nsgd.gso.uri.edu/aku/akuw99003.pdf#page=266>
- JORY DE. 1997. Penaeid shrimp hatcheries: Part III, larval rearing. *Aquaculture Magazine* 23(1): 67-75. <http://www.ctu.edu.vn/colleges/aquaculture/shrimp/shrimp1.htm>
- KUHN DD, GD Boardman, SR Craig, GJ Flick y E McLean. 2007. Evaluation of tilapia effluent with ion supplementation for marine shrimp production in a recirculating aquaculture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 74-84.
- LEE PG. 2000. Biosecurity and the development of closed recirculating systems. *Global Aquaculture Advocate* 3(5): 49-61.
- LIGHTNER DV y RM Redman. 1998. Strategies for the control of viral disease of shrimp in the Americas. *Fish Pathology* 33: 165-180.
- LIGHTNER DV, SV Durand, RM Redman, LL Mohny y K Tang-Nelson. 2002. Qualitative and quantitative studies on the relative virus load of tails and heads of shrimp acutely infected with WSSV: implications for risk assessment. Disponible en: <http://www.was.org/main/NewWave.html#Contents>
- LIÑÁN-CABELLO MA. 1995. Caracterización de los cuadros ambientales durante la reproducción inducida y obtención de postlarvas de *P. vannamei*, bajo diferentes criterios alimenticios. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima.
- LYNN JW y WH Clark Jr. 1987. Physiological and biochemical investigations of the egg jelly release in *Penaeus aztecus*. *Biological Bulletin* 173: 451-460.
- MASSER MP, J Rakocy y TM Losordo. 1992. Recirculating aquaculture tank production systems management of recirculating systems. SRAC Publication 452. Disponible en: wildlife.tamu.edu/publications/452FS.PDF
- MENDOZA AR. 1985. Observaciones sobre la producción de nauplios a partir de poblaciones cultivadas silvestres y mixtas de camarón azul (*Penaeus stylirostris*). Tesis de Licenciatura.

- Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 63p.
- MENDOZA R. 1997. *Penaeus stylirostris* nauplii production from wild cultured and mixed populations. *Journal of Applied Aquaculture* 7: 41-50.
- OKUMURA T, K Yoshida y H Nikaido. 2004. Ovarian development and hemolymph vitellogenin levels in laboratory-maintained protandric shrimp, *Pandalus hypsinotus*: measurement by a newly developed time-resolved fluoroimmunoassay (TR-FIA). *Zoological Science* 21(10): 1037-1047.
- PEIXOTO S, R Olivera-Cavalli y W Wasielesky. 2005. Recent developments on broodstock maturation and reproduction of *Farfantepenaeus paulensis*. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48(6): 997-1006.
- TREECE GD y JM Fox. 1993. *Design, operation and training manual for an intensive culture shrimp hatchery*. Texas A&M University Sea Grant College Program. Publication: TAMU-SG-93-505.
- WYBAN JA, SL Cheng, JN Sweeney y WK Richards. 1987. Observations on development of a maturation system for *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 18(3): 188-200.

Recibido: 20 de noviembre de 2010.

Aceptado: 7 de noviembre de 2011.