

# Acuicultura Multitrófica, una Opción para el Uso Integral de los Recursos Naturales

Anselmo Miranda Baeza\*<sup>1</sup>, Martha Elisa Rivas Vega<sup>1</sup>; Jesús Lizárraga Armenta<sup>1</sup>; Luis R. Martínez Córdova<sup>2</sup>, José Antonio López Elías<sup>2</sup>, Silvia E. Ayala Yocupicio<sup>1</sup>, Idalia Sandoval Muy<sup>1</sup> y Adolfo Sánchez Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, Carr. a Huatabampo y Periférico Sur, Navojoa, Sonora, México. C.P. 85800. E-mail: [anselmo.miranda@cesues.edu.mx](mailto:anselmo.miranda@cesues.edu.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Blvd. Luis Donald Colosio s/n C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

---

## Resumen

En acuicultura, una de las opciones más recomendadas para minimizar el impacto ambiental y aprovechar mejor los recursos es la implementación de cultivos multitróficos. En los monocultivos tradicionales de peces y crustáceos se pueden incorporar los moluscos bivalvos y las macroalgas. Los moluscos pueden remover la materia particulada debido a su alta capacidad de filtración. Las macroalgas actúan en la remoción de nutrientes disueltos. En el presente documento se presentan los resultados de algunos experimentos de cultivos multitróficos marinos que fueron desarrollados con recirculación de agua. El objetivo es contribuir con información que permita a futuro la implementación de estos sistemas, como una alternativa para el desarrollo acuícola con menores impactos al ambiente. Las conclusiones a las que se llega señalan a) que es factible utilizar el nitrógeno proveniente del alimento peletizado como fuente en la alimentación de los moluscos bivalvos y de las macroalgas y b) los cultivos multitróficos en sistemas de recirculación, permiten minimizar el recambio de agua sin que se afecten significativamente los procesos de nitrificación.

*Palabras clave: acuicultura, cultivos integrados, biorremediación, alimentación organismos acuáticos.*

## Introducción

El término de acuicultura sustentable se ha usado recientemente como una estrategia para el uso racional de los recursos naturales. La FAO define la sustentabilidad como “el manejo y conservación de los recursos naturales basados en la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales, de manera tal que asegure la satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo conserva la tierra, el agua, las plantas y los recursos genéticos, no degrada el ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (Barg, 1992).

La acuicultura sustentable incluye entre otros aspectos la aceptabilidad social y la viabilidad económica. La acuicultura multitrófica contiene algunos de estos principios y ha sido propuesta como medio para disminuir los efectos negativos al ambiente mediante un manejo adecuado de los recursos, con el principio básico de que las salidas de un subsistema, sean los insumos de otro. Bajo este esquema, se recomienda que la acuicultura tradicional (peces, camarón) sea integrada con una acuicultura extractiva (moluscos y algas) orgánica e inorgánica (Chopin *et al.* 2001).

En México es factible que a futuro se desarrollen empresas que cultiven organismos acuáticos de manera integrada, los beneficios además de ambientales pueden ser económicos y sociales al fomentar la generación de empleos en zonas rurales, donde por lo general la calidad de vida de los habitantes es precaria.

En México la acuicultura comercial se basa en monocultivos. La acuicultura de agua dulce está representada por la tilapia y la de agua salada por el camarón. Aunque nivel internacional el país se ha destacado por el monocultivo de camarón, el cual representa una inversión millonaria. En el 2009 la producción de camarón llegó a 133,282 ton, y más del 90% provino de los estados de Sonora y Sinaloa con un valor de la producción superior a los 5,400 millones de pesos (CONAPESCA, 2009).

Sin embargo, la industria camaronícola enfrenta problemas severos, que ponen en entredicho su sustentabilidad, dos de los problemas más mencionados en la literatura científica son: a) bajo aprovechamiento de los nutrientes, en promedio, el 30% del nitrógeno suministrado como alimento o fertilizante es recuperado por los organismos de cultivo, lo cual significa que el 70% restante es desechado en forma disuelta o particulada (Troell *et al.*, 2003; Casillas *et al.*, 2006) y b) desequilibrios ambientales producidos por los efluentes de las granjas de camarón (Páez Osuna, 2001; Boyd, 2003; Ghaly *et al.*, 2005; Miranda-Baeza *et al.*, 2007).

Lo anterior expresa la necesidad de proporcionar soluciones para que los cultivos en agua salada tengan mejor aprovechamiento de los nutrientes y que disminuya la descarga de los mismos al medio ambiente. La acuicultura multitrófica puede ser una opción viable, sin embargo aun se requieren estudios que definan diferentes modelos de integración, seleccionar especies susceptibles de ser usadas, aspectos de inocuidad y calidad de los productos cultivados bajo este enfoque, ingeniería de sistemas para equilibrar los flujos de materia y de energía con la fisiología de los organismos acuáticos, entre otros.

En el presente documento se presentan los resultados de algunos experimentos de cultivos multitróficos que fueron desarrollados en sistemas de recirculación con agua salada. La información sigue el siguiente orden: a) primero se describen las condiciones de cada experimento, b) se presentan los resultados relacionados con los niveles de compuestos nitrogenados (principal fuente de desecho, proveniente de los restos de alimento y del metabolismo de los organismos cultivados) y c) se presentan datos relacionados con el crecimiento y la sobrevivencia de las especies que fueron integradas al cultivo principal. El objetivo es contribuir con información que permita la implementación de éstos sistemas, bajo las condiciones ambientales y con las especies presentes en México.

## Modelos de cultivos multitróficos

### Peces-moluscos: Tilapia-almeja, Tilapia-Ostión

Una de las opciones más comúnmente utilizadas para mejorar la calidad del agua de los efluentes de las granjas, es el uso de los moluscos bivalvos. Al aprovechar su capacidad de filtración éstos organismos pueden contribuir al proceso de biorremediación. Los moluscos bivalvos crean corrientes de agua a través de sus cuerpos, mediante el movimiento de cilios microscópicos localizados en las branquias y palpos labiales (Lefebvre *et al.*, 2000). Mientras el agua se mueve a través de las branquias, las partículas inorgánicas y orgánicas son capturadas y transportadas a los palpos labiales donde son seleccionadas y usadas como fuente de alimento o rechazadas como pseudo heces. En ocasiones, la abundancia de material particulado promueve un aumento en la producción de pseudo heces las cuales pueden tener un alto contenido orgánico (Miranda-Baeza *et al.* 2006). Por otro lado las partículas que entran al tracto digestivo, después de ser aprovechadas son recubiertas por un mucus y liberadas en forma de heces a través de las corrientes exhalantes.

### Cultivo de tilapia en agua salada-semilla de almeja (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus* con *Argopecten ventricosus*).

El sistema de recirculación consistió en tanques rectangulares con 50 L de agua, en cada uno de los tanques, se colocó un filtro biológico con 100 centímetros cúbicos de esferas de plástico virgen (3 mm diámetro), aireación constante y un termostato para mantener la temperatura a 23 °C, cada tina incluyó un bastidor (tubo de PVC cuatro pulgadas de diámetro) con fondo de malla mosquitera en la cual se depositaron 105 semillas de *Argopecten ventricosus* (un individuo/cm<sup>2</sup>).

El periodo de estudio duró 48 d. Se utilizaron tres tratamientos con tres réplicas, consistentes en alimentar a las semillas de *Argopecten ventricosus* con: a) una mezcla (50% y 50%) de las microalgas *Nannochloropsis sp.* y *Chaetoceros muelleri* (tratamiento M); b) efluentes de tilapia cultivada en agua salada (tratamiento E) y c) una mezcla (50% y 50%)

de efluentes y microalgas (tratamiento M+E), el control consistió en un lote de semilla sin alimento (SA).

La ración alimenticia de *Argopecten ventricosus* en el tratamiento M fue de 4%/día del peso seco del tejido, con base a la sugerencia de Helm *et al.* (2004) para alimentación de bivalvos adultos en laboratorio. En el tratamiento E, la ración alimenticia consistió en los efluentes generados por 50 g (peso vivo) de juveniles de tilapia que en estudios previos se estimó en 0.37 g/d (peso seco). Los peces fueron alimentados con una dieta comercial (purina) con 30% de proteína. En el tratamiento M+E la ración suministrada fue del 2%/día del peso seco del tejido y los efluentes generados por los 50 g de tilapia (3 g peso vivo /l). Las microalgas utilizadas en el estudio fueron *Nannochloropsis sp* y *Chaetoceros muelleri*, ambas se suministraron a los tratamientos respectivos mientras se encontraban en la fase exponencial de crecimiento poblacional.

### **Compuestos nitrogenados**

El Nitrógeno particulado y disuelto (orgánico e inorgánico) es uno de los principales elementos de desecho en el cultivo de animales acuáticos. Por otro lado en los sistemas de recirculación su magnitud es usada para definir la capacidad de los filtros mecánicos y biológicos. En un sistema de recirculación es de vital importancia el monitoreo de las diferentes formas de nitrógeno como: Nitrógeno total por Kjeldahl (NTK: nitrógeno orgánico + NH<sub>3</sub>; Rodier, 1981) Nitrógeno amoniacal total (NAT: N-NH<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>), el nitrógeno en los nitritos y (N-NO<sub>2</sub>) y en los nitratos (N-NO<sub>3</sub>), además del pH y la alcalinidad (Timmons *et al.*, 2002). Debido al enfoque de este documento se mencionarán solo los resultados relativos a los compuestos nitrogenados.

Durante el experimento, el NAT presentó variaciones irregulares en los cuatro tratamientos, el día 28 del experimento los cuatro tratamientos coincidieron con la mas alta concentración, teniendo los siguientes valores: el SA con 0.21±0.010 mg/L, el E con 0.45±0.010 mg/L, el M con 0.27±0.006 mg/L, E+M con 0.21±0.006 mg/L (Tabla 1). El

tratamiento E registró el valor promedio mas alto durante todo el periodo del experimento seguido del tratamiento (E+M). El ANOVA de una vía (mediciones repetidas), no mostró diferencia significativa de NAT entre las dietas suministradas ( $F = 0.93$ ;  $P=0.44$ ).

Tabla 1. Niveles de NAT (mg/L; media  $\pm$  desviación estándar) en los tratamientos sin alimento (SA), efluentes (E), microalgas (M) y efluentes mas microalgas (E+M) durante el experimento.

Día de experimento	SA	E	M	E+M
1	0.14 $\pm$ 0.040	0.15 $\pm$ 0.017	0.13 $\pm$ 0.017	0.20 $\pm$ 0.012
7	0.10 $\pm$ 0.015	0.15 $\pm$ 0.026	0.10 $\pm$ 0.015	0.13 $\pm$ 0.035
14	0.09 $\pm$ 0.010	0.21 $\pm$ 0.010	0.13 $\pm$ 0.000	0.16 $\pm$ 0.010
28	0.21 $\pm$ 0.010	0.45 $\pm$ 0.010	0.27 $\pm$ 0.006	0.21 $\pm$ 0.006
35	-	0.26 $\pm$ 0.006	0.17 $\pm$ 0.006	0.19 $\pm$ 0.010
48	-	0.20 $\pm$ 0.020	0.18 $\pm$ 0.010	0.18 $\pm$ 0.006
Promedio general	0.14 $\pm$ 0.019	0.24 $\pm$ 0.015	0.16 $\pm$ 0.009	0.18 $\pm$ 0.013

La cantidad de nitrógeno en forma de nitratos ( $N-NO_3$ ) presentó los niveles más bajos en el tratamiento SA, su nivel más elevado se observó el día 28 con una concentración de  $3.87 \pm 0.058$  mg/l. En el tratamiento M se presentaron niveles similares al SA y sin incrementos drásticos, con excepción del día 42 cuando el contenido de  $N-NO_3$  llegó a  $5.10 \pm 0.100$  mg/l. Los valores más altos se registraron en los tratamientos que tuvieron presencia de efluentes, el E+M tuvo una concentración final de  $8.07 \pm 0.058$  mg/l (día 48) y el E de  $9.77 \pm 0.208$  (Tabla 2). El ANOVA de una vía indicó que al final del experimento las

concentraciones de N-NO<sub>3</sub> obtenidas en los tres tratamientos fueron diferentes entre si (F = 885.94; P<0.0001).

### Crecimiento y sobrevivencia

Al final del experimento, el mayor peso lo obtuvieron los individuos alimentados con microalgas (247.61 ± 35.91 mg), seguidos por los que consumieron derivados de los efluentes de tilapia (219.19 ± 35.91 mg) y finalmente los que se cultivaron con una mezcla de microalgas y efluentes (148.80 ± 41.20 mg) (Figura 1). El ANOVA de una vía indicó que las dietas que promovieron el mayor crecimiento fueron la de microalgas y la de efluentes; mientras que la mezcla de microalgas con efluentes generó un peso significativamente inferior (F = 9.60; P = 0.0058).

Tabla 2. Niveles de N-NO<sub>3</sub> (media ± desviación estándar) en los tratamientos sin alimento (SA), efluentes (E), microalgas (M) y efluentes mas microalgas (E+M).

	SA	E	M	E+M
Día de experimento				
1	1.43 ±0.058	4.63 ±0.058	2.80 ±0.200	3.43 ±0.058
7	2.03 ±0.058	6.10 ±0.100	2.77 ±0.058	3.73 ±0.058
14	3.60 ±0.100	5.47 ±0.058	3.13 ±0.058	7.07 ±0.058
28	3.87 ±0.058	5.83 ±0.153	3.00 ±0.100	3.23 ±0.058
35	-	8.53 ±0.058	3.90 ±0.100	-
48	-	9.77±0.208	5.10 ±0.100	8.07 ±0.058
Promedio general	2.73 ±0.07	6.11 ±0.085	3.45 ±0.10	5.11 ±0.06

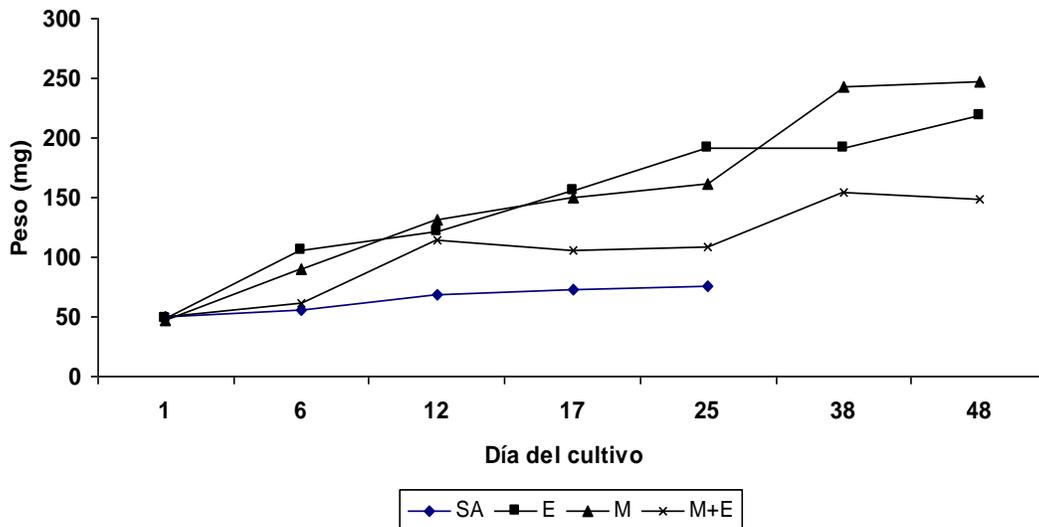


Figura 1. Peso promedio individual de *A. ventricosus* en los tratamientos sin alimento (SA), efluentes (E), con microalgas (M) y con microalgas y efluentes (M+E)

La sobrevivencia fue declinando con la edad del cultivo, al día 25, el porcentaje más alto se registró en el tratamiento con M con 80 %, seguido del tratamiento M+E con 70%, en la tercera posición estuvo el tratamiento E con 67 % y finalmente solo con 10% se encontraron las almejas que no recibieron alimento (Figura 2).

Al final del experimento el tratamiento que presento mayor sobrevivencia fue el de microalgas con 71%, seguido del tratamiento de efluentes con 59%, mientras que el tratamiento con microalgas mas efluentes, tuvo una sobrevivencia del 58% (Figura 1). El ANOVA de una vía indicó que no hubo diferencia significativa entre el tratamiento E y el M+E ( $F=11.95$ ;  $P = 0.003$ ).

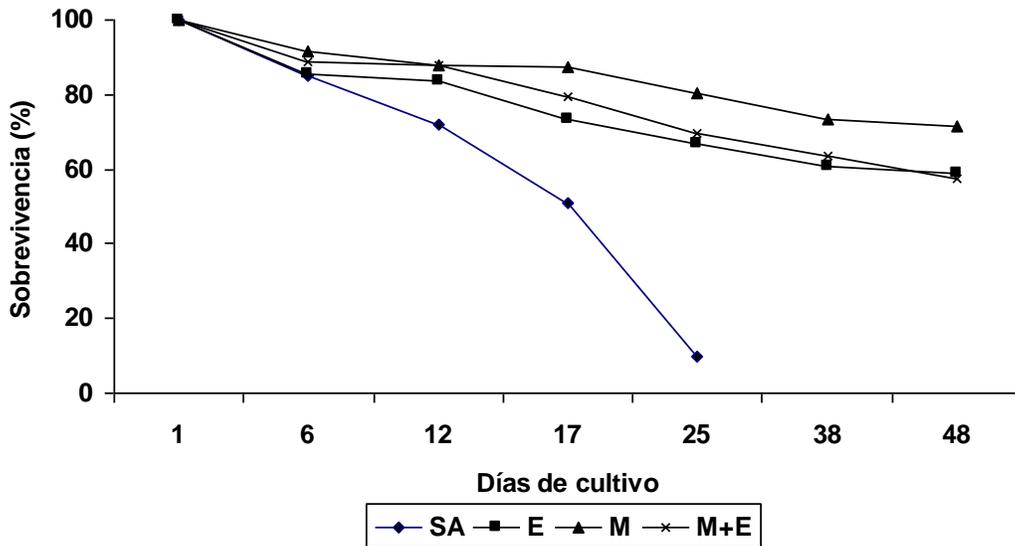


Figura 2. Supervivencia promedio en los tratamientos sin alimento (SA), efluentes (E), con microalgas (M) y con efluentes y microalgas (E+M).

La mayor tasa de crecimiento en peso se obtuvo con la dieta a base de microalgas (4.16 mg/día) sin embargo ésta fue significativamente menor a los 9.68 mg/día reportados por Esquer-Rochin (2011) para juveniles de la misma especie cultivados en una laguna costera del Estado de Sonora. Mientras que la supervivencia también fue significativamente menor comparada con el mismo estudio la cual llegó al 80%.

Los bajos niveles de NAT en todos los tratamientos, así como el incremento al final del experimento de  $N-NO_3$  son indicadores de un eficiente proceso de nitrificación en los filtros biológicos. Se comprobó que la semilla de *A. ventricosus* puede alimentarse de los derivados de los efluentes de tilapia en agua salada, sin un efecto negativo en el proceso de nitrificación del sistema de recirculación.

**Cultivo de tilapia en agua salada-ostión del pacífico (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus* – *Crassostrea gigas*).**

El estudio consistió en tres tratamientos por triplicado con una biomasa común (100 g peso vivo) de crías de tilapia (*O. mossambicus* x *O. niloticus*, previamente aclimatadas al agua salada) con pesos de 8-10 g y tres densidades de ostión (2, 4 y 8 organismos) además de un control sin ostiones. Las medidas de los ostiones al inicio del experimento fueron:  $80 \pm 0.6$  mm alto y  $0.83 \pm 0.1$  g peso seco del tejido (PST).

El sistema experimental fue colocado con 20 días de anticipación para su maduración. El experimento tuvo una duración de 35 días y se realizó en 12 tanques de plástico de con 50 L de agua, un módulo de 5 L con ostiones y un filtro biológico de 3 L con  $100 \text{ cm}^3$  de esferas de plástico virgen (3mm diámetro) en su interior como sustrato bacteriano. El agua fue impulsada a través de los tres compartimentos por una bomba tipo “air lift”, con una tasa de recirculación de 300%/día (Figura 3).

La temperatura del agua se mantuvo a  $25 \pm 2$  °C, la salinidad a  $35 \pm 2$  ‰, la alimentación de la tilapia fue a base de alimento comercial con 30% de proteína cruda y la ración diaria se estimó con base a las tablas de alimentación sugeridas por Rakocy y McGinty (1989). Cada semana se recambio aproximadamente un 10% del volumen total del sistema (5.5 L) drenando solamente el recipiente con ostiones.

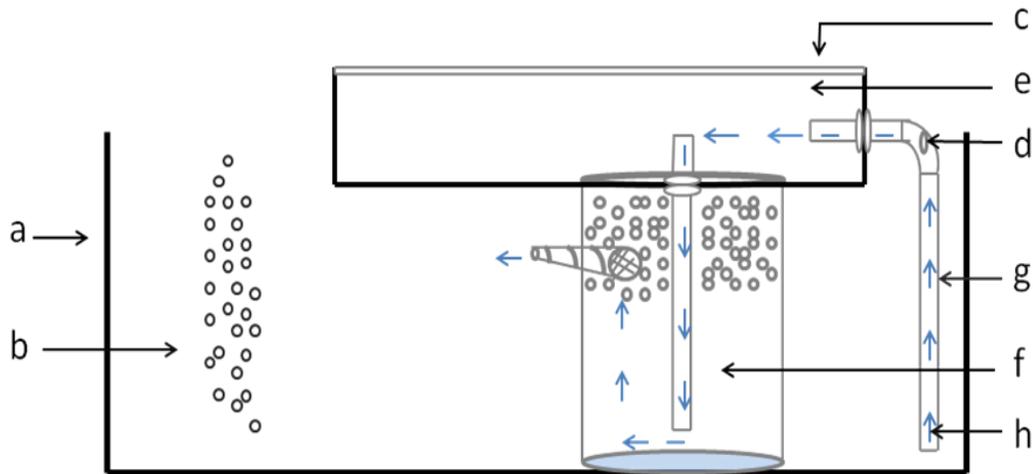


Figura 3. Sección transversal del sistema de cultivo (a).- tanque de tilapia; (b).- burbujas de aire; (c).- descarga de agua; (d).- entrada de aire; (e).- tanque de ostión (5 L); (f).- filtro biológico; (g).- tubo de interno de pvc; (h).- red de distribución del agua. Las flechas indican el sentido de circulación.

### Compuestos nitrogenados

El nivel de NAT inicial fue de  $0.001 \pm 0.0002$  mg/L mostrando un incremento a medida que avanzó el experimento; al final los valores estuvieron entre  $0.02 \pm 0.01$  y  $0.03 \pm 0.04$  mg/L el mayor nivel se registró en los tanques sin ostiones. Sin embargo, la prueba de ANOVA aplicada para comparar los valores finales, no indicó diferencia significativa (Tabla 3).

Los niveles de  $N-NO_3$  iniciales fueron de  $1.0 \pm 0.3$  mg/L y al final se ubicaron entre  $9.20 \pm 1.42$  y  $12.80 \pm 1.06$  mg/L y fueron estadísticamente semejantes. El nitrógeno total por Kjeldhal (NTK) no se detectó al inicio del experimento y al final los niveles variaron de  $15.63 \pm 1.09$  a  $27.50 \pm 1.09$  mg/L, el control presentó la concentración más elevada siendo ésta significativamente superior a los niveles alcanzados en los tanques con ostión (Tabla 3).

Tabla 3. Media ( $\pm$  DE) de nitrógeno de los compuestos nitrogenados registrados al final del experimento en el control (C) y en los tanques con 2, 4, y 8 ejemplares de *C. gigas*. Letras diferentes en el mismo renglón representan diferencias significativas ANOVA una vía ( $P < 0.05$ ;  $a < b$ ).

Variable	Tratamiento				F	P
	Control	2 O	4 O	8 O		
NAT (mg/L)	0.03 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.27	0.35
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	10.40 $\pm$ 2.69 <sup>a</sup>	10.40 $\pm$ 3.30 <sup>a</sup>	12.80 $\pm$ 1.06 <sup>a</sup>	9.20 $\pm$ 1.42 <sup>a</sup>	1.29	0.34
NTK (mg/L)	27.50 $\pm$ 1.09 <sup>b</sup>	15.63 $\pm$ 1.09 <sup>a</sup>	17.50 $\pm$ 2.87 <sup>a</sup>	17.19 $\pm$ 1.43 <sup>a</sup>	28.04	0.0001

Al inicio del experimento los niveles de clorofila a no fueron detectados en ninguno de los tratamientos debido a el agua de mar fue filtrada y pasada por una lámpara UV, pero después de la siembra de las tilapias y de los ostiones, se observó la proliferación de diatomeas bentónicas que colonizaron las paredes de los tanques de cultivo y las conchas de *C. gigas*.

Como resultado del crecimiento poblacional de las diatomeas bentónicas, al final del experimento se registraron niveles de clorofila a entre 2.70 $\pm$ 0.25 y 13.66 $\pm$ 0.19  $\mu$ g/L la menor concentración correspondió al tratamiento con ocho ostiones y la mayor a los tanques control que se mantuvieron sin ostiones. Al realizar el ANOVA se determinó que la concentración de clorofila a fue igual entre los tratamientos con 2, 4 y 8 ostiones mientras que los niveles del control fueron significativamente mayores (Tabla 4).

Los sólidos suspendidos totales (SST) no fueron detectados al inicio del experimento, sin embargo, después de 35 días de cultivo, el control registró un promedio de 6.73 $\pm$ 0.8 mg/L mientras que los tratamientos con dos y cuatro ostiones presentaron niveles hasta tres veces inferiores. La prueba de ANOVA indicó que los SST en el control fueron significativamente superiores a los tratamientos con ostiones, sin embargo entre ellos no se pudo determinar diferencia significativa, a pesar de que en el tratamiento con ocho ostiones se registraron niveles de 1.8  $\pm$  0.9 mg/L (Tabla 4).

Tabla 4. Media ( $\pm$  DE) de clorofila a y SST registrados al final del experimento en el control (C) y en los tanques con 2, 4, y 8 ejemplares de *C. gigas*. Letras diferentes en el mismo renglón representan diferencias significativas ANOVA una vía ( $P < 0.05$ )  $a < b$ .

Variable	Tratamiento				F	P
	Control	2 O	4 O	8 O		
CLa ( $\mu\text{g/L}$ )	13.66 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	3.00 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	2.80 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>	2.70 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	1014	<0.001
SST(mg/L)	6.73 $\pm$ 0.84 <sup>b</sup>	2.09 $\pm$ 1.00 <sup>a</sup>	2.44 $\pm$ 2.59 <sup>a</sup>	1.78 $\pm$ 1.35 <sup>a</sup>	6.76	0.01

El proceso de fitroalimentación de los moluscos bivalvos redujo los compuestos particulados asociados a los efluentes, en este caso, clorofila a, SST y NTK. Considerando que en el control no existió disminución de estas variables por parte de *C. gigas*, entonces se estimó con base en éste, el porcentaje de remoción en los tratamientos con 2, 4 y 8 organismos. En el caso de la clorofila a se determinó una remoción superior al 78%, mientras que para los SST superó el 63% y para el NTK rebasó el 36 % (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentajes de remoción ( $\pm$ DE) de clorofila a y de sólidos suspendidos totales en los tratamientos con *C. gigas* respecto al control.

Variable	Tratamiento			
	Control	2 O	4 O	8 O
Cla ( $\mu\text{g/L}$ )	0.00	78.04 $\pm$ 2.88	79.50 $\pm$ 2.28	80.23 $\pm$ 1.80
SST(mg/L)	0.00	68.95 $\pm$ 14.83	63.74 $\pm$ 38.47	73.55 $\pm$ 20.02
NTK (mg/L)	0.00	43.16 $\pm$ 3.95	36.36 $\pm$ 10.42	37.49 $\pm$ 5.19

### Crecimiento y sobrevivencia

Al final del periodo de cultivo, el incremento en alto de *C. gigas* varió entre 0.16 $\pm$  0.19 y 9.63 $\pm$ 3.62 mm, el crecimiento registrado en el tratamiento con dos ostiones fue significativamente superior al los que contenían cuatro y ocho ejemplares (Tabla 5).

El incremento en el peso seco del tejido (PST) presentó diferencia significativa entre los tratamientos, en este caso se determinaron tres grupos de medias (Tabla 5). El menor incremento ( $0.09\pm 0.18$  g) se registró en el tratamiento con ocho ostiones y el mayor ( $0.56\pm 0.57$  g) con dos ostiones, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en incremento en el alto (Tabla 5).

Al igual que en el experimento anterior los bajos niveles de NAT en todos los tratamientos, así como el incremento al final del experimento en  $N-NO_3$  indicaron un eficiente proceso de nitrificación en el sistema. Los niveles de los componentes particulados fueron significativamente inferiores en los cultivos integrados, las máximas reducciones obtenidas fueron de 80.23 % para la clorofila a, 73.5% para SST y 43.16 % para el NTK.

Tabla 5. Incremento en alto y en peso (Media  $\pm$  DE) registrado durante 35 días de cultivo en el control (C) y los tanques con 2, 4 y 8 ejemplares de *C. gigas*. Letras diferentes en el mismo renglón representan diferencias significativas ANOVA una vía ( $P < 0.05$ )  $a < b < c$ .

Variable	Tratamiento			F	P
	2 Ost.	4 Ost.	8 Ost.		
Inc. alto (mm)	$9.63\pm 3.62^b$	$0.7\pm 0.29^a$	$0.16\pm 2.19^a$	44.68	1.05E-10
Inc. PST (g)	$0.56\pm 0.57^c$	$0.1\pm 0.51^b$	$0.09\pm 0.18^a$	76.13	5.11E-14

En el caso de los carbohidratos, se observó una disminución significativa entre los ostiones tomados al inicio y los que se mantuvieron integrados al cultivo de tilapia (ANOVA;  $F=8.12$ ,  $P < 0.001$ ) (Tabla 6). El nivel más bajo correspondió al tratamiento con dos ostiones con un promedio de  $4.8\pm 1.52$  %.

El contenido de proteína en el tejido al inicio del cultivo fue de  $61.93\pm 3.1\%$  y al final los porcentajes variaron de  $44.3\pm 0.56$  a  $46.5\pm 1.29$  %, los valores obtenidos al finalizar el experimento fueron significativamente menores a los que se registraron al inicio del experimento (Tabla 6).

El porcentaje inicial de lípidos fue significativamente diferente al tratamiento con dos ostiones y similar a los tratamientos con cuatro y ocho ostiones (ANOVA;  $F=3.40$ ,  $P=0.01$ ). Los ejemplares de *C. gigas* presentaron un mayor índice de condición al inicio del experimento ( $41.8\pm 0.6$ ), con una disminución al final del estudio de entre 8.6 y 11.4 unidades (Tabla 6). Miranda-Baeza *et al.* (2010) discuten los cambios en la composición proximal, ocurridos durante el experimento.

Tabla 6. Composición proximal (g/100 g tejido) en base seca del tejido de *C. gigas* (Media  $\pm$  DE) registrado al inicio y al final del experimento. Letras diferentes en el mismo renglón representan diferencias significativas ANOVA una vía ( $P<0.05$ )  $a<b<c$ .

Variable	Tratamiento				F	P
	Inicial	2 Ost.	4 Ost.	8 Ost.		
Carbohidratos	14.5 $\pm$ 5.4 <sup>b</sup>	4.8 $\pm$ 1.52 <sup>a</sup>	5.1 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 0.98 <sup>a</sup>	8.12	<0.001
Proteínas	61.9 $\pm$ 3.1 <sup>b</sup>	45.1 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	46.5 $\pm$ 1.29 <sup>a</sup>	44.3 $\pm$ .56 <sup>a</sup>	38.37	<0.001
Lípidos	5.3 $\pm$ 0.6 <sup>ab</sup>	7.0 $\pm$ .32 <sup>cb</sup>	6.5 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	5.8 $\pm$ 0.51 <sup>ab</sup>	3.40	0.01
IC	41.8 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	30.4 $\pm$ 8.7 <sup>a</sup>	33.2 $\pm$ 6.9 <sup>a</sup>	31.0 $\pm$ 6.1 <sup>a</sup>	9.60	<0.001

### **Camarón-moluscos-macroalgas (*Litopenaeus vannamei*-*Mytella guyanensis*-*Gracilaria vermiculophylla*).**

Además de los moluscos, las macroalgas han sido utilizadas en los cultivos multitroóficos con peces y camarón. Dentro de los sistemas, las macroalgas son capaces de reutilizar los nutrientes disueltos (Kautsky *et al.* 1997; Hernández *et al.*, 2002; Troell *et al.* 1999).

En éste cultivo multitroífico se utilizaron tres especies en un mismo sistema de recirculación. Cuando el número de especies incrementa, lo hace también la complejidad del sistema, sin embargo, solo en éste punto se puede considerar el uso integral del nitrógeno proveniente del alimento peletizado. Debido a que las instalaciones de un sistema de recirculación tienen un costo elevado, se trabajó con altas densidades de camarón, moluscos y macroalgas.

Los organismos utilizados fueron camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, mejillón *Mytella guyanensis* y la macroalga *Gracilaria vermiculophylla* las tres especies son endémicas del Golfo de California. En el caso del mejillón y de la macroalga, presentan potencial para su uso comercial.

El mejillón ha sido utilizado por otros investigadores en cultivos integrados y se caracteriza por tener elevadas tasas de filtración, sin embargo no se encontraron reportes específicos para *Mytella guyanensis*. Por otro lado algunas especies del género *Gracilaria* han sido usadas como biofiltros en cultivos acuícolas como *Gracilaria parvispora* (Nelson *et al.* 2001), *G. edulis* (Kaladharan *et al.* 1996; Jones *et al.* 2001); *G. tikvahiae* (Kinne *et al.* 2001) y *G. tenuistipitata* Liu *et al.* (1997). Además de experiencias previas generadas por el grupo de investigadores.

### **Descripción del sistema experimental**

El estudio se realizó al exterior, se utilizó un diseño completamente al azar, consistió en tres tratamientos, por triplicado y un control en un sistema de recirculación tradicional que incluyó un módulo de remoción de sólidos y un módulo de nitrificación y de desgasificación. Se colocaron 12 unidades experimentales (tanques circulares de plástico) con 200 L de agua de mar, cada tanque estuvo unido a un módulo de mejillón y éste a su vez a uno de macroalgas (Figura 4). Los juveniles de camarón fueron sembrados a una biomasa común (230 g/tanque; 1,150 g/m<sup>3</sup>) con peso individual de 8.2±0.4 g y fueron seleccionados aleatoriamente para colocarlos en los tanques experimentales a una densidad de 150 ind/m<sup>3</sup>. El agua del tanque con camarón pasó a un modulo de 10 L con mejillones a tres densidades 2, 4 y 8 ind/módulo (200, 400 y 800 ind/m<sup>3</sup>). Las medidas de los mejillones al inicio del experimento fueron: 6 a 7 cm de longitud y 105.5 ± 4.8 g peso vivo (PV). Posteriormente el agua de los mejillones pasó a un contenedor de 20 L con macroalgas a densidades de 200, 400 y 800 g/contenedor (10,000, 20,000 y 40,000 g/m<sup>3</sup>), finalmente fue

impulsada con una bomba sumergible de 8w (100 L/h) y regresó al tanque de camarón (Figuras 4 y 5).

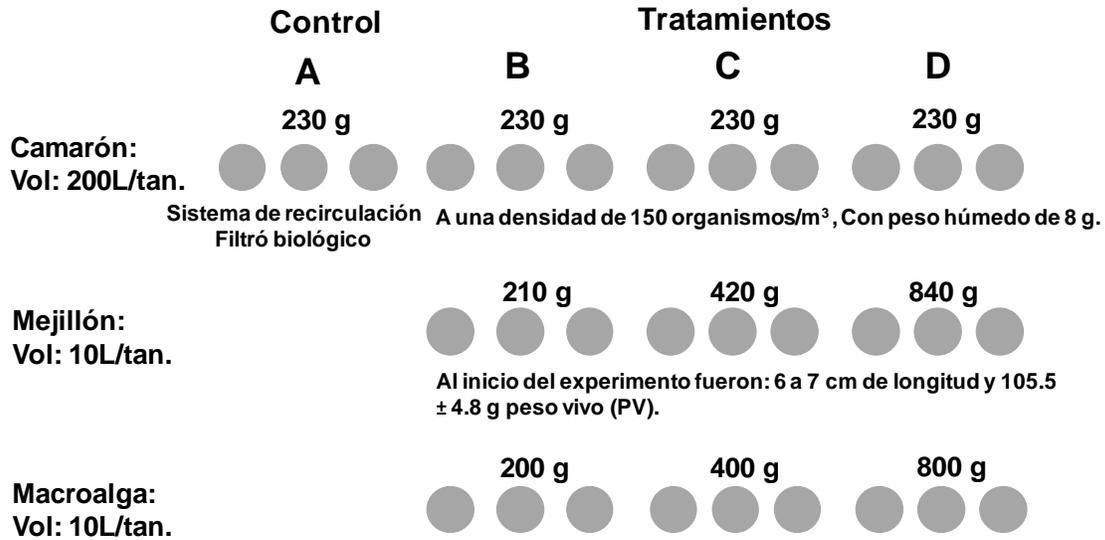


Figura 4. Descripción de los tres tratamientos y el control (sistema de recirculación).

El sistema experimental fue colocado con 20 días de anticipación para su maduración. La aireación se suministro mediante un soplador eléctrico de 1/3 HP de potencia y fue conducido a través de mangueras de plástico, finalizando en una piedra aireadora dentro de cada tanque, para mantener aireación homogénea en la columna de agua.

Pasado el periodo de aclimatación y de estabilización del sistema, el experimento tuvo una duración de 45 días. La temperatura del agua estuvo en función del ambiente y la salinidad se mantuvo a 35 ‰. En los cultivos multitróficos no se realizaron recambios de agua solamente se repuso aquella que se perdió por evaporación y la que se perdió durante el sifoneo de los de los módulos con mejillón. La alimentación del camarón fue a base de alimento peletizado con 35 % de proteína cruda (Ziegler ®) y la ración alimenticia fue asignada con base en la demanda mediante revisión diaria de remanentes en el fondo de los tanques.

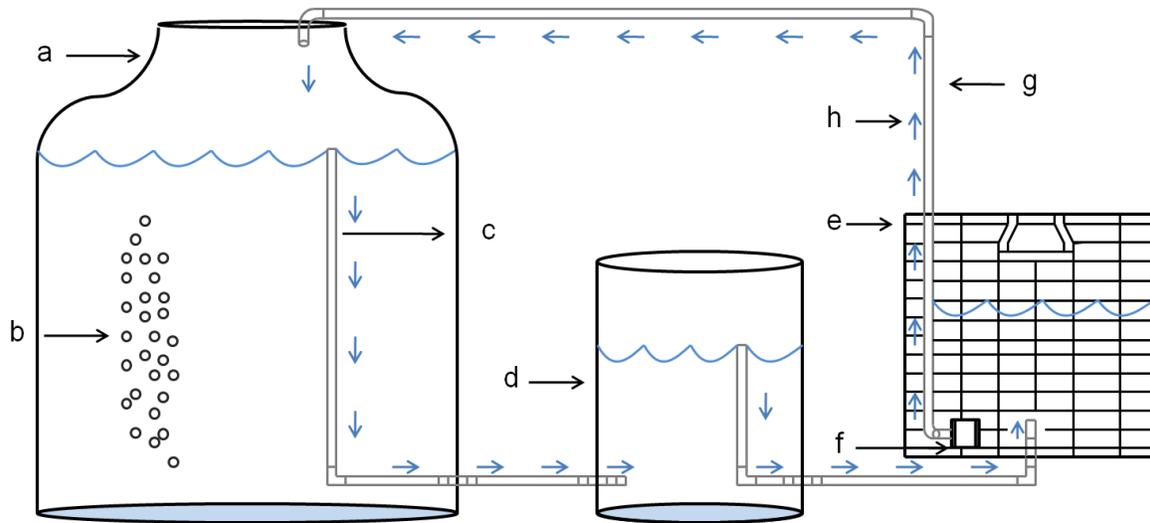


Figura 5. Sección transversal del tanque del cultivo (a).- Tanque de camarón (200L); (b).- Burbujas de aire; (c).- Tubo interno de pvc; (d).- Tanque de mejillón (20L); (e).- Tanque de macroalga (120L); (f).- Bomba sumergible de 8w (100 L/h); (g).- Tubo externo de pvc; (h).- Red de distribución de agua. Las flechas indican el sentido de circulación de agua.

Considerando el volumen total de agua que tuvo cada unidad experimental 230 L (módulo de camarón: 200L; módulo de mejillón: 10L y módulo de macroalga: 20L) la biomasa total (camarón+mejillón+macroalga) varió desde 1.00 a 8.13 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 6). El porcentaje de biomasa inicial correspondiente al camarón varió desde 100% (tratamiento A) hasta el 12% (tratamiento D). El mejillón representó entre el 33 y el 45% de la carga del sistema, mientras que la macroalga entre el 31 y el 43%.

Entre los tratamientos la carga total en peso vivo tuvo un intervalo muy amplio siendo de 1.00 kg/m<sup>3</sup> para el A y de 8.13 kg/m<sup>3</sup> para el D (Tabla 6).

Tabla 6. Carga de biomasa (Kg) por especie en cada uno de los tratamientos y su extrapolación a un metro cúbico (porcentaje entre paréntesis).

	Tratamientos			
	A	B	C	D
kg/230 L de agua (Unidades experimentales)				
Camarón	0.23	0.23	0.23	0.23
Mejillón	-	0.21	0.42	0.84
Macroalga	-	0.20	0.40	0.80
Total	0.23	0.64	1.05	1.87
kg/m <sup>3</sup> de agua (Extrapolado)				
Camarón	1.00 (100)	1.00 (36)	1.00 (22)	1.00 (12)
Mejillón	-	0.91(33)	1.82 (40)	3.65 (45)
Macroalga	-	0.87 (31)	1.74 (38)	3.48 (43)
Total peso vivo	1.00	2.78	4.56	8.13

### Compuestos nitrogenados

El NAT estuvo entre 0.14 y 0.23 mg/L. Los tratamientos B y D presentaron niveles significativamente superiores a los del control. Los nitritos N-NO<sub>2</sub>, tuvieron valores de 0.21 (A) a 0.85 mg/L (B); en este caso se presentó diferencia entre el control y el resto de los tratamientos. El nitrato fue la forma química de N inorgánico más abundante con valores de 13 a 23 mg/L, la menor concentración correspondió al tratamiento A, y las mayores a los tratamientos B, C y D. El nitrógeno total por Kjeldalh (NTK) en los tanques de camarón fue de 2.60 mg/L, significativamente inferior entre el control y los cultivos multitróficos los cuales llegaron hasta 31.13 mg/L (D) (tabla 7).

El NTK que fue removido durante los retrolavados del tratamiento control y por sifoneo de los módulos los mejillones varió de 23.33 a 74.60 mg/L. El menor correspondió al control mientras que los niveles máximos se registraron en los tratamientos C y D (Tabla 7).

Tabla 7. Compuestos nitrogenados (Media  $\pm$  DE) registrados durante todo el experimento en control (A) y en los cultivos integrados con *M. guyanensis* y *G. vermiculophylla* (B, C y D). Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencias significativas ANOVA de una vía con mediciones repetidas ( $P < 0.05$ )  $a < b$ .

Variable	Tratamiento			
	A	B	C	D
NAT (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> ; mg/L)	0.14 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.23 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.16 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>	0.20 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.21 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.85 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.78 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	0.84 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	13.00 $\pm$ 2.30 <sup>a</sup>	21.00 $\pm$ 1.50 <sup>b</sup>	21.00 $\pm$ 1.20 <sup>b</sup>	23.00 $\pm$ 3.80 <sup>b</sup>
NTK (mg/L)	2.60 $\pm$ 1.60 <sup>a</sup>	21.40 $\pm$ 0.53 <sup>b</sup>	21.80 $\pm$ 4.34 <sup>b</sup>	31.13 $\pm$ 11.23 <sup>b</sup>
NTK (mg/L) efluente	23.33 $\pm$ 4.47 <sup>a</sup>	72.00 $\pm$ 16.08 <sup>b</sup>	74.60 $\pm$ 12.10 <sup>b</sup>	55.70 $\pm$ 14.23 <sup>b</sup>

### Crecimiento y sobrevivencia

El peso final de los camarones varió de 15.16 a 16.30 g sin diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). El incremento semanal superó el gramo/semana en todos los tratamientos y fue similar entre el control y los cultivos integrados ( $P > 0.05$ ). La biomasa final varió de 2.07 a 2.42 kg/m<sup>3</sup> sin diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). La mayor sobrevivencia se registró en el tratamiento B en el cual casi llegó al 100%, mientras que la menor se registró en el tratamiento C con 90.38%, a pesar de esto no se registraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) (Tabla 8).

Tabla 8. Características productivas (media  $\pm$  DE) de *L. vannamei* en los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento			
	A	B	C	D
Peso inicial (g/ind)	8.22 $\pm$ 0.40	8.22 $\pm$ 0.40	8.22 $\pm$ 0.40	8.22 $\pm$ 0.40
Peso final (g/ind)	16.30 $\pm$ 0.51	15.16 $\pm$ 1.11	16.19 $\pm$ 1.04	15.65 $\pm$ 0.07
Incremento (g/sem/ind)	1.26 $\pm$ 0.19	1.05 $\pm$ 0.17	1.21 $\pm$ 0.12	1.17 $\pm$ 0.12
Biomasa inicial (Kg/m <sup>3</sup> )	1.15 $\pm$ 0.04	1.16 $\pm$ 0.09	1.15 $\pm$ 0.05	1.15 $\pm$ 0.10
Biomasa final (Kg/m <sup>3</sup> )	2.42 $\pm$ 1.28	2.07 $\pm$ 0.40	2.24 $\pm$ 0.72	2.26 $\pm$ 0.96
Sobrevivencia (%)	92.18 $\pm$ 3.80	98.85 $\pm$ 1.99	90.38 $\pm$ 5.59	91.78 $\pm$ 8.65

El mejillón presentó un peso final de 111 a 123 g/ind. El incremento en peso vivo varió de 0.46 a 0.83 g/ind/sem el menor correspondió al tratamiento D y el mayor al B, aunque no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). La biomasa inicial fue diferente en los tratamientos, la menor (1.05 Kg/m<sup>3</sup>) correspondió al tratamiento B y la mayor (3.85 Kg/m<sup>3</sup>) al D ( $P < 0.05$ ); sin embargo al final del experimento solo se registró incremento en el tratamiento B, mientras que en el C y D se registró una pérdida de biomasa de entre 0.05 y 1.93 Kg/m<sup>3</sup>, siendo el tratamiento D el que registró la mayor pérdida (Tabla 9). La sobrevivencia fue disminuyendo conforme aumentó la densidad del cultivo la mayor fue del 100% y correspondió al tratamiento B; mientras que la menor llegó al 58.33% y se registró en el tratamiento D.

Tabla 9. Características productivas (media  $\pm$  DE) de *M. guyanensis* en los diferentes tratamientos. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencias significativas ANOVA de una vía ( $P < 0.05$ )  $a < b < c$ .

Variable	Tratamiento			
	A	B	C	D
Peso inicial (g/ind)	-	120.58 $\pm$ 11.80	109.98 $\pm$ 5.62	110.86 $\pm$ 2.90
Peso final (g/ind)	-	123.24 $\pm$ 10.92	111.26 $\pm$ 5.59	111.86 $\pm$ 3.11
Incremento (g/sem/ind)* <sup>1</sup>	-	0.83 $\pm$ 0.50	0.60 $\pm$ 0.33	0.46 $\pm$ 0.66
Biomasa inicial (Kg/m <sup>3</sup> )	-	1.05 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	1.91 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	3.85 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>
Biomasa final (Kg/m <sup>3</sup> )	-	1.07 $\pm$ 0.09	1.44 $\pm$ 0.07	1.92 $\pm$ 0.77
Sobrevivencia (%)	-	100 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	75.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	58.33 $\pm$ 14.33 <sup>a</sup>

\*<sup>1</sup> Se consideraron solo los organismos que finalizaron vivos

Al final del periodo de cultivo, la macroalga tuvo una densidad de 0.93 kg/m<sup>3</sup> en el tratamiento B, de 1.77 kg/m<sup>3</sup> en el C y de 3.10 kg/m<sup>3</sup> en el D. Se registró una relación inversa entre la densidad de cultivo y el crecimiento de *G. vermiculophylla*. El máximo crecimiento (0.13 kg/sem/m<sup>3</sup>) se registró en el tratamiento B, mientras que en el C ésta variable se redujo a la mitad (0.06 kg/sem/m<sup>3</sup>) y en el D hubo una pérdida de biomasa de 0.37 kg/sem/m<sup>3</sup> (Tabla 10).

Tabla 10. Características productivas (media  $\pm$  DE) de *G. Vermiculophylla* en los diferentes tratamientos. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencias significativas ANOVA de una vía ( $P < 0.05$ )  $a < b < c$ .

Variable	Tratamiento			
	A	B	C	D
Biomasa inicial (Kg/m <sup>3</sup> )	-	0.87 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.74 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.48 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
Biomasa final (Kg/m <sup>3</sup> )	-	0.93 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	1.77 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	3.10 $\pm$ 0.41 <sup>c</sup>
Incremento (kg/sem/m <sup>3</sup> )*	-	0.13 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	-0.37 $\pm$ 0.01

\* Prueba de t de student de comparaciones pareadas ( $P > 0.05$ )

### Contenido de N en el tejido de camarón, mejillón y macroalga

Al inicio del estudio el tejido del camarón tuvo un contenido de N de 12.63 g/100 PS. Los niveles finales fueron de 13.0 g/100 PS en el tratamiento A, de 13.9 g/100 PS en el B, de 13.7 g/100 PS en el C y de 14.1 g/100 PS en el D. Éstas cifras indican que el contenido de mejillones y de macroalgas en el sistema de cultivo provocó un ligero enriquecimiento de N en el tejido de camarón, sin embargo no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ) (Tabla 11).

El contenido de N en el tejido de mejillón, no registró cambios entre el inicio y el final del estudio y tampoco entre los tratamientos. Los niveles se mantuvieron muy cercanos a 12 g/100 PS en todos los casos (Tabla 11).

La macroalga cosechada en los cultivos integrados tuvo una concentración de N de 1.91 a 2.61 g/100 PS, el menor nivel correspondió al tratamiento B y el mayor al D. En éste caso se repitió el fenómeno observado en el tejido de camarón, un aumento en la densidad de

siembra generó un enriquecimiento de N en el tejido. Mediante el ANOVA no se pudieron determinar diferencias significativas (Tabla 11).

Tabla 11. Contenido de N en (g N/100g peso seco de tejido; Media  $\pm$  DE) en el camarón, mejillón y macroalga, al inicio y final del estudio en los diferentes tratamientos.

	Inicial		Final		
	I	A	B	C	D
Camarón	12.63 $\pm$ 0.45	13.0 $\pm$ 1.25	13.9 $\pm$ 1.71	13.70 $\pm$ 0.75	14.1 $\pm$ 0.52
Mejillón	12.12 $\pm$ 1.20	-	12.10 $\pm$ 0.30	12.17 $\pm$ 0.25	11.97 $\pm$ 0.72
Macroalga	1.91 $\pm$ 0.19	-	1.91 $\pm$ 0.43	2.25 $\pm$ 0.25	2.61 $\pm$ 0.47

## Conclusiones

Es factible utilizar el nitrógeno proveniente del alimento peletizado como fuente de nitrógeno para los moluscos bivalvos y para las macroalgas en cultivos multitróficos con recirculación de agua.

Los cultivos multitróficos en sistemas de recirculación, permiten minimizar el recambio de agua sin que se afecten significativamente los procesos de nitrificación, manteniendo niveles bajos de NAT (inferiores a los reportados como críticos; 2.0 mg/L Masser *et al.*, 1998).

## Agradecimientos

El financiamiento provino de los proyectos:

PROMEP: Biorremediación de efluentes acuícolas mediante el uso de especies endémicas de moluscos filtradores, tapetes de diatomeas bentónicas y vegetales (DPECI/030/08).

CESUES: Biorremediación de efluentes de camarón mediante moluscos bivalvos y diatomeas bentónicas (DPECI/062/09).

## Referencias

- Barg U.C. (1992) Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development (based on a review of selected experiences and concepts). FAO Fisheries Technical Paper No. 328. FAO. Rome, 122 pp.
- Boyd C.E. (2003) Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* **226**, 101-112 p.
- Casillas-Hernández, R., F. Magallón-Barajas, C. G. Portillo y F. Páez-Osuna (2006) Nutrient mass balance in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, México using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture* **258**, 289-298.
- Chopin T, Buschmann A.H., Halling C., Troell M., Neori, A, Kraemer G.P., Zertuche-González J.A, Yarish y C, Neefus (2001) Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: key toward sustainability. *Journal of Phycology* **37**, 975-986.
- Equer-Rochin J. Arturo (2011) Crecimiento y sobrevivencia de de almeja voladora *Argopecten ventricosus* en tres sistemas de cultivo en una laguna costera del estado de Sonora. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Acuicultura. Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, Navojoa. Sonora México, 38p.
- Ghaly, A.E., M. Kamal y N.S. Mahmoud (2005) Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environment International* **31**, 1-13.
- Helm, M., N. Bourne and A. Lovatelly (2004) Hatchery culture of bivalves. A practical manual. FAO Fisheries Technical Paper. No. 471. FAO, Rome.
- Hernández I., J.F. Martínez Aragón, A. Tovar, J.L. Pérez-Lloréns and J.J. Vergara (2002) Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium. *Journal of Apply Phycology* **14**, 375-384.
- Jones A.B., W.C. Dennison, N.P. Preston (2001) Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* **193**, 155-178.
- Kaladharan P, Vijayakumaran K, Chennubhotla VSK (1996) Optimization of certain physical parameters for the mariculture of *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva in Minicoy lagoon (Laccadive Archipelago) *Aquaculture* **139**, 265-270.
- Kinne PN, Samocha TM, Jones ER (2001) Characterization of intensive shrimp pond effluent and preliminary studies on biofiltration. *North American Journal Aquaculture* **63**, 25-33.
- Lefebvre, S., L. Barrillé y M. Clerck (2000) Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture* **187**, 185-198.

- Liu SJ, Jie ZY, Zeng SF (1997) The commercial cultivation of *Gracilara* and its polyculture with prawn in China. *Journal of Zhanjiang Ocean University* **17(2)**, 27–30.
- Masser, M.P., Rakocy, J., Losordo, T.M. (1998). Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems, Southern Regional Aquaculture Center, no 452, pp.1-12.
- Miranda-Baeza, A., D. Voltolina y B. Cordero-Esquivel (2006) Filtration and clearance rates of *Anadara grandis* juveniles (Pelecypoda, Arcidae) with different temperatures and suspended matter concentrations. *International Journal of Tropical Biology* **54 (3)**, 787-792.
- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D., M. A. Brambila-Gómez, M. G. Frías-Espericueta y J. Simental (2007) Effluent characteristics and nutrient loading of a semi-intensive shrimp farm in NW México. *Vie et milieu - Life and environment* **57 (1/2)**, 21-27.
- Miranda-Baeza A., J. Lizarraga-Armenta, Rivas-Vega M., López-Elías J. A. and M. Nieves-Soto (2010) Integrated Culture of Tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) and Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) in a Recirculation System. *Journal of the World Aquaculture Society* **41(5)**, 763-771.
- Nelson, S., E. Glenn, J. Conn, D. Moore, T. Walsh & M. Akutagawa (2001) Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system *Aquaculture* **193(3/4)**, 239-248.
- Páez-Osuna, F., (2001) Eutroficación y camaronicultura. En: Camaronicultura y Medio ambiente. F. Páez-Osuna (Ed.). Unidad Académica Mazatlán. UNAM. Mazatlán, Sinaloa, México. pp. 173-190.
- Rakocy, J.E. (1989) Tank culture of tilapia. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC publication No. 282.
- Rodier J. (1981) Análisis de las aguas. Omega. Barcelona. 1059 p.
- CONAPESCA (2009) Anuario estadístico de acuicultura y pesca, 2009. Comisión nacional de acuicultura y pesca. Disponible en:  
[http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario\\_2009\\_capitulo\\_i\\_preliminar](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2009_capitulo_i_preliminar)
- Timmons M.B., J.M. Ebeling, F.W. Weaton, S.T. Summerfelt and B.J. Vinci. 2002. Recirculating Aquaculture Systems. NRAC Publications. United States.
- Troell M. P., Rönnbäck, C Halling, N Kautsky y AH Buschmann (1999) Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *Journal of Applied Phycology* **11**, 89-97.