

Avances en el Cocultivo de Camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la Macroalga *Ulva clathrata* en la Costa Occidental de Baja California.

Alberto Peña-Rodríguez^{1*}, Francisco Javier Magallón-Barajas², Lucía Elizabeth Cruz-Suárez³, Regina Elizondo-González⁴, Armando León⁴ and Benjamin Moll⁴

¹ Catedrático CONACYT comisionado al CIBNOR. ² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S., 23090, México. ³ Programa Maricultura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Cd. Universitaria F-67, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 66450. México.

⁴ Aonori Aquafarms Inc., 8684 Avenida de la Fuente Suite 11, San Diego, CA 92154, US.

*E-mail: apena@cibnor.mx

Resumen

La integración de macroalgas en los sistemas de cultivo acuícolas, es una alternativa para expandir la industria de una manera sustentable y amigable con el medio ambiente. En 2012, la empresa Aonori Aquafarms inicio la operación de su granja piloto para el cocultivo de camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes) y la macroalga verde *Ulva clathrata* (Roth). En 2012, la producción de camarón fue de 2.5 toneladas métricas por hectárea, utilizando larvas nacidas en el laboratorio a partir de camarones reproductores capturados del medio silvestre. Para 2013, la producción de camarón se incrementó a 3.8 toneladas métricas por hectárea, utilizando larvas de camarón a partir de reproductores nacidos en cautiverio. El aporte nutricional de la *Ulva* al camarón representa al menos el 50% del total de la dieta, obteniendo una tasa de conversión del alimento peletizado (TCAp) de entre 0.5 y 0.8 tanto a nivel experimental en laboratorio como en estanques de cocultivo, en contraste al monocultivo del mismo camarón café la TCAp es de 1.4 o más. En el presente trabajo se describen algunos de los avances más recientes en el cocultivo del camarón *F. californiensis* y la macroalga *U. clathrata*, demostrando con éxito la viabilidad de sistema.

Palabras clave: camarón café, macroalga, cocultivo

Introducción

La acuicultura es uno de los sectores de producción de alimentos con mayor crecimiento en el mundo, lo que implica una mayor demanda de alimentos balanceados. La producción de camarón y de macroalgas marinas por acuicultura, representaron en 2013 un mercado de más 22,600 millones de dólares y 5,400 millones de dólares (USD) respectivamente (FAO 2013). El cultivo de camarón ha presentado una tasa de crecimiento de más del 18% anual en los últimos 20 años (Benzie 2009). El volumen actual de producción en el mundo sobrepasa los 4 millones de toneladas, siendo en su mayor parte de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (FAO 2013). Sin embargo, los intervalos ideales de temperatura para el crecimiento de esta especie están limitados a zonas tropicales y, en algunas épocas del año, a subtropicales por lo que existe un área de oportunidad para el cultivo de especies de camarón en regiones de aguas templadas, tales como el camarón café *Farfantepenaeus californiensis*. El camarón café se encuentra ampliamente distribuido en el Pacífico Oriental desde la bahía de San Francisco, en Estados Unidos, hasta Paita, Perú (Hendrickx 1996). El camarón *F. californiensis* ha demostrado crecer a una tasa razonable a temperaturas alrededor de 20°C, por lo que esta especie es buen candidato para ser cultivado durante el invierno en el Golfo de California, y en aguas más frías en la costa occidental de la Península de Baja California (Martínez-Córdova, Porchas-Cornejo, Villarreal-Colmenares y Calderón-Pérez 1998; Ocampo, Villarreal, Vargas, Portillo y Magallón 2000; Portillo-Clark, Casillas-Hernández, Servín-Villegas y Magallón-Barajas 2013).

Por el otro lado, las macroalgas marinas son una fuente valiosa de nutrientes y se han utilizado como alimento desde hace más de 2000 años, especialmente en Asia. En la actualidad el uso de macroalgas se ha diversificado debido a que contienen compuestos con actividad biológica específica, por lo que son utilizados en productos con alto valor agregado, nutraceuticos, farmaceuticos, aditivos alimenticos entre otros (Holdt y Kraan 2011). Debido al incremento en la demanda generado por su amplia utilización en diferentes campos, en la actualidad sólo es posible cubrir la demanda utilizando métodos de

cultivo en gran escala (acuicultura). Desde la década de los 1970's se iniciaron los esfuerzos por desarrollar cultivos de especies de macroalgas de importancia económica, debido a que desde entonces se reconocía una disminución y limitación en las poblaciones naturales (Gellenbeck y Chapman 1983). Por ejemplo, en cultivos experimentales de las macroalgas rojas *Hypnea musciformis* y *Gracilaria sp.* en tanques de 350 y 600 L con mezclas de agua marina y agua de desecho acuícola, se obtuvieron cosechas tan altas como en los cultivos masivos de microalgas marinas, o como en cultivos comerciales de caña de azúcar o arroz (Lapointe, Williams, Goldman y Ryther 1976). Existen diversos métodos de cultivo de macroalgas en mar abierto, donde se utilizan balsas flotantes, líneas de monofilamento fijas entre postes anclados en el fondo, largas líneas flotantes entre otros (Pickering 2006). En el caso de la macroalga verde *Ulva clathrata*, Moll y Deikman (1995) demostraron el gran potencial para el desarrollo del cultivo de esta alga de acuerdo a su alta velocidad de crecimiento y tolerancia a un rango amplio de temperaturas y salinidad; posteriormente Moll (2004) desarrolló una tecnología patentada de cultivo de la macroalga en estanques similares a los de cultivo para camarón.

Con el incremento en el costo de ingredientes prácticos como la harina y aceite de pescado, es necesario desarrollar alimentos balanceados más eficientes además de nuevas tecnologías de cultivo que permitan continuar con el crecimiento de la industria acuícola sin incrementar significativamente los costos de producción. Dentro de las estrategias de desarrollo de nuevas tecnologías de cultivo, están los policultivos o cultivos integrados, donde desde hace décadas se discute las compatibilidades de los organismos para la convivencia espacial y/o temporal (Bardach 1986), donde se busca maximizar la utilización del alimento mediante la combinación de especies con hábitos y necesidades nutricionales diferentes, además de proponer tecnologías sustentables no solo en la parte ecológica sino también en la económica (Neori, Chopin, Troell, Buschmann, Kraemer, Halling, Shpigel y Yarish 2004). La integración de las macroalgas en granjas acuícolas se ha propuesto como una alternativa para expandir esta industria de una manera sustentable y amigable con el medio ambiente (Chopin, Buschmann, Halling, Troell, Kautsky, Neori, Kraemer, Zertuche-González, Yarish y Neefus 2001; Neori 2007).

En la mayoría de los estudios realizados para determinar los beneficios de cocultivo de camarón y macroalgas (especialmente clorofitas), se ha encontrado una mejoría en el rendimiento productivo del camarón. En el caso del camarón café *F. californiensis*, se observó un incremento en el crecimiento en presencia de la macroalga verde *Caulerpa sertularioides* (Porchas-Cornejo, Martínez-Córdova, Magallón-Barajas, Naranjo-Páramo y Portillo-Clark 1999; Portillo-Clark *et al.* 2013). En camarón blanco *L. vannamei* cocultivado con la macroalga verde *U. clathrata* se mejoró la tasa de crecimiento así como una mayor pigmentación y disminución del contenido de lípidos en el músculo del camarón (Cruz-Suárez, León, Peña-Rodríguez, Rodríguez-Peña, Moll y Ricque-Marie 2010). En el camarón tigre *Penaeus monodon* se mejoró su crecimiento y redujo su tasa de conversión alimenticia en cocultivo con la macroalga *Chaetomorpha sp.* (Tsutsui, Songphatkaew, Meeanan, Aue-umneoy, Sukchai, Pinphoo, Klomkling, Ganmanee, Sud y Hamano 2015). En camarones *L. vannamei* y *Penaeus penicillatus* se ha visto mejores crecimientos en cocultivo con la macroalga roja *Gracilaria sp.* que en monocultivo (Liu, Jie y Zeng 1997; Xu, Fang y Wei 2008). Brito, Arantes, Magnotti, Derner, Pchara, Olivera y Vinatea (2014) encontraron que la inclusión de *Ulva lactuca* en biofloc promueve el crecimiento del camarón *L. vannamei*, además de la absorción de los nutrientes en el agua y en un sistema de cultivo intensivo.

El cocultivo de camarones y algas marinas se inició en México por la empresa Aonori Aquafarms Inc., con el uso de camarón blanco *L. vannamei* y la macroalga *U. clathrata* (Cruz-Suárez *et al.* 2010), sin embargo, *L. vannamei* tiene su temperatura óptima para el desarrollo alrededor de 30°C, mientras que *U. clathrata* tiene un crecimiento limitado después de 30°C, por lo que este sistema con ambas especies tenía limitaciones para ciclos de cocultivo prolongados. La empresa Aonori Aquafarms, está basada en San Diego, California y ha operado con instalaciones productivas en Los Mochis, Sinaloa y en San Quintín, Baja California, donde recientemente terminó su proyecto piloto comercial 2012-2014, para la producción de camarón café *F. californiensis* y la macroalga verde *U. clathrata* (ambos nativos de Baja California), mediante el desarrollo y puesta en marcha de

su granja piloto de 3 hectáreas de estanques y laboratorio de reproducción y cultivo larvario de camarón café, probando con éxito la viabilidad de la operación. En el presente trabajo se describen algunos de los avances más recientes en el cocultivo del camarón café *F. californiensis* y la macroalga verde *U. clathrata* como una forma de acuicultura innovadora y sustentable.

Desarrollo de reproductivo y cultivo larvario camarón café *F. californiensis*

A partir de 2012 se inició con el programa de reproducción y cultivo larvario de camarón café *F. californiensis* por la empresa Aonori Aquafarms en San Quintin Baja California. El laboratorio de reproducción y cultivo larvario consta de un tanque de recepción y observación de organismos, un tanque de reproducción y maduración con capacidad de 15 m³ para mantener 150 organismos, cuatro tanques para desoves múltiples con capacidad de 1000 L, cuatro tanques para cultivo larvario de 10 m³ y cuatro tanques para cultivo larvario de 30 m³.

Debido a la inexistencia de un laboratorio comercial para la obtención de larvas de camarón café *F. californiensis*, se tuvo la necesidad de obtener estas larvas por medio de la captura de reproductores del medio silvestre con los permisos ante las autoridades correspondientes (CONAPESCA). Se capturaron en la bahía de San Quintin ejemplares de camarón café en etapa adulta con un estado de madurez de las gónadas avanzado. En total se capturaron 30 hembras y 60 machos con un peso entre 40 y 90 g y entre 25 y 40 g respectivamente (figura 1), y de los cuales se realizaron análisis de diagnóstico para patógenos específicos, resultando negativos para WSSV, TSV, YHV, IMNV y PVNV.

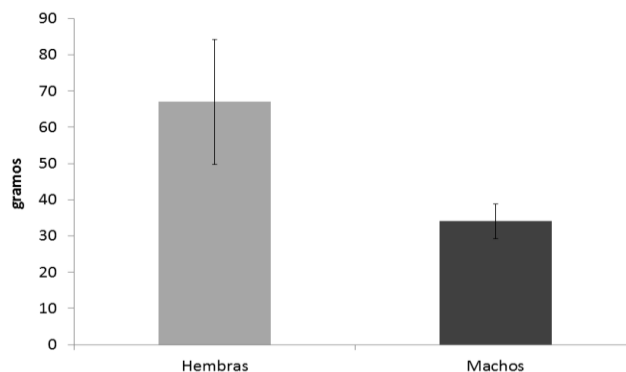


Figura 1. Peso promedio ($\pm$ DE) de camarón café *F. californiensis* capturados en la bahía de San Quintin, BC, México.

A partir de este primer lote de reproductores (silvestres) se obtuvieron desoves bajo las siguientes condiciones de cultivo: fotoperiodo 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, a una temperatura de 24°C, recambio de agua de 50% diario, con una ración de alimento del 15% de la biomasa total. La dieta consistió en una mezcla de alimento fresco en partes iguales a base de poliquetos (Topsy Baits), ostión, calamar y artemia, que corresponden al 90% de la dieta y 10% de alimento balanceado (Royal oyster).

Se logró implantar la tecnología para la reproducción en cautiverio, desove, incubación, cultivo larvario y maternidad de postlarvas de camarón café. Las hembras en etapa 5 de madurez gonádica eran pasadas a un tanque de desove de 1000 L, colocando máximo 3 hembras por tanque, con aireación baja y con la introducción de agua dulce con baja conductividad a una tasa de 1 L min⁻¹ para inducir el desove de las hembras. Posteriormente al desove, las hembras se retiraron de los tanques de desove y para retornar al tanque de reproducción. En los tanques de desove se mantuvieron las larvas hasta estadio de nauplio 5, para posteriormente ser trasladados a tanques de 10 ton, donde permanecieron hasta PL7 y después pasar a tanques de 30 ton para finalmente ser sembrados en los estanques de cocultivo con *U. clathrata* a una edad de PL 30 a PL 40. En promedio, el número de nauplios por hembra por desove fue de 400,000, con una mortalidad del 60% hasta la talla de siembra en los estanques de cocultivo. Se conformaron 8 lotes de larvas, de por lo menos 2 desoves de hembras diferentes cada uno, y con cada uno de estos lotes se sembraron 2 estanques en cocultivo con a macroalga *U. clathrata*.

Para 2013, se logró la reproducción en cautiverio de los camarones nacidos en laboratorio a partir de reproductores silvestres de 2011 y 2012 y cocultivados con *U. clathrata*. La selección de organismos para conformar el lote de reproductores, fue determinada en base a la talla de los organismos, seleccionando hembras y machos de todos los estanques (lotes diferentes). La talla de las hembras seleccionadas fue de entre 20 y 24 g, mientras que de los machos fue de entre 14 y 18 g. Se realizaron análisis de diagnóstico para patógenos específicos, resultando negativos para WSSV, TSV, YHV, IMNV y PVNV. Las condiciones y la dieta para inducir la maduración fueron similares que las utilizadas en el ciclo anterior de reproducción (ciclo 2012). El crecimiento de los camarones seleccionados para reproducción durante su acondicionamiento y maduración fue superior a 1 g semanal (figura 2).

En promedio, el número de nauplios por hembra a una talla de 32 g por desove fue de 200,000, sin embargo a una talla mayor de 42 g en promedio, el número de nauplios por desove se incrementó a 400,000 (figura 3). La mortalidad presentada en las larvas fue del 50% hasta PL40 cuando fueron sembradas en los estanques de cocultivo. Se generaron 8 lotes de postlarvas diferentes los cuales fueron sembrados en 10 estanques de cocultivo con la macroalga.

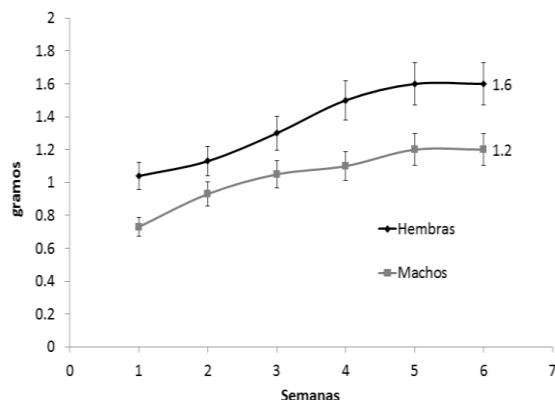


Figura 2. Ganancia en peso semanal de camarones seleccionados para reproducción, alimentados con alimento fresco y alimento balanceado.

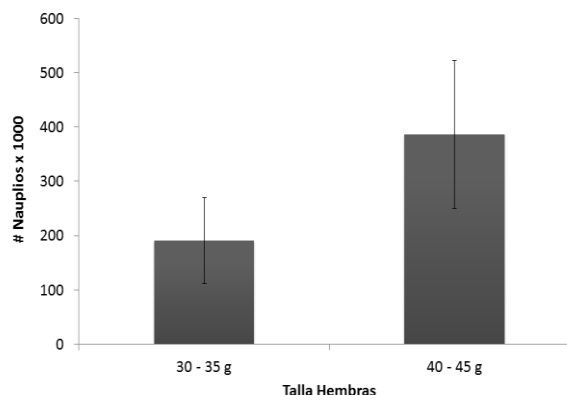


Figura 3. Número de nauplios por desove por hembra de acuerdo a su talla.

Preparación de estanques de cocultivo con *Ulva clathrata*

Los estanques de cocultivo tienen una dimensión de 25x75 m (1875 m²) y están recubiertos por una membrana de polietileno de alta densidad. El agua marina se suministró vía una tubería de 8 pulgadas de diámetro alimentada por una galería filtrante enterrada 3 pies bajo el nivel de la arena. Una estación de descarga de agua se sitúa al final de la batería de estanques que están alineados. Esta estación de descarga bombea el agua de regreso al océano a un sistema de galería filtrante situada 200 yardas al sur de la toma de agua. Cada estanque se dividió en seis secciones donde se planta el alga superficialmente por medio de cuerdas, de acuerdo a lo descrito por Moll (2004). Cada semana se plantó una sección del estanque con *Ulva* para después de un ciclo de 6 semanas, el alga es cosechada y resembrada, de tal forma que la superficie del estanque esta entre un 40 y 60% cubierto por la macroalga durante todo el periodo de cultivo. Los requerimientos nutricionales para el crecimiento de *Ulva* fueron provistos principalmente por dos fuentes: 1) El alimento balanceado peletizado, el no consumido y el consumido y metabolizado por el camarón; 2) Fertilizantes inorgánicos, utilizando urea como fuente de nitrógeno y ácido fosfórico como fuente de fósforo. Los niveles de nitrógeno y fósforo total en el agua se mantuvieron a

niveles cercanos a 1 ppm y 0.25 ppm respectivamente. Los niveles de amonio y pH se monitorearon diariamente cuidando que los niveles de amonio no ionizado se mantuviera debajo de 0.25 ppm. Las fertilización de los estanques se suspendió un día previo a realizar recambio de agua (10% semanal, menos de 1.5% diario), esto con la finalidad de minimizar los niveles de nitrógeno y fósforo total en el agua de descarga. Según estimaciones de consumo así como estudios realizados en camarón blanco (Cruz-Suarez *et al.* 2010; Gamboa-Delgado, Peña-Rodríguez, Ricque-Marie y Cruz-Suárez 2011), el consumo de *Ulva* aporta al menos 50% de la dieta para el crecimiento del camarón bajo este sistema de cultivo.

Desarrollo de cocultivo

Para el año 2013, los estanques de cocultivo se sembraron a una densidad de 30 camarones por m², y se utilizó un alimento balanceado con 35% de proteína con 2 raciones diarias a las 19:00 y 00:00 horas debido a los hábitos nocturnos de la especie. La temperatura durante el ciclo de cultivo osciló entre los 20°C por la mañana, hasta los 26°C por la tarde (figura 4). El oxígeno disuelto en el agua se mantuvo en promedio en 5.7 mg L⁻¹, con niveles mínimos de 2.8 mg L⁻¹ durante las mañanas una vez que la biomasa de camarón alcanzo más del equivalente a 2.1 tonelada por hectárea (figura 5). Debido al bajo recambio de agua semanal en los estanques (10%), la salinidad promedio en los estanques se mantuvo en promedio a 42 ‰.

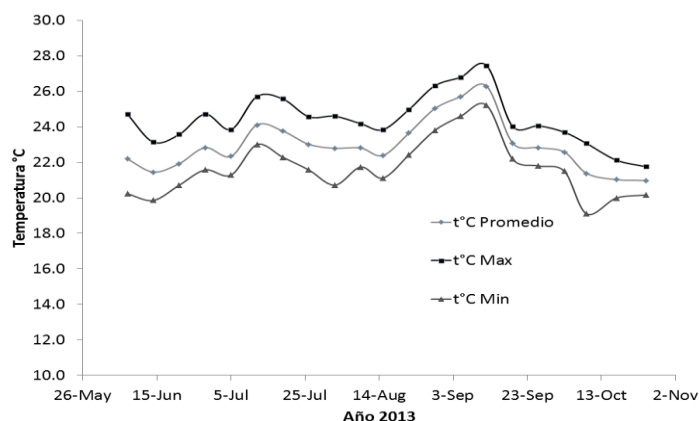


Figura 4. Temperatura (°C) del agua en los estanques durante el ciclo de cocultivo.

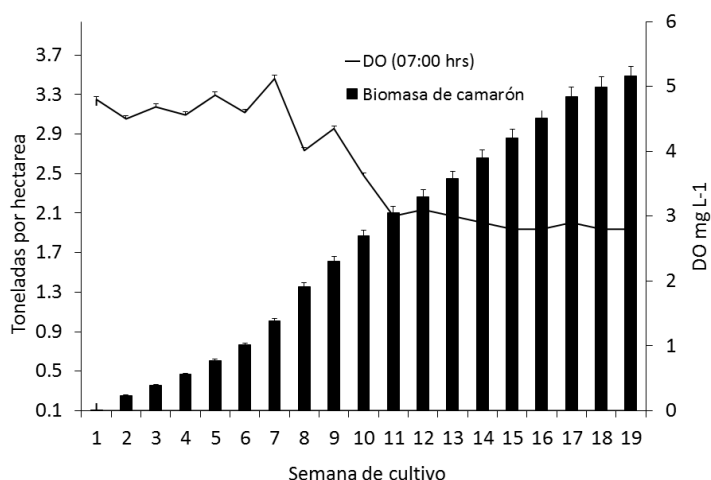


Figura 5. Biomasa de camarón *F. californiensis* generada en cocultivo con *U. clathrata* y promedio del pico mínimo de oxígeno disuelto (07:00 horas) en los estanques durante el ciclo de cocultivo

Durante el ciclo de cocultivo de camarón y macroalga de 22 semanas, se obtuvo una cosecha final promedio de 3.8 toneladas de camarón, 1.3 toneladas más que en 2012, con una sobrevivencia promedio de 75% y una tasa de conversión alimenticia promedio de 0.81. La talla final de los camarones a la cosecha varió entre 15 y 20 g, esto principalmente a la diferencia entre las tasas de crecimiento de los machos respecto a las hembras, siendo las hembras con una mayor tasa de crecimiento a partir de los 10 g de peso (figura 6). La

tasa de crecimiento semanal promedio fue de 0.78 g, 15% superior a la tasa de crecimiento obtenida durante el ciclo de cocultivo de 2012 (0.68 g semana⁻¹).

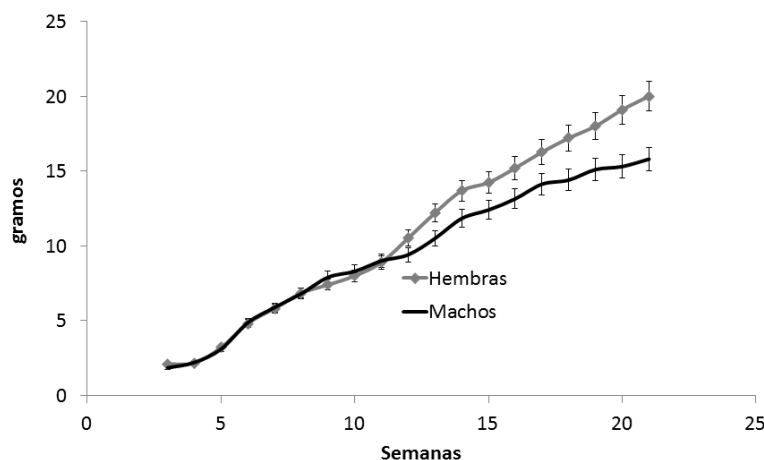


Figura 6. Peso promedio de camarones *F. californiensis* macho y hembras durante un ciclo de cocultivo con la macroalga *U. clathrata*.

Eficiencia de utilización del alimento balanceado en el cocultivo de camarón café *F. californiensis* y la macroalga *U. clathrata*

En un estudio anterior con camarón blanco *L. vannamei* cocultivado con *U. clathrata*, se observó que hasta con 45% menos de alimento peletizado (balanceado comercial) se mejoraba significativamente la tasa de crecimiento respecto a camarones en monocultivo con el 100% de la ración del alimento peletizado (Cruz-Suarez *et al.* 2010). Con la finalidad de conocer el mínimo de alimento balanceado peletizado necesario para obtener un crecimiento óptimo de juveniles de camarón café en cocultivo con la macroalga *U. clathrata*, se evaluaron diferentes proporciones del alimento peletizado tomando como referencia un tratamiento control de camarones en monocultivo alimentados a saciedad considerando esta ración como 100%. Los tratamientos fueron: 0% alimento peletizado más Ulva (0PU), 15% alimento peletizado más Ulva (15PU), 25% alimento peletizado más Ulva (25PU), 35% alimento peletizado más Ulva (35PU), 45% alimento peletizado más Ulva (45PU) y el control 100% alimento peletizado sin Ulva (100P). Cada tratamiento se realizó por triplicado distribuidos en 3 bloques al azar, cada triplicado fue representado por

un acuario de 55 L de capacidad con 8 camarones *F. californiensis* de peso promedio inicial de 2.58 ± 0.1 g. Diariamente se realizó un recambio del 100% de agua y la temperatura promedio durante el experimento fue de $22 \pm 2^\circ\text{C}$. En el caso de los tratamientos con la macroalga, esta se obtuvo de los estanques de cultivo, colocando inicialmente 20 g húmedos de *Ulva* en cada acuario y remplazando diariamente el alga consumida en cada acuario. Después de 4 semanas de experimento se evaluó el peso final, tasa de crecimiento (%), Tasa de crecimiento específico (g día⁻¹) y porcentaje de sobrevivencia de los camarones bajo los diferentes tratamientos. Los parámetros zootécnicos evaluados para cada tratamiento se sometieron a un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA); y en los casos en que se presentaron diferencias significativas, se realizó una comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$).

Tras 28 días de experimento de alimentación, se observó un mayor crecimiento en los camarones del tratamiento con 45% de alimento peletizado y *Ulva* (45PU) respecto al resto de los tratamientos, son embargo no fue significativamente mayor ($P>0.05$) que los tratamientos 35PU y el control de monocultivo (100P) (Tabla 1 y Figura 4).

Tabla 1. Valores promedio ($\pm$ DE) del peso final (PF), Tasa de crecimiento específico (g día⁻¹), Tasa de conversión alimenticia del alimento peletizado (TCAp) y porcentaje de sobrevivencia (%S).

Tratamiento	PF(g)	TCE(g día ⁻¹)	TCAp	%S
0PU	$2.8 \pm 0.1a$	$0.3 \pm 0.1a$	0.0a	75 ± 0
15PU	$3.4 \pm 0.2b$	$1.0 \pm 0.2b$	$0.55 \pm 0.15b$	88 ± 13
25PU	$4.2 \pm 0.2c$	$1.8 \pm 0.2c$	$0.46 \pm 0.06b$	92 ± 7
35PU	$4.6 \pm 0.2cd$	$2.0 \pm 0.2cd$	$0.53 \pm 0.06b$	96 ± 7
45PU	$4.9 \pm 0.3d$	$2.3 \pm 0.2d$	$0.58 \pm 0.06b$	96 ± 7
100P	$4.6 \pm 0.3cd$	$2.1 \pm 0.2cd$	$1.48 \pm 0.18c$	96 ± 7

Los valores están dados como promedios $\pm$ desviación estándar de determinaciones por triplicado. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas determinadas por análisis de Tukey ($\alpha=0.05$). TCE = $100(\ln \text{PF} - \ln \text{Peso inicial}) / \text{número de días}$; TCAp = alimento peletizado administrado / ganancia en peso. %S = $100(\text{número final de camarones} / \text{número inicial de camarones})$

Los tratamientos con una porción parcial de alimento peletizado y *Ulva* resultaron en una disminución significativa ($P < 0.05$) en la tasa de conversión alimenticia considerando solo el alimento peletizado (TCAp), donde para el caso del tratamiento 25PU solo represento una tercera parte del valor obtenido para el control 100P, sin resultar significativamente diferentes entre ellos respecto al crecimiento observado. No se observaron diferencias estadísticas en la sobrevivencia entre tratamientos.

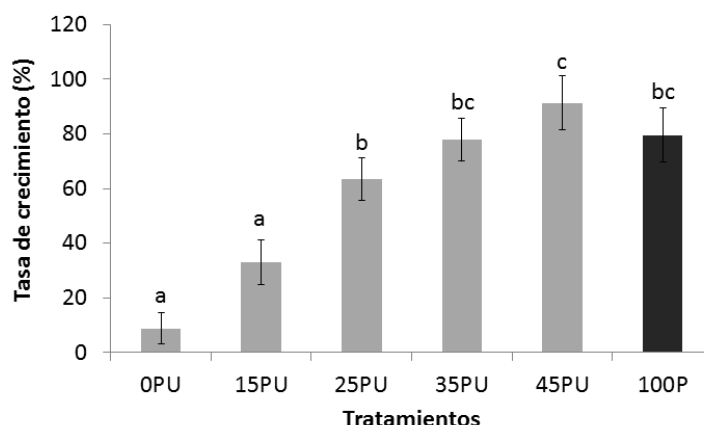


Figura 7. Tasa de crecimiento (%) de juveniles de camarón café *F. californiensis* alimentados con un porcentaje de alimento peletizado (P) y la macroalga *U. clathrata* (U)

Proyección del desarrollo del cocultivo de camarón café *F. californiensis* y la macroalga *U. clathrata*

La empresa Aonori Aquafarms ("la Compañía") cuenta con los conocimientos y experiencia de los sistemas de producción totalmente probados y están listos para ser utilizados en una operación comercial a gran escala. Para el 2016 (año 1) se planea construir 25 hectáreas productivas en la región de San Quintin, para una operación comercial del cocultivo de camarón y alga a gran escala, con una inversión aproximada de 4.3 millones dólares USD. Para 2018, después de mejorar y ajustar los parámetros de la operación en estas 25 hectáreas, la Compañía requerirá capital adicional para invertir en 25 hectáreas productivas adicionales en el año 3. Esta escala permitirá a la Compañía continuar financiación sus planes de expansión con los flujos de caja operativo y la deuda

Peña, R. et al. 2015. Avances en el Cocultivo de Camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la Macroalga *Ulva clathrata* en la Costa Occidental de Baja California. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, pp. 151-168.

bancaria (hasta un 2,5x deuda / EBITDA de apalancamiento), que no requiere inyecciones adicionales de capital. Por parte del área de investigación y desarrollo, se tiene programado iniciar un programa de mejoramiento genético del camarón café con el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), en La Paz, BCS, México.

Conclusiones y Discusiones

El aporte nutricional del alga al camarón se ha evaluado en anteriores estudios con camarón blanco *L. vannamei*, donde de acuerdo con su composición química, el alga es baja en lípidos y energía (Cruz-Suarez *et al.* 2010; Gamboa-Delgado *et al.* 2011; Peña-Rodríguez, Mawhinney, Ricque-Marie y Cruz-Suárez 2011), por lo que el uso parcial de alimento artificial (peletizado) es necesario para cubrir estos requerimientos, pero obteniendo tasas de conversión de alimento peletizado por debajo de 1, lo que significa un ahorro en este rubro que puede representar hasta un 60% del costo de producción del camarón. Adicionalmente, el tapete de *Ulva* provee de la protección a la luz así como refugio lo que puede contribuir a buenas sobrevivencias a altas densidades. Los niveles de oxígeno presentados en el sistema de cocultivo permiten mantener una densidad alta de camarón sin necesidad de aireación, debido principalmente a dos factores: la producción de oxígeno de *Ulva* en la columna de agua (Häder y Schäfer, 1994), y el bajo consumo de oxígeno del camarón café en las temperaturas a la que se lleva a cabo el cocultivo como se describe en el estudio realizado por Villarreal y Ocampo 1993. Por otro lado, también se ha descrito una mejor estabilidad del DO en presencia de macroalgas que en ausencia de ellas (Xu *et al.* 2008).

Se ha demostrado que las macroalgas son excelentes en la absorción de nitrógeno y de fósforo inorgánico proveniente de agua de descarga acuícola (Troell, Rönnbäck, Halling, Kautsky y Buschmann 1999; Copertino, Tormena y Seeliger 2008; Brito *et al.* 2014), lo que confiere una buena calidad de agua en los estanques de cocultivo, pudiendo ser un factor que mejora la salud de los camarones lo que se refleja en la sobrevivencia y en el crecimiento de los mismos. La biomasa de camarón producida bajos este sistema de

cocultivo (ton ha^{-1}) está dentro del rango de producción de granjas semi-intensivas de monocultivo de camarón *L. vannamei* a densidades entre 10 y 25 camarones por m^2 (Tacon, Jory y Nunes 2013). Considerando que las postlarvas de camarón café utilizadas en los ciclos de cultivo 2012 y 2013 fueron obtenidos a partir de reproductores silvestres y reproductores nacidos en laboratorio de padres silvestres, es de considerar un mejoramiento significativo en las tasas de crecimiento conforme se domestique a la especie y se adapte genéticamente al sistema de cocultivo con la *Ulva* (Gjedrem y Fimland, 1995).

Los resultados hasta el momento demuestran el potencial y viabilidad del cocultivo del camarón café *F. californiensis* y la macroalga *U. clathrata* en aguas templadas como las de la costa occidental de Baja California, México. Se planea la expansión de esta tecnología a una escala comercial en los próximos años, esperando detonar la economía en zonas con tierras costeras sin uso agrícola por la carencia de agua dulce para riego. Se contempla además continuar con el desarrollo del programa de domesticación, selección y mejoramiento genético del camarón café para mejorar las tasas de crecimiento y por tanto la rentabilidad del sistema de cocultivo.

Agradecimientos

Parte de este trabajo fue desarrollado gracias al apoyo del fondo de innovación tecnológica CONACYT-Secretaría de economía de México, bajo el proyecto ECO-2010-C01-00000000150134.

Referencias bibliográficas

- Bardach J.E. (1986). Constraints to polyculture. *Aquacultural Engineering* **5**, 287–300.
- Benzie J.A.H. (2009). Use and exchange of genetic resources of penaeid shrimps for food and aquaculture. *Reviews in Aquaculture* **1**, 232–250.
- Brito L., Arantes R., Magnotti C., Derner R., Pchara F., Olivera A. & Vinatea L. (2014). Water quality and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in co-culture with green seaweed *Ulva lactuca* (Linnaeus) in intensive system. *Aquaculture International* **22**, 497–508.
- Chopin, T., Buschmann, A., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G., Zertuche-González, J., Yarish, C. & Neefus, C. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. *Journal of Phycology* **37**, 975–986.
- Copertino M., Tormena T. & Seeliger U. (2008). Biofiltering efficiency, uptake and assimilation rates of *Ulva clathrata* (Roth) J. Agardh (Clorophyceae) cultivated in shrimp aquaculture waste water. *Journal of Applied Phycology* **21**, 31–45.
- Cruz-Suárez L., León A., Peña-Rodríguez A., Rodríguez-Peña G., Moll B. & Ricque-Marie D. (2010). Shrimp/Ulva co-culture: A sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture* **301**, 64–68.
- FAO©. (2013). Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service <http://www.fao.org/figis/servlet/TabSelector>
- Gamboa-Delgado, J., Peña-Rodríguez, A., Ricque-Marie, D. & Cruz-Suárez, L. (2011). Assessment of Nutrient Allocation and Metabolic Turnover Rate in Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* Co-Fed Live Macroalgae *Ulva clathrata* and Inert Feed: Dual Stable Isotope Analysis. *Journal of Shellfish Research* **30**, 969–978.
- Gellenbeck K. & Chapman D. (1983). Seaweed uses: the outlook for mariculture. *Endeavour* **7**, 31–37.
- Gjedrem T. & Fimland E. (1995). Potential benefits from high health and genetically improved shrimp stocks. C.L. Browdy, J.S. Hopkins (Eds.), *Swimming Through Troubled Water*, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. pp. 60–65. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Häder D.P. & Schäfer J. (1994). Photosynthetic oxygen production in macroalgae and phytoplankton under solar irradiation. *Journal of Plant Physiology* **144**, 293–299.
- Hendrickx M. (1996). Los camarones Penaeoidea bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendobranquiata) del Pacífico Mexicano. 147pp. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Holdt S. & Kraan S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* **23**, 543–597.
- Lapointe B., Williams L., Goldman J., Ryther J. (1976). The mass outdoor culture of macroscopic marine algae. *Aquaculture* **8**, 9–21.
- Peña, R. et al. 2015. Avances en el Cocultivo de Camarón café *Farfantepenaeus californiensis* y la Macroalga *Ulva clathrata* en la Costa Occidental de Baja California. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), *Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, pp. 151–168.

- Liu S.J., Jie Z.Y. & Zeng S.F. (1997) The commercial cultivation of *Gracilara* and its polyculture with prawn in China. *Journal Zhanjiang Ocean University* **17**, 27–30.
- Martinez-Cordova L.R., Porchas-Cornejo M.A., Villarreal-Colmenares H. & Calderon-Perez J.A. (1998). Evaluation of three feeding practices on the winter culture of yellowleg shrimp, *Penaeus californiensis* (Holmes), in low water exchange ponds. *Aquaculture Research* **29**, 573-578.
- Moll B. & Deikman J. (1995). *Enteromorpha clathrata*: a potential seawater-irrigated crop. *Bioresource Technology* **52**, 225-260.
- Moll, B. (2004). Aquatic surface barriers and methods for culturing seaweed. International Patent (PCT) No. WO 2004/093525 A2. 2004-11-04.
- Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A. H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel, M & Yarish, C. (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* **231**, 361–391.
- Neori A. (2007). Essential role of seaweed cultivation in integrated multi-trophic aquaculture farms for global expansion of mariculture: an analysis. *Journal of Applied Phycology* **20**, 567–570.
- Ocampo L., Villarreal H., Vargas M., Portillo G. & Magallon F. (2000) Effect of dissolved oxygen and temperature on growth, survival and body composition of juvenile *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes). *Aquaculture Research* **31**, 167–171.
- Peña-Rodríguez A., Mawhinney T., Ricque-Marie D., Cruz-Suárez L. (2011). Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. *Food Chemistry* **129**, 491-498.
- Pickering T. (2006). Advances in seaweed aquaculture among pacific island countries. *Journal of Applied Phycology* **18**, 227–234.
- Porchas-Cornejo M.A., Martínez-Córdova L., Magallón-Barajas F., Naranjo-Páramo J. & Portillo-Clark G. (1999). Efecto de la macroalga *Caulerpa sertularioides* en el desarrollo del camarón *Penaeus californiensis* (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical* **47**, 437-442.
- Portillo-Clark G., Casillas-Hernández R., Servín-Villegas R. & Magallón-Barajas F. (2013). Growth and survival of the juvenile yellowleg shrimp *Farfantepenaeus californiensis* cohabiting with the green feather alga *Caulerpa sertularioides* at different temperatures. *Aquaculture Research* **44**, 22–30.
- Tacon A.G.J., Hasan M.R. & Metian M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. pp. 1-87. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564. FAO.
- Troell M., Rönnbäck P., Halling C., Kautsky N. & Buschmann A. (1999). Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *Journal of Applied Phycology* **11**, 89-97.
- Tsutsui I., Songphatkaew J., Meeanan C., Aue-umneoy D., Sukchai H., Pinphoo P., Klomkling S., Ganmanee M., Sud H. & Hamano K. (2015). Co-culture with *Chaetomorpha* sp. enhanced growth performance

- and reduced feed conversion ratio of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*. *International Aquatic Research* 1-7.
- Villarreal H. & Ocampo L. (1993). Effect of size and temperature on the oxygen consumption of the brown shrimp *Penaeus californiensis* (Holmes 1900). *Comparative Biochemistry and Physiology* **106**, 97–101.
- Xu Y., Fang J. & Wei W. (2008). Application of *Gracilaria lichenoides* (Rhodophyta) for alleviating excess nutrients in aquaculture. *Journal of Applied Phycology* **20**, 199–203.