

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DEL CULTIVO MIXTO  
CAMARÓN-TILAPIA Y CAMARÓN-PARGO EN UN SISTEMA DE  
RECIRCULACIÓN**

**BIÓL. CARLOS LÓPEZ GÓMEZ**

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de:  
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras

Xalisco, Nayarit. Noviembre, 2016



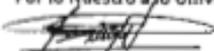
CBAP/231/16.

Xalisco, Nayarit; 04 de octubre de 2016.

**ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**PRESENTE.**

Con base al oficio de fecha 16 de septiembre del presente, enviado por los CC. Dr. Jesús Trinidad Ponce Palafox, Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca, Dr. Milton Spanopoulos Hernández, Dr. Dagoberto Puga López y Dr. Leonardo Martínez Cárdenas, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al C. Carlos López Gómez, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Pesqueras.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo Nuestro a lo Universal"  
  
Dr. J. Diego García Paredes  
Coordinador del Posgrado  
  
POSTGRADO EN  
CIENCIAS BIOLÓGICO  
AGROPECUARIAS

C.c.p.- Expediente

**Amato**

## OFICIO DE CONFORMIDAD DEL COMITÉ TUTORIAL

Xalisco, Nayarit, 16 de septiembre de 2016

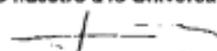
**DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)**  
**P R E S E N T E**

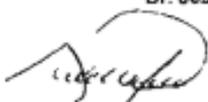
Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Estudio del crecimiento y supervivencia del cultivo mixto camarón-tilapia y camarón-pargo en un sistema de recirculación, que presenta el C. Carlos López Gómez para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Pesqueras, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

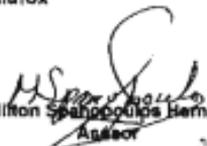
"Por lo nuestro a lo Universal"

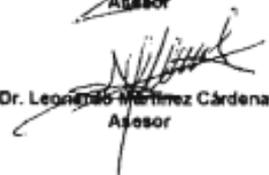
  
Dr. Jesús T. Ponce-Palafox  
Director

  
Dr. Sergio G. Castillo Vargasmachuca

Codirecto

  
Dr. Dagoberto Puja López  
Asesor

  
Dr. Milton Sánchez Hernández  
Asesor

  
Dr. Leonardo Martínez Cárdenas  
Asesor

## DEDICATORIA

Para **Alejandra Gómez Coria** y **Mario Ignacio López Andrade**, todo lo que soy y lo que voy a ser es gracias a ustedes.

A mi abuela **María Teresa Coria Cedeño** (R.I.P)

A mi familia **Gómez-Coria** y **López-Andrade**, a todos por todo.

**A los estudiantes**, a los que son y a los que fueron.

## AGRADECIMIENTOS

A mis amigos.

A mi director el Dr. **Jesús Trinidad Ponce Palafox** por su apoyo académico y moral durante todo el proceso.

A **Harumi Suzuki Pérez**

Al Arq. **Luis Fernando López Chávez** y a **Gilberto Vega Chávez**.

Al Biól. Acua. y M.C. **Eulalio Arámbul Muñoz**

Al maestro **Ernesto Talamantes**

A los alumnos, profesores y trabajadores de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera y Acuicola (**ENIP**) por su amistad y apoyo.

A mi codirector **Dr. Sergio G. Castillo V.** y a mis asesores **Dr. Leonardo Martínez Cárdenas**, **Dr. Milton Spanopoulos Hernández** y **Dr. Dagoberto Puga López** por la ayuda otorgada para el desarrollo del proyecto.

Al biólogo Colombiano **Luis F. Castillo Campo (R.I.P.)** y al biólogo Mexicano **Víctor J. Vergara Murillo** impulsores del cultivo de tilapia roja en México.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la beca asignada para la realización de los estudios de maestría con registro (CVU / Becario): **626560 / 334384**.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de las técnicas de cultivo mixto directo y mixto dividido en el crecimiento y supervivencia en un cultivo intensivo de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) con tilapia roja (*Oreochromis spp.*) y con pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) así como en la calidad del agua en un sistema de recirculación con agua salobre. El experimento fue realizado en 21 estanques de plástico (750 litros cada uno) durante 60 días. Se distribuyeron siete tratamientos aleatoriamente por triplicado. La tasa de alimentación fue ajustada al 5 % y 10 % de la biomasa/día para los camarones y los peces, respectivamente. El cultivo mixto de camarón con tilapia produjo altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua. Se registraron valores de supervivencia significativamente más bajos en el camarón ( $60.0 \pm 0.6$  %) en cultivo mixto directo con pargo lunarejo y en la tilapia ( $79.0 \pm 3.1$  %) en cultivo mixto dividido con camarón. La biomasa final de camarón, tilapia y pargo fue mayor en los cultivos mixtos (2.0, 7.7 y 2.9 veces mayor, respectivamente). El cultivo mixto presentó un incremento en la producción total con un factor de conversión alimenticia menor, lo cual contribuye a un sistema más sustentable

Palabras clave: Policultivo, Cultivo mixto camarón-pez, Sistema de recirculación

## ABSTRACT

The aim of this study was to determinate the performance and survival of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with red tilapia hybrid (*Oreochromis spp.*) and spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) and water quality in intensive brackish water mix-culture systems (direct and divided). The experiment was conducted in 21 plastic tanks (750 liters each) in which water quality, growth, production and survival of shrimp, tilapia and snapper were evaluated for 60 days. Three replicates were assigned to seven treatments. Feeding rate was adjusted at 5 % and 10 % of body weight/day for shrimp and fish, respectively. The shrimp-tilapia mix cultures produced higher nitrogen and phosphorus in water concentrations. Significant lower survival values were recorded for shrimp (60.0  $\pm$  0.6 %) cultured with snapper in mix-culture direct and for the tilapia (79.0  $\pm$  3.1 %) reared with shrimp in mix-culture divided. Mean final biomass for shrimp, tilapia and snapper were higher for the mix-cultures (2.0, 7.7 and 2.9 fold increase, respectively). The mix culture system allowed an increase in total production with lower feed conversion ratios, thus contributing with the system sustainability.

**Keywords:** Polyculture, Mix culture shrimp-fish, Recirculation system

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
Acuicultura en México.....	1
Camaronicultura.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Policultivo y cultivo mixto.....	5
Sistemas de Recirculación de Agua (SRA).....	6
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	9
ÁREA DE ESTUDIO.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Organismos experimentales.....	11
Sistema experimental.....	13
Diseño experimental.....	15
Variables fisicoquímicas y de calidad del agua.....	17
Biometrías y variables zootécnicas.....	17
Análisis estadístico.....	18
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES.....	28
LITERATURA CITADA.....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Estudios de policultivo y cultivo mixto de distintas especies de camarón con peces. .5	
<b>Tabla II.</b> Estudios de policultivo y cultivo mixto de camarón blanco del Pacífico ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) con peces..... 7	
<b>Tabla III.</b> Densidad y número de organismos utilizados en los diferentes tratamientos de cultivo mixto (C-T , C-P , C/T y C/P) y monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo). ..... 16	
<b>Tabla IV.</b> Promedio $\pm$ Error Estándar ( $\mu \pm EE$ ) de las variables de calidad del agua en el cultivo mixto (C-T, C-P, C/T y C/P) y en el monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo)..... 19	
<b>Tabla V.</b> Promedio $\pm$ Error Estándar ( $\mu \pm EE$ ) del desempeño productivo del camarón blanco (C), la tilapia roja (T) y el pargo lunarejo (P) en cultivo mixto y monocultivo. .... 21	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción de camarón en sistemas controlados en el estado de Nayarit durante el periodo 2004-2014 (CONAPESCA, 2013; 2014). .....	2
<b>Figura 2.</b> Técnicas utilizadas en el policultivo y cultivo mixto de camarón con peces y moluscos (Yi y Fitzimmons, 2004). .....	5
<b>Figura 3.</b> Esquema general de un sistema de recirculación de agua (SRA). Los componentes básicos son el filtro mecánico, el filtro biológico y el desgasificador (FAO, 2015). .....	6
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP), el experimento fue realizado en el Laboratorio de Bioingeniería Costera (LBC). .....	10
<b>Figura 5.</b> Captura con atarraya (luz de malla 0.3 cm) de juveniles de camarón blanco del Pacífico ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) en un estanque rústico ubicado en San Blas, Nayarit. ..	11
<b>Figura 6.</b> Instalaciones del cultivo de tilapia roja ( <i>Oreochromis spp.</i> ) en la empresa "Productos Pesqueros de Topolobampo S.A. de C.V." ubicada en Ahome, Sinaloa. ....	12
<b>Figura 7.</b> Obtención de las crías de pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ) en el CIAD-Mazatlán, empacadas en bolsas de polietileno y transportadas al Laboratorio de Bioingeniería Costera. ....	13
<b>Figura 8.</b> Especies utilizadas en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo. ....	13
<b>Figura 9.</b> Esquema del sistema de recirculación utilizado en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo. ....	14
<b>Figura 10.</b> Sistema de recirculación de agua utilizado, señalando la posición del marco colocado para los tratamientos del cultivo mixto dividido (C/T y C/P). ....	15
<b>Figura 11.</b> Descripción del diseño experimental utilizado en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo). ....	16
<b>Figura 12.</b> Crecimiento del camarón blanco ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) en cultivo mixto (C-T , C-P , C/T y C/P) y monocultivo (C) durante el periodo experimental de 60 días. ....	20
<b>Figura 13.</b> Crecimiento del híbrido de tilapia roja ( <i>Oreochromis spp.</i> ) en cultivo mixto ( C-T y C/T) y monocultivo (T) durante el periodo experimental de 60 días. ....	21
<b>Figura 14.</b> Crecimiento del pargo lunarejo ( <i>Lutjanus guttatus</i> ) en cultivo mixto (C-P y C/P) y monocultivo (P) durante el periodo experimental de 60 días. ....	23

## INTRODUCCIÓN

### Acuicultura en México

Actualmente el cultivo de organismos acuáticos es la actividad productora de alimento con mayor crecimiento, en el año 2014 se obtuvo una producción acuícola mundial de 73.8 millones de toneladas siendo los peces, moluscos, crustáceos y anfibios los principales grupos cultivados, sumándose además 27.3 millones de toneladas de plantas acuáticas, mayormente macroalgas marinas (FAO, 2016). México en el año 2014 registró un volumen de producción acuícola de 325 mil toneladas, de éstas 194 mil toneladas fueron producidas en sistemas controlados (sistemas en los que las condiciones del agua, alimentación y sanidad son controladas cuidadosamente), teniendo como cultivos principales el de camarón aportando 86 mil toneladas seguido por el de tilapia con 54 mil toneladas (CONAPESCA, 2014).

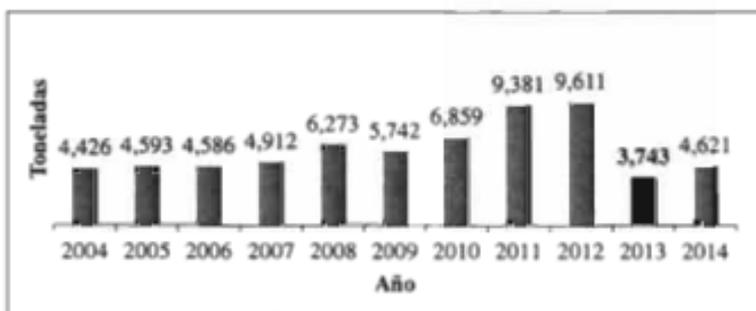
En el estado de Nayarit en el año 2014 se obtuvo una producción acuícola total de 14.2 mil toneladas, registrándose 8.5 mil toneladas de tilapia con varias especies del género *Oreochromis* (80 % proveniente de pesquerías acuiculturales y 20 % de sistemas controlados), 4.6 mil toneladas de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en sistemas controlados y 1.1 mil toneladas provenientes del cultivo de ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*) (CONAPESCA, 2014).

### Camaronicultura

En 2014 se cultivaron 6.9 millones de toneladas de camarón en el mundo, comercialmente las especies más utilizadas pertenecen a la Familia *Penaeidae* (FAO, 2016). En México a partir de 1985 la camaronicultura se ha desarrollado de manera notable, principalmente con el cultivo de camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*), siendo los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit los mayores productores (Martínez-Porchas *et al.*, 2010), debido a esto la camaronicultura ha logrado establecerse como una actividad económicamente rentable y capaz de competir contra los principales productores a nivel mundial (Arredondo y Ponce-Palafox, 2011).

Sin embargo, actualmente la camaricultura presenta varios problemas que limitan su desarrollo, destacando la falta de tecnologías de cultivo adecuadas, una creciente preocupación por el impacto ambiental a los ecosistemas adyacentes a las zonas de cultivo, poca implementación de las buenas prácticas de producción acuícola y recientemente altos índices de mortalidad en los cultivos ocasionado por brotes de enfermedades.

En el año 2013 se presentó un descenso del 20 % en la producción mundial de camarón (FAO, 2016). Una de las causas de éste descenso fueron los brotes de enfermedades, principalmente la enfermedad denominada síndrome de mortalidad temprana (SMT) cuyo agente patógeno (*Vibrio parahaemolyticus*) es una bacteria oriunda de aguas estuarinas en todo el mundo (Tran *et al.*, 2013), ésta enfermedad puede causar mortalidades del 100 % en las primeras etapas de cultivo. En la Figura 1 se muestra el efecto que enfermedades como el SMT y el síndrome de la mancha blanca (SMB) ocasionaron a la producción de camarón en el estado de Nayarit en el año 2013, registrándose una disminución del 39 % en comparación a la reportada en el 2012 (CONAPESCA, 2013; 2014).



**Figura 1.** Producción de camarón en sistemas controlados en el estado de Nayarit durante el periodo 2004-2014 (CONAPESCA, 2013; 2014).

Diversas acciones se han llevado a cabo para contrarrestar estos problemas, incluyendo la biorremediación de los efluentes provenientes de los estanques de cultivo antes de su descarga en los ecosistemas adyacentes a las granjas, el uso de organismos resistentes al estrés y a las enfermedades obtenidos mediante técnicas de mejoramiento genético, el uso de

sistemas de cero recambio con recirculación de agua (SRA), sistemas basados en agregados microbianos (Biofloc), sistemas multitróficos integrados así como la implementación de nuevas técnicas de cultivo como el policultivo, cultivo mixto las cuales permiten un mejor aprovechamiento del espacio y los recursos disponibles en las unidades de producción (FAO, 2016). Otra técnica utilizada es el cultivo por fases, en el cual se realizan desdobles para mantener tallas homogéneas de los organismos en cultivo, con la finalidad de no rebasar la capacidad de carga de los sistemas y mantener un mejor control del cultivo, previniendo así enfermedades y altos porcentajes de mortalidad.

Al cultivar camarón junto con distintas especies de peces, moluscos y macroalgas se han observado efectos positivos tanto para la especie principal (el camarón en éste caso) como para las secundarias (Jaspe *et al.*, 2011). El cultivo mixto de tilapia con camarón en estanques rústicos (excavados) se ha expandido en diferentes países de Asia y Latinoamérica, principalmente en Tailandia, Filipinas, México, Perú, Ecuador y Brasil (Fitzsimmons, 2001), observándose una mejora en la calidad del agua debido a un mejor control del fitoplancton, a la disminución en la acumulación de materia orgánica y otros desechos en la columna de agua y en el sedimento, una reducción en la prevalencia de ciertos patógenos causantes de enfermedades en el camarón así como una disminución en la concentración de nutrientes en los efluentes de los estanques (Jatobá *et al.*, 2011; Yi *et al.*, 2004).

Estudios de cultivo mixto y policultivo de camarón se han realizado con diferentes especies de peces obteniendo resultados positivos: con tilapia (híbridos de tilapia roja, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis urolepis hornorum*), lisa (*Mugil cephalus* y *Mugil platanus*), pez conejo (*Siganus fuscescens* y *Siganus guttatus*), pez ángel (*Pterophyllum scalare*) y pez globo (*Takifugu obscurus*), siendo las especies utilizadas de hábitos omnívoros con tendencias herbívoras y/o detritívoras (Apún-Molina *et al.*, 2015; Hernández-Barraza *et al.*, 2012; Hosseini-Aghuzbeni *et al.*, 2016; Jang *et al.*, 2007; Jaspe *et al.*, 2011; Luong *et al.*, 2014; Oliveira-Costa *et al.*, 2013; Silva-Ribeiro *et al.*, 2014; Tendencia *et al.*, 2003, 2006; Yuan *et al.*, 2010).

El cultivo de camarón con especies de tendencias carnívoras ha sido poco estudiado, un ejemplo es el caso del cultivo de camarón con pámpano de Florida (*Trachinotus carolinus*) en

estanques rústicos, el cual presentó resultados alentadores debido al alto precio y demanda del pámpano en el mercado (Trimble, 1980). Los pargos (Familia *Lutjanidae*), peces de tendencias carnívoras, forman parte importante de las pesquerías en México. Debido a su alta demanda, aceptación de alimento artificial y adaptabilidad al cautiverio en varios estados como Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca se han probado a escala piloto cultivos de diferentes especies del género *Lutjanus* (principalmente en jaulas flotantes en el mar) obteniendo resultados positivos (Avilés *et al.*, 2008; Castillo *et al.*, 2007; Castillo *et al.*, 2012).

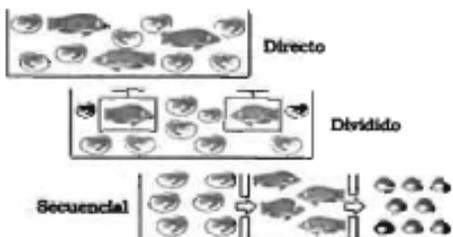
El presente estudio se realizó con la finalidad de examinar la calidad del agua así como el crecimiento, supervivencia y desempeño productivo del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) como especie principal cultivado junto con un híbrido de tilapia roja (*Oreochromis spp.*), especie omnívora con tendencias herbívoras, y junto con pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*), especie carnívora, en cultivo mixto directo, mixto dividido y monocultivo, utilizando un sistema de recirculación con agua salobre.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Policultivo y cultivo mixto

El policultivo se define como el cultivo de dos o más especies con diferentes nichos ecológicos y hábitos alimenticios (omnívoros, herbívoros, detritívoros, carnívoros) sembrados en un mismo cuerpo de agua (Jhingram, 1975), denominándose cultivo mixto cuando se presenta un traslape de nicho entre las especies utilizadas, en éstas estrategias las relaciones intra e interespecíficas de la especie principal con las secundarias son de carácter sinérgico (Arredondo y Ponce-Palafox, 2011). Debido a esto es necesario conocer las características biológicas y etológicas de las especies para evitar un comportamiento antagónico, por ejemplo la depredación del camarón al cultivarlo con especies carnívoras o el ataque de los camarones hacia otros organismos (Martínez-Porchas *et al.*, 2010).

Yi y Fitzsimmons (2004) definen tres tipos de policultivo y cultivo mixto: directo, dividido y secuencial (Figura 2). El directo se refiere al cultivo de dos o más especies dentro de una misma unidad de producción siendo posible el contacto físico entre éstas, en el dividido las distintas especies cultivadas se encuentran dentro de la misma unidad de producción pero separadas mediante una barrera física (jaulas o divisiones con mallas de diferentes materiales), el secuencial implica el uso de diferentes unidades de producción para cada una de las especies cultivadas, donde el agua pasa de una unidad a otra. Las primeras dos técnicas (directo y dividido) son las más utilizadas ya que pueden ser implementadas fácilmente en diferentes sistemas de cultivo (Martínez-Porchas *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Técnicas utilizadas en el policultivo y cultivo mixto de camarón con peces y moluscos (Yi y Fitzimmons, 2004).

El policultivo y cultivo mixto ha sido estudiado en los últimos años, un ejemplo es el cultivo en agua dulce del langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) junto con tilapia y con distintas especies de carpas (Ali *et al.*, 2009; García, 1999; Rouse, 1981). En la tabla I, se presentan los resultados de estudios que se han realizado utilizando el cultivo mixto y policultivo de distintas especies de camarón (*Penaeus duorarum*, *P. aztecus* y *P. monodon*) con peces de hábitats salobres y marinos. Una de las combinaciones más practicadas es la de camarón con tilapia, utilizando híbridos de tilapia roja (Akiyama y Anggawati, 1999; Rodríguez, 2003; Tian *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 1998) y con tilapia del Nilo (Apún-Molina *et al.*, 2015; Yi *et al.*, 2004), la mayoría de estos trabajos en estanques rústicos (excavados con fondo de tierra), observándose efectos positivos en la calidad del agua y del sedimento (Cruz *et al.*, 2008) así como un efecto supresor de ciertos agentes patógenos del camarón debido a la presencia de tilapia en el sistema (Tendencia *et al.*, 2006). Las relaciones ecológicas entre el camarón y la tilapia roja en sistemas cerrados con agua salada en estanques y en jaulas flotantes han sido ampliamente descritas (Cruz *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 1998). El camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*) también ha sido estudiado en cultivo mixto y policultivo (tabla II) con peces carnívoros como el pámpano de Florida *T. carolinus* (Trimble, 1980) y con especies omnívoras como la lisa *M. platanus* (Oliveira-Costa *et al.*, 2013).

De los trabajos anteriormente citados en algunos se han obtenido buenos resultados en la supervivencia y el crecimiento de las especies cultivadas así como una mejora en la calidad del agua del sistema, sin embargo, distintos autores han reportado efectos negativos en el crecimiento del camarón al cultivarlo junto con otras especies. El presente trabajo busca aportar más información de los procesos e interacciones que se presentan en el policultivo y cultivo mixto de camarón con peces en sistemas de recirculación de agua (SRA), sistemas que actualmente están demostrando gran potencial para el desarrollo de una acuicultura más sustentable y en los que poca información se ha reportado.

Tabla I. Estudios de policultivo y cultivo mixto de distintas especies de camarón con peces.

Especie principal	Especie secundaria	Sistema de cultivo	Días de cultivo	Salinidad (ups)	Densidad (org/m <sup>3</sup> )		Peso inicial (g)		Peso final (g)		TEC (%/día)		FCA		Supervivencia (%)		Referencia
					Cam	Pez	Cam	Pez	Cam	Pez	Cam	Pez	Cam	Pez	Cam	Pez	
<i>Trachinotus carolinus</i>	<i>Penaeus duorarum</i>	Est tierra 800 m <sup>2</sup>	Cam 155 Pez 182	13-18	3.1	1	0.003	0.29	26.6	162	5.8	3.6	NR	2.5	2	40	Tatum y Trumble, 1978
<i>Trachinotus carolinus</i>	<i>Penaeus aztecus</i>	Est tierra 800 m <sup>2</sup>	Cam 151 Pez 146	13-18	3.1	1	0.6	0.5	13.5	184	2.0	4.0	NR	3.5	53	30	Tatum y Trumble, 1978
<i>Penaeus aztecus</i>	<i>Pogonias cromis</i>	Est tierra 1,000 m <sup>2</sup>	Cam 120 Pez 150	Salobre	0.3	0.5	9	17.4	18.5	183	0.5	1.5	NR	NR	51	98	Rouberg y Strawn, 1980
<i>Penaeus brasiliensis</i>	<i>Trachinotus carolinus</i>	Est concreto 28 m <sup>2</sup>	75	37-39	10	5	3.6	4	8.9	62	1.2	3.6	10.7	3.1	54	64	Gómez y Socha, 1982
<i>Clupea edulis</i>	<i>Penaeus monodon</i>	Est tierra 100-400 m <sup>2</sup>	180	22-37	0.5	0.5	0.02	0.1	15.2	64	2.5	3.4	NR	NR	35	8	Nannalwar y Kabirvel, 1988
<i>Penaeus chinensis</i>	<i>Oreochromis</i> sp. ( <i>Tilapia nigra</i> )	Est tierra 35 m <sup>2</sup>	Cam 98 Pez 96	30	7.2	0.2	0.06	170	9.5	202	5.3	0.3	NR	NR	76	100	Tian et al., 2001
<i>Penaeus monodon</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	Est tierra 200 m <sup>2</sup>	75	2-5	30	<0.5	0.4	7.3	12.5	324	4.5	5.5	1.5	NR	> 70	> 93	Yu et al., 2004
<i>Helostoma temminckii</i>	<i>Latesiphus stenorhynchus</i>	Est tierra 1 m <sup>2</sup>	21	35	16-32	40	1.2	1	2.9	0.6	3.8	NR	NR	NR	> 78	> 20	Bell et al., 2007

ups= unidades prácticas de salinidad TEC= tasa específica de crecimiento FCA= factor de conversión alimenticia Cam= camarón Est= estanque NR= no reportado.

### Sistemas de Recirculación de Agua (SRA)

Los sistemas de recirculación de agua con poco o nulo recambio son utilizados para el cultivo de organismos acuáticos, en dichos sistemas es fundamental el uso de filtros mecánicos y biológicos por los que el agua es recirculada para mantener una calidad óptima para el desarrollo de los organismos (FAO, 2015). Un esquema general de los componentes de un sistema de recirculación se muestra en la Figura 3.

Estos sistemas ofrecen la ventaja de poder realizar cultivos intensivos (altas densidades) en espacios reducidos, utilizando aireación constante y manteniendo un buen control de las variables fisicoquímicas y de calidad del agua. Otra ventaja de los SRA es el ahorro de agua, en sistemas abiertos o de flujo continuo son necesarios hasta 30 m<sup>3</sup> de agua (30 mil litros) para producir un kilogramo de pez, mientras que en un sistema de recirculación solo son necesarios entre 0.3 a 3.0 m<sup>3</sup> para producir la misma biomasa (dependiendo del nivel de recirculación y la efectividad de los filtros), disminuyendo así el impacto ambiental de la actividad debido a que son mínimas las descargas del agua de cultivo hacia los ecosistemas adyacentes a las zonas de producción (FAO, 2015).



Figura 3. Esquema general de un sistema de recirculación de agua (SRA). Los componentes básicos son el filtro mecánico, el filtro biológico y el desgasificador (FAO, 2015).

Tabla II. Estudios de policultivo y cultivo mixto de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) con peces.

Especie principal	Especie secundaria	Sistema de cultivo	Días de cultivo	Salinidad (ppt)	Densidad (org/m <sup>3</sup> )		Peso inicial (g)		Peso final (g)		TEC (%/día)		FCA		Supervivencia (%)		Referencia
					Cam	Perz	Cam	Perz	Cam	Perz	Cam	Perz	Cam	Perz	Cam	Perz	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Trachinotus carolinus</i>	Est tierra 800 m <sup>2</sup>	Cam 62 Perz 36	4-15	2-5	0.5	1.2	1.5	14	11.2	3.6	6.2	0.9	90	21	Truabho, 1990	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Oreochromis spp.</i> (tilapia roja)	Est tierra 500 m <sup>2</sup>	89	11	8-19	1	0.03	185	6-10	472	7.0	1.1	0.9	1.7	>88	Rodriguez, 2003	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	Est concreto 5 m <sup>2</sup>	56	24-28	40	0.4-3	1.4	108	14.6	200	4.1	1.5	1.1	NR	>86	Muangkarn et al., 2007	
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Est fibra vidrio 1 m <sup>2</sup>	120	1	12	2-20	0.04	1.5	14	257	4.8	4.2	NR	1.4	86	100	Claudio et al., 2008
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Est tierra 25 m <sup>2</sup>	Cam 79 Perz 87	15	5-15	1	4.3	27.8	13.2	412	1.6	3.1	NR	1.1	>88	>85	Da Costa, 2008
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Oreochromis spp.</i> (tilapia roja)	Est concreto 5 m <sup>2</sup>	84	20	60	0.4-1	0.06	1.3	7.1	184	5.7	3.4	1.9	NR	>55	100	Yuan et al., 2010
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Est concreto 15 m <sup>2</sup>	120	3	3-12	2	0.1	1.2	11.6	169	3.5	4.6	1.8	38	86	Junior et al., 2012	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	Est concreto 15 m <sup>2</sup>	95	0.4	10	0.5-1	0.3	7.6	4.9	275	2.7	3.7	2.3	>64	>87	Simao et al., 2013	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	Est concreto 3.6 m <sup>2</sup>	180	35	8	50	7	7	11.5	217	0.8	1.6	1.3	100	92	Ortega-Salas et al., 2013	

usps= unidades prácticas de salinidad TEC= tasa específica de crecimiento FCA= factor de conversión alimenticia Cam= camarón Est= estanque NR= no reportado.

El cultivo de camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*) en sistemas de recirculación ha sido estudiado utilizando distintas técnicas de cultivo y densidades de siembra (30 a 2,000 postlarvas/m<sup>3</sup>), obteniéndose producciones de 0.3 hasta 8.1 kg/m<sup>2</sup> (Barón *et al.*, 2004; Esparza-Leal *et al.*, 2010; Robertson *et al.*, 1992). Algunos autores han propuesto el cultivo de camarón marino con peces y moluscos en sistemas de recirculación (Sandifer y Hopkins, 1996) y pruebas de camarón blanco junto con tilapia del Nilo (*O. niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis spp.*) se han llevado a cabo en sistemas de recirculación con buenos resultados (Hernández-Barraza *et al.*, 2012; Muangkeow *et al.*, 2007).

En México son pocos los productores de camarón que practican el policultivo ó cultivo mixto, siendo ésta una importante alternativa que en países Asiáticos y Latinoamericanos ha permitido contrarrestar los problemas que enfrenta actualmente la camaronicultura como son el impacto ambiental en las zonas aledañas a los cultivos, los brotes de enfermedades y la disminución de los precios del camarón.

Con base en lo anterior en el presente trabajo se diseñó un cultivo experimental en un sistema de recirculación con agua salobre con la finalidad de comparar el efecto del cultivo mixto en algunas variables de calidad del agua y en el desempeño productivo del camarón blanco como especie principal cultivado junto con tilapia roja y con pargo lunarejo.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivo general:

Determinar el efecto del cultivo mixto camarón-tilapia y camarón-pargo en el crecimiento y supervivencia del camarón blanco *L. vannamei* como especie principal y en la calidad del agua en un sistema de recirculación en San Blas, Nayarit.

### Objetivos específicos:

Determinar la calidad del agua en el cultivo mixto y monocultivo de camarón blanco con tilapia roja y con pargo lunarejo en un sistema de recirculación

Analizar el crecimiento y supervivencia del camarón blanco, la tilapia roja y el pargo lunarejo en cultivo mixto y monocultivo en un sistema de recirculación

Comparar el desempeño productivo del camarón blanco, la tilapia roja y el pargo lunarejo en cultivo mixto y monocultivo en un sistema de recirculación.

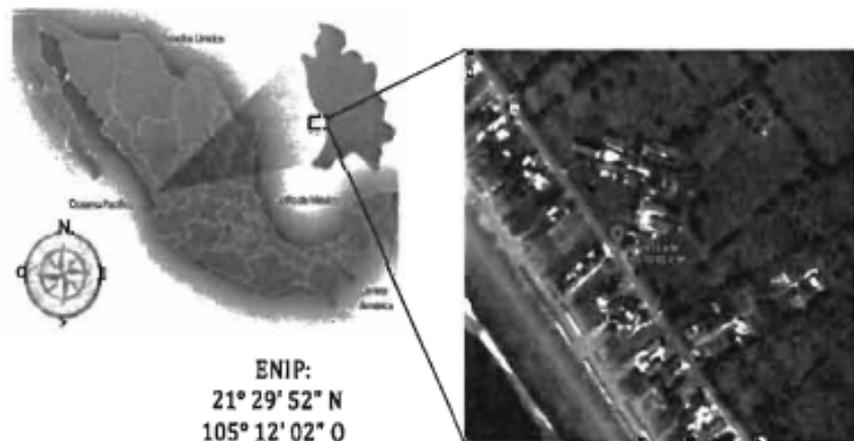
### Hipótesis:

El cultivo mixto tiene un efecto sobre el desempeño productivo del camarón blanco, la tilapia roja y el pargo lunarejo así como en la calidad del agua en un sistema de recirculación en San Blas, Nayarit.

## ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se desarrolló entre Agosto y Octubre del año 2015 en las instalaciones del Laboratorio de Bioingeniería Costera (LBC) perteneciente a la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP) la cual se encuentra ubicada en la Bahía de Matanchen en el kilometro 12 de la carretera San Blas-Los Cocos, en el municipio de San Blas, Nayarit, México (Figura 4).

El municipio de San Blas presenta un clima cálido subhúmedo con un régimen de lluvias en verano (Junio a Octubre), con una precipitación promedio anual de 1,316 mm, temperatura promedio anual de 25.6 °C y dirección de los vientos moderada del Sureste al Noroeste (INEGI, 2015).



**Figura 4.** Ubicación geográfica de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP), el experimento fue realizado en el Laboratorio de Bioingeniería Costera (LBC).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Organismos experimentales

Juveniles de camarón blanco del Pacífico (*L. vannamei*) fueron capturados utilizando atarraya (monofilamento, luz de malla de 0.3 cm) en un estanque rústico de la granja comercial "Oro Azul S.P.R. de R.L." ubicada en la localidad de "La Chiripa" en el municipio de San Blas, Nayarit (Figura 5), posteriormente fueron colocados en un contenedor plástico con 200 litros de agua del mismo estanque con aireación constante mediante una piedra difusora en el fondo del contenedor, los camarones fueron transportados via terrestre al LBC donde fueron recibidos en un estanque de fibra de vidrio con un volumen de 2,000 litros de agua con aireación constante, en éste estanque se aclimataron gradualmente bajando 4 ups (unidades practicas de salinidad) al día, 0.2 ups/hora, añadiendo agua dulce al estanque, hasta llegar a una salinidad de 20 ups, para posteriormente ser sembrados en los diferentes tratamientos.



**Figura 5.** Captura con atarraya (luz de malla 0.3 cm) de juveniles de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico ubicado en San Blas, Nayarit.

Las crías de tilapia roja (Red Florida x Red Yumbo) fueron obtenidas en la empresa "Productos Pesqueros de Topolobampo S.A. de C.V." ubicada en Ahome, Sinaloa (Figura 6).

Las tilapias fueron recibidas en bolsas de plástico en el LBC realizando el mismo protocolo de aclimatación a la salinidad (20 ups) descrito anteriormente para los camarones.



**Figura 6.** Instalaciones del cultivo de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en la empresa "Productos Pesqueros de Topolobampo S.A. de C.V." ubicada en Abome, Sinaloa.

Juveniles de pargo lunarejo (*L. guttatus*) fueron colocados en bolsas de plástico y éstas colocadas dentro de contenedores de poliestireno (unicel) los cuales fueron transportados via terrestre desde el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo unidad Mazatlán (CIAD-Mazatlán, Figura 7) al LBC donde se aclimataron a la salinidad de 20 ups utilizando el mismo protocolo descrito para el camarón y la tilapia. La longitud total de los camarones (midiendo de la punta del rostrum hasta el borde exterior del telson) y los peces (midiendo de la punta de la boca hasta el borde exterior de la aleta caudal) fue tomada con un ictiómetro de plástico (precisión de  $\pm 0.1$  cm), el peso fue registrado utilizando una báscula analítica digital ScoutPro-2001 con una precisión de  $\pm 0.1$  g (Ohaus, NJ, EUA).

En la Figura 8 se muestran las especies utilizadas en el experimento. El peso inicial y longitud total inicial ( $\mu \pm$ Error Estándar) del camarón, la tilapia y el pargo al momento de comenzar las pruebas fue de  $2.68 \pm 0.16$  g y  $7.70 \pm 0.03$  cm (submuestra, N= 300),  $1.97 \pm 0.13$  g y  $4.91 \pm 0.05$  cm (submuestra, N= 150) y  $2.17 \pm 0.15$  g y  $5.29 \pm 0.05$  cm (submuestra, N= 75), respectivamente.

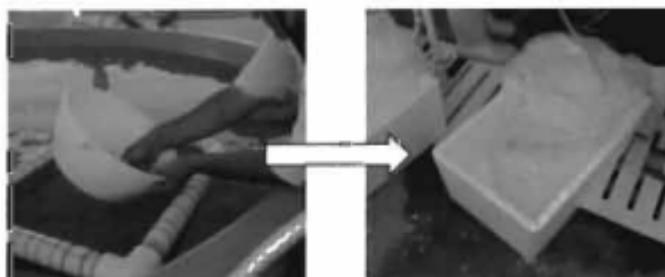


Figura 7. Obtención de las crías de pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) en el CIAD-Mazatlán, empacadas en bolsas de polietileno y transportadas al Laboratorio de Bioingeniería Costera.



*Litopenaeus vannamei*  
Camarón blanco del Pacífico



*Oreochromis spp.*  
(Red Florida x Red Yumbo)  
Tilapia roja



*Lutjanus guttatus*  
Pargo lunarejo

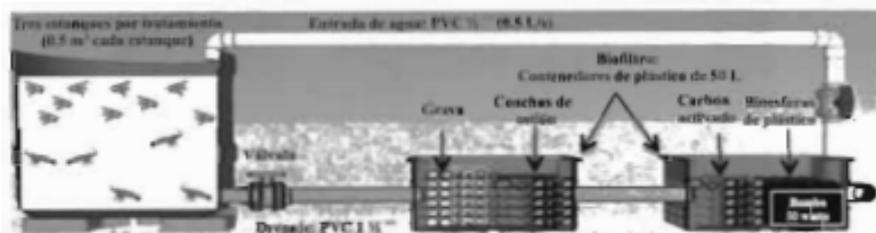
Figura 8. Especies utilizadas en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo.

### Sistema experimental

Para las pruebas de cultivo mixto y monocultivo se utilizaron 21 estanques circulares de plástico (volumen total:  $0.75 \text{ m}^3$ , volumen de trabajo:  $0.5 \text{ m}^3$ ) los cuales fueron lavados y desinfectados con una mezcla de agua dulce y cloro. Se utilizó para cada tratamiento un sistema cerrado de recirculación compuesto por tres estanques y un biofiltro (Figura 9). El drenaje de los tres estanques fue conectado mediante tubería de policloruro de vinilo (PVC) de  $1 \frac{1}{2}$  pulgada al biofiltro constituido por dos contenedores de plástico de 50 litros, como primer sustrato en el biofiltro se colocó un volumen de  $0.02 \text{ m}^3$  de grava gruesa (10-20 mm) seguido por  $0.01 \text{ m}^3$  de conchas secas de ostión (*Crassostrea iridescens*), ambos sustratos fueron colocados dentro de una bolsa elaborada con malla plástica y dispuestos dentro de la primera sección del biofiltro. En la segunda sección se colocó un  $0.01 \text{ m}^3$  de carbón activado en presentación de migaja (dentro de mallas de algodón) seguido de  $0.01 \text{ m}^3$  de bioesferas de plástico, una bomba sumergible de 50 watts (2,400 L/h) fue dispuesta al final del biofiltro la

cual retornaba el agua hacia los tres estanques mediante tubería de PVC de ½ pulgada, manteniendo un flujo constante de entrada de agua en cada estanque de 0.5 L/s (recambio de agua: 20 veces/día/estanque).

Una piedra difusora (dos centímetros de diámetro) fue colocada diez centímetros por encima del fondo en todos los estanques de cultivo, proporcionando aireación las 24 horas del día mediante un sistema eléctrico de inyección de aire (aireador) de 1.0 caballos de fuerza.



**Figura 9.** Esquema del sistema de recirculación utilizado en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo.

Seis de los estanques fueron divididos por la mitad utilizando un marco construido con PVC de ½ pulgada (Figura 10), cubierto con malla plástica (luz de malla 0.5 cm), permitiendo el paso del agua pero no el contacto entre los camarones y peces (para las pruebas del cultivo mixto dividido).

Los estanques fueron llenados con agua de mar filtrada (filtro de 500 micras) y mezclada con agua dulce para obtener una salinidad de 20 ups y un volumen de trabajo de 500 litros ( $0.5 \text{ m}^3$ ) en cada estanque, dos días antes de sembrar los organismos se puso en marcha el sistema de recirculación y se añadieron 65 ml de bacterias nitrificantes (Stress Zime, API) en el biofiltro de cada tratamiento. Durante los 60 días de cultivo se mantuvo un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad (12L:12O) controlado mediante luz artificial con focos de luz blanca de 8,500 lumens.



**Figura 10.** Sistema de recirculación de agua utilizado, señalando la posición del marco colocado para los tratamientos del cultivo mixto dividido (C/T y C/P).

### **Diseño experimental**

Para evaluar el efecto del cultivo mixto en el crecimiento y supervivencia del camarón blanco, la tilapia roja y el pargo lunarejo así como en la calidad del agua se estableció un diseño completamente aleatorizado con siete tratamientos por triplicado (Figura 11): monocultivo de camarón a una densidad de 100 org/m<sup>3</sup> (C), monocultivo de tilapia roja a 50 org/m<sup>3</sup> (T), monocultivo de pargo lunarejo a 16 org/m<sup>3</sup> (P), cultivo mixto directo de camarón a 100 org/m<sup>3</sup> con tilapia a 50 org/m<sup>3</sup> (C-T), cultivo mixto dividido de camarón a 50 org/m<sup>3</sup> con tilapia a 24 org/m<sup>3</sup> (C/T), cultivo mixto directo de camarón a 100 org/m<sup>3</sup> con pargo a 16 org/m<sup>3</sup> (C-P) y cultivo mixto dividido de camarón a 50 org/m<sup>3</sup> con pargo a 8 org/m<sup>3</sup> (C/P).

El día 30 se realizó un desdoble de camarones y peces de todos los tratamientos, quedando el camarón a una densidad de 50 org/m<sup>3</sup>, la tilapia a 16 org/m<sup>3</sup> y el pargo a 4 org/m<sup>3</sup> del día 31 al 60-(Tabla III).

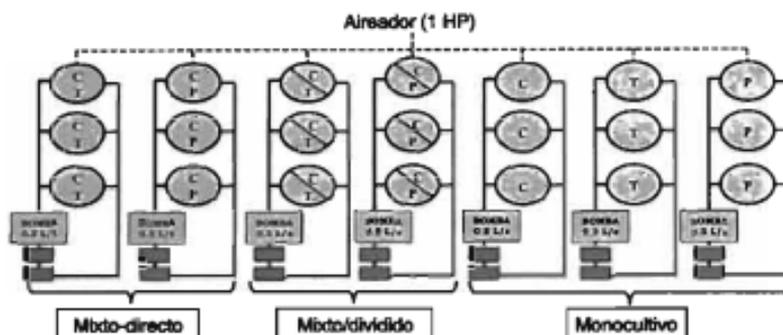


Figura 11. Descripción del diseño experimental utilizado en las pruebas de cultivo mixto y monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo).

La alimentación fue suministrada en tres raciones iguales (08:00, 12:00 y 17:00) a una tasa del 5 % biomasa/día para camarón y del 10 % biomasa/día para la tilapia y el pargo. Para el camarón se utilizó alimento de rápido hundimiento con 35 % de proteína y 6.5 % de lípidos ("Camaronina EX" de Purina), para la tilapia alimento flotante con 45 % de proteína y 10 % de lípidos ("Aqua premiere" de Vimifos) y para el pargo alimento de rápido hundimiento con 45 % de proteína y 16 % de lípidos (elaborado en el CIAD-Mazatlán). Los ajustes de alimentación se realizaron de acuerdo al incremento de la biomasa y a la mortalidad registrada en cada estanque.

Tabla III. Densidad y número de organismos utilizados en los diferentes tratamientos de cultivo mixto (C-T, C-P, C/T y C/P) y monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo).

Siembra (día 0 a 30)											
Tratamiento	C-T		C-P		C/T		C/P		Monocultivo		
	Camaron	Tilapia	Camaron	Pargo	Camaron	Tilapia	Camaron	Pargo	Camaron	Tilapia	Pargo
Organismos*	50	25	50	8	25	12	25	4	50	25	8
Densidad (organismos/m <sup>2</sup> )	100	50	100	16	50	24	50	8	100	50	16
Desdoble (día 31 a 60)											
Tratamiento	C-T		C-P		C/T		C/P		Monocultivo		
	Camaron	Tilapia	Camaron	Pargo	Camaron	Tilapia	Camaron	Pargo	Camaron	Tilapia	Pargo
Organismos*	25	8	25	2	12	4	12	1	25	8	2
Densidad (organismos/m <sup>2</sup> )	50	16	50	4	24	8	24	2	50	16	4

Organismos = Organismos por estanque. \* Estanques utilizados con un volumen de 500 L (0.5 m<sup>3</sup>) de agua a 20 Unidades Prácticas de Salinidad.

### **Variables fisicoquímicas y de calidad del agua**

Los valores de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (mg/L) fueron registrados dos veces al día (07:00 y 19:00) utilizando un equipo YSI-pro2030 (Yellow Springs Instrument, OH, EUA), colocando la sonda del equipo a mitad de la columna de agua en cada estanque y registrando el valor marcado en la pantalla digital cuando éste se estabilizaba. Una muestra de agua de los diferentes tratamientos fue tomada cada cinco días a las 18:00 para obtener las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (NAT), nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>) y fosfatos (PO<sub>4</sub>) utilizando un fotómetro YSI-9500 (Yellow Springs Instrument, OH, EUA) siguiendo la metodología descrita en el manual del usuario para cada variable.

### **Biometrías y variables zootécnicas**

Se realizaron biometrías cada quince días tomando la longitud total (cm) y peso (g) de todos los camarones y peces de cada estanque, para lo cual se utilizó un ictiómetro de plástico y una báscula analítica con una precisión de ±0.1 cm y ±0.1 g, respectivamente. El desempeño productivo del camarón y los peces en cultivo mixto y monocultivo fue determinado tomando en cuenta las siguientes variables:

Tasa de crecimiento (TC), obtenida mediante la fórmula (Steffens, 1987):

$$TC = Pg / t$$

Dónde: Pg = peso ganado (peso final (g) - peso inicial (g)); t = tiempo de cultivo.

Tasa específica de crecimiento (TEC), presentada como %/día se calculó con la fórmula (Ricker, 1979; Hopkins, 1992):

$$TEC = ((\ln Pf - \ln Pi) / t) * 100$$

Dónde: ln= logaritmo natural; Pf= peso final (g) ; Pi= peso inicial (g); t= días de cultivo.

Factor de conversión alimenticia (FCA), el cual es la estimación del alimento necesario para producir una medida de peso en el pez, o el camarón según corresponda, para lo cual se utilizó la fórmula (Hepher *et al.*, 1993):

$$FCA = Ac / Pg$$

Dónde: Ac = alimento total suministrado (g); Pg = peso ganado (g)

Factor de condición (K), el cual mediante la relación peso-longitud de los peces permite inferir el estado nutricional o de salud de los organismos (Reynold, 1968). El factor de condición K, solo para peces, se obtuvo utilizando la fórmula (Ricker, 1975a):

$$K = (P / L^3) * 100$$

Dónde: P = peso del pez (g); L = longitud total (cm)

Supervivencia (S%) del camarón y los peces, presentada como porcentaje de supervivencia mediante la aplicación de la fórmula (Steffens, 1987):

$$S(\%) = (Nf / Ni) * 100$$

Dónde: Nf = número final de organismos; Ni = número inicial de organismos.

### **Análisis estadístico**

Al comienzo de las pruebas se realizó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) con el programa STATISTICA para Windows (Versión 5.5) al peso (g) y longitud total (cm) de los camarones y peces sembrados en los distintos tratamientos para comprobar que no presentaran diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Los datos de calidad del agua y desempeño productivo del cultivo mixto y monocultivo fueron analizados utilizando un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y cuando se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey. Los datos en porcentajes fueron transformados con arcoseno antes de su análisis estadístico. El efecto del cultivo mixto directo y mixto dividido en el desempeño productivo de los organismo fue analizado utilizando un análisis factorial de dos vías (ANDEVA,  $P < 0.05$ ).

## RESULTADOS

Calidad del agua: La temperatura, salinidad y oxígeno disuelto no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), pero la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) varió significativamente ( $P < 0.05$ ) entre el monocultivo y algunos tratamientos de cultivo mixto (Tabla IV).

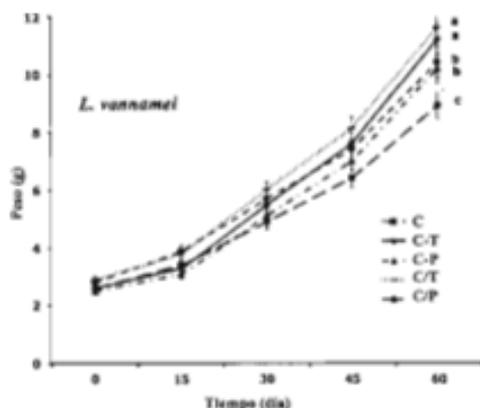
**Tabla IV.** Promedio  $\pm$  Error Estándar ( $\mu \pm \text{EE}$ ) de las variables de calidad del agua en el cultivo mixto (C-T, C-P, C/T y C/P) y en el monocultivo (C: camarón, T: tilapia, P: pargo)

Tratamiento/ Variable	C-T	C-P	C/T	C/P	C	T	P
T (°C)	30.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.1 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.3 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	30.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
Salinidad (ups)	20.4 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.5 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.5 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.6 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.4 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.4 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	20.5 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
OD (mg/L)	6.5 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.9 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.8 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.8 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	6.9 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>
NAT (mg/L)	0.7 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	0.5 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>	0.3 $\pm$ 0.50 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>
$\text{NO}_2$ (mg/L)	0.6 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	0.1 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>	0.4 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	0.2 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.40 <sup>c</sup>
$\text{NO}_3$ (mg/L)	1.9 $\pm$ 0.89 <sup>a</sup>	1.3 $\pm$ 0.90 <sup>c</sup>	2.3 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>	1.7 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	1.1 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	1.4 $\pm$ 0.60 <sup>c</sup>	1.3 $\pm$ 0.50 <sup>c</sup>
$\text{PO}_4$ (mg/L)	2.0 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	1.8 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	2.0 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	1.7 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	1.2 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	0.8 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>

T= temperatura ups= unidades prácticas de salinidad OD= oxígeno disuelto NAT= nitrógeno amoniacal total  $\text{NO}_2$ = nitritos  $\text{NO}_3$ = nitratos  $\text{PO}_4$ = fosfatos. Medias en la misma fila con diferente letra presentan diferencias significativas (ANDEVA, Tukey,  $P < 0.05$ ).

La concentración de nitrógeno amoniacal total y de fosfatos fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en el cultivo mixto directo de camarón con tilapia (C-T) comparado con las obtenidas en el cultivo mixto dividido de camarón con pargo (C/P) y en los monocultivos. La concentración de nitritos fue mayor ( $P < 0.05$ ) en el cultivo mixto directo de camarón con tilapia (C-T) en comparación con la presentada en los monocultivos (C, T y P), sin embargo, el monocultivo de camarón (C) presentó mayores concentraciones ( $P < 0.05$ ) que el monocultivo de pargo (P). La concentración de nitratos fue mayor ( $P < 0.05$ ) en C/T y C-T comparada con la obtenida en los monocultivos y en los cultivos mixtos de camarón con pargo (C-P y C/P). En el cultivo mixto directo de camarón con tilapia (C-T) se presentó la mayor concentración de NAT,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$ .

Desempeño productivo del camarón blanco: el mayor peso promedio final del camarón se presentó en el cultivo mixto directo y mixto dividido con tilapia (C-T y C/T) mientras que el menor fue obtenido en el monocultivo ( $P < 0.05$ ) (Figura 12).

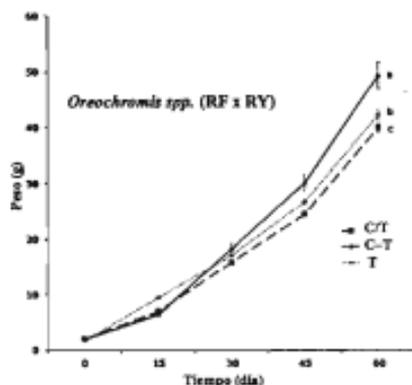


**Figura 12.** Crecimiento del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en cultivo mixto (C-T , C-P , C/T y C/P) y monocultivo (C) durante el periodo experimental de 60 días.

La mejor TC y TEC de camarón se registró en los tratamientos de cultivo mixto con tilapia, con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a las presentadas en el monocultivo. El mejor FCA (1.6) fue obtenido en el cultivo mixto directo con tilapia roja y mixto directo con pargo lunarejo, con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el resto de los tratamientos (Tabla V).

Desempeño productivo de la tilapia roja: El mayor peso promedio final así como la mejor TC, TEC, FCA y factor de condición K de la tilapia roja (Figura 13) se presentaron en el cultivo mixto directo de camarón con tilapia (C-T), mientras que en el cultivo mixto dividido (C/T) se obtuvo el menor peso final, la menor TC, TEC y un mayor FCA, presentando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el monocultivo y el cultivo mixto directo (Tabla V).

Desempeño productivo del pargo lunarejo: El mayor peso final, TC y TEC del pargo lunarejo fue presentado en los cultivos mixtos de camarón con pargo (C-P y C/P), mientras que los valores más bajos ( $P < 0.05$ ) fueron los del monocultivo (P). No se presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) del FCA ni del factor de condición K entre tratamientos (Figura 14; tabla V).



**Figura 13.** Crecimiento del híbrido de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en cultivo mixto (C-T y C/T) y monocultivo (T) durante el periodo experimental de 60 días.

Los tratamientos de cultivo mixto produjeron una mayor biomasa combinada y una mejor ganancia de peso así como un menor FCA comparados con los tratamientos de monocultivo ( $P < 0.05$ ). En el cultivo mixto directo de camarón con tilapia (C-T) se presentó una biomasa y una ganancia de peso significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) así como un menor FCA comparado con el resto de los tratamientos de cultivo mixto (Tabla V).

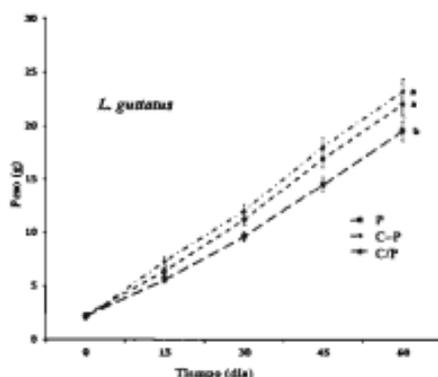
**Tabla V.** Promedio  $\pm$  Error Estándar ( $\mu \pm EE$ ) del desempeño productivo del camarón blanco (C), la tilapia roja (T) y el pargo lunarejo (P) en cultivo mixto y monocultivo.

Técnica de cultivo	Mixto directo		Mixto dividido		Monocultivo
	C-T	C-P	C/T	C/P	C
<b>Camarón blanco</b>					
<i>Siembra</i>					
Organismos/Est	50	50	25	25	50
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	100	100	50	50	100
Peso promedio (g/org)	2.6 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	2.6 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	2.7 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	2.7 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	2.6 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>
Biomasa (g/Est)	130.0 $\pm$ 3.1	130.0 $\pm$ 3.5	67.5 $\pm$ 1.8	67.5 $\pm$ 1.6	130.0 $\pm$ 3.2
<i>Cosecha</i>					

Organismos/Est	25	25	12	12	25
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	50	50	24	24	50
Peso promedio (g/org)	11.1 ±0.2 <sup>a</sup>	10.4 ±0.4 <sup>b</sup>	11.4 ±0.3 <sup>a</sup>	10.4 ±0.3 <sup>b</sup>	8.9 ±0.2 <sup>c</sup>
Biomasa (g/Est)	273.6 ±3.1	156.0 ±3.9	136.8 ±1.5	119.8 ±3.4	213.6 ±3.2
TC (g/semana)	0.99 ±0.01 <sup>a</sup>	0.91 ±0.03 <sup>b</sup>	1.02 ±0.02 <sup>a</sup>	0.89 ±0.04 <sup>b</sup>	0.74 ±0.06 <sup>c</sup>
TEC (%/día)	2.4 ±0.1 <sup>a</sup>	2.3 ±0.1 <sup>a</sup>	2.4 ±0.2 <sup>a</sup>	2.2 ±0.1 <sup>ab</sup>	2.1 ±0.2 <sup>b</sup>
FCA	1.6 ±0.07 <sup>b</sup>	1.6 ±0.07 <sup>b</sup>	1.8 ±0.07 <sup>a</sup>	1.8 ±0.07 <sup>a</sup>	2.1 ±0.07 <sup>a</sup>
Supervivencia (%)	98.6 ±0.7 <sup>a</sup>	60.0 ±0.6 <sup>b</sup>	100 ±0 <sup>a</sup>	96.0 ±0.6 <sup>a</sup>	96.0 ±0.7 <sup>a</sup>
<b>Tilapia roja</b>	<b>C-T</b>		<b>C/T</b>		<b>T</b>
<i>Siembra</i>					
Organismos/Est	25		12		25
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	50		24		50
Peso promedio (g/org)	2.0 ±0.1 <sup>a</sup>		1.9 ±0.2 <sup>a</sup>		2.1 ±0.1 <sup>a</sup>
Biomasa (g/Est)	50.0 ±0.3		22.8 ±0.2		52.5 ±0.4
<i>Cosecha</i>					
Organismos/Est	8		4		8
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	16		8		16
Peso promedio (g/org)	49.2 ±2.6 <sup>a</sup>		31.7 ±4.8 <sup>c</sup>		39.8 ±2.9 <sup>b</sup>
Biomasa (g/Est)	388.1 ±4.8		100.2 ±6.2		301.2 ±4.5
TC (g/semana)	5.7 ±0.3 <sup>a</sup>		3.7 ±0.4 <sup>c</sup>		4.6 ±0.1 <sup>b</sup>
TEC (%/día)	6.5 ±0.3 <sup>a</sup>		5.8 ±0.2 <sup>b</sup>		6.1 ±0.5 <sup>a</sup>
FCA	1.1 ±0.2 <sup>a</sup>		1.5 ±0.3 <sup>b</sup>		1.2 ±0.2 <sup>a</sup>
K	1.8 ±0.4 <sup>a</sup>		1.6 ±0.2 <sup>a</sup>		1.7 ±0.3 <sup>a</sup>
Supervivencia (%)	98.6 ±2.6 <sup>a</sup>		79.0 ±3.1 <sup>b</sup>		94.6 ±2.8 <sup>a</sup>
<b>Pargo lunarejo</b>	<b>C-P</b>		<b>C/P</b>		<b>P</b>
<i>Siembra</i>					
Organismos/Est	8		4		8
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	16		8		16
Peso promedio (g/org)	2.0 ±0.11 <sup>a</sup>		2.3 ±0.15 <sup>a</sup>		2.2 ±0.12 <sup>a</sup>
Biomasa (g/Est)	16.0 ±0.2		9.2 ±0.1		17.6 ±0.3
<i>Cosecha</i>					
Organismos/Est	2		1		2
Densidad (org/m <sup>3</sup> )	4		2		4
Peso promedio (g/org)	23.3 ±1.2 <sup>a</sup>		22.0 ±1.2 <sup>a</sup>		19.5 ±1.0 <sup>b</sup>
Biomasa (g/Est)	46.6 ±1.3		22.0 ±1.1		39.0 ±1.5

TC (g/semana)	2.5 ±0.1 <sup>a</sup>		2.3 ±0.2 <sup>a</sup>	2.0 ±0.1 <sup>b</sup>
TEC (%/día)	4.1 ±0.2 <sup>a</sup>		3.8 ±0.3 <sup>a,b</sup>	3.6 ±0.1 <sup>b</sup>
FCA	1.8 ±0.2 <sup>a</sup>		1.9 ±0.2 <sup>a</sup>	1.6 ±0.3 <sup>a</sup>
K	1.5 ±0.1 <sup>a</sup>		1.4 ±0.2 <sup>a</sup>	1.5 ±0.1 <sup>a</sup>
Supervivencia (%)	100 ±0		100 ±0	100 ±0
<b>Cultivo mixto</b>	<b>C-T</b>	<b>C-P</b>	<b>C/T</b>	<b>C/P</b>
Biomasa combinada (g/Est)	661.7 ±38.2 <sup>a</sup>	202.6 ±21.5 <sup>b</sup>	237 ±22.8 <sup>b</sup>	141.8 ±9.3 <sup>c</sup>
Peso ganado combinado (g/Est)	479.3 ±35.8 <sup>a</sup>	56.6 ±23.2 <sup>b</sup>	146.7 ±9.9 <sup>c</sup>	65.1 ±8.7 <sup>d</sup>
TEC combinada (%/día/Est)	8.9 ±0.2 <sup>a</sup>	6.4 ±0.6 <sup>b</sup>	8.2 ±0.2 <sup>a</sup>	6.0 ±0.5 <sup>b</sup>
FCA combinado	1.4 ±0.1 <sup>a</sup>	1.7 ±0.2 <sup>b</sup>	1.7 ±0.1 <sup>b</sup>	1.9 ±0.2 <sup>b</sup>

TC= tasa de crecimiento TEC= tasa específica de crecimiento FCA= factor de conversión alimenticia K= factor de condición org= organismos Est= estanque. Medias con diferente literal en la misma fila presentan diferencias significativas (ANDEVA, Tukey,  $P < 0.05$ ).



**Figura 14.** Crecimiento del pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) en cultivo mixto (C-P y C/P) y monocultivo (P) durante el periodo experimental de 60 días.

La mejor supervivencia del camarón se presentó en el cultivo mixto dividido y mixto directo con tilapia (100 y 98.6 %, respectivamente), mientras que la menor (60 %) en el cultivo mixto directo con pargo, mostrando diferencias con la del resto de los cultivos mixtos y con el monocultivo ( $P < 0.05$ ). El porcentaje de supervivencia de la tilapia en monocultivo y cultivo mixto directo fue mayor ( $P < 0.05$ ) al presentado en el cultivo mixto dividido (79 %). La supervivencia del pargo lunarejo fue del 100 % en todos los tratamientos.

## DISCUSIÓN

Durante el periodo experimental la temperatura se mantuvo arriba de los 30 °C sin diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Altas tasas de crecimiento se han reportado para camarón blanco (Ponce-Palafox *et al.*, 1997), tilapia roja (Lei y Li, 2000) y pargo lunarejo (Castillo *et al.*, 2012) en temperaturas cercanas a las registradas durante el experimento. En salinidades parecidas a la del presente estudio ( $\approx 20$  ups) se ha reportado un buen crecimiento y buena supervivencias del pargo lunarejo en monocultivo (Alcala-Carrillo *et al.*, 2016) y de camarón blanco y tilapia roja en cultivo mixto (Yuan *et al.*, 2010), infiriendo que estas variables no se vieron afectadas negativamente por la salinidad en el presente trabajo. La concentración de oxígeno disuelto en los cultivos mixtos y monocultivos (6.5-6.9 mg/L) se mantuvo por encima de la considerada como óptima (6.0 mg/L) para un buen desarrollo del camarón (Re y Díaz, 2011). Comparado con la tilapia y el pargo, el camarón requiere concentraciones de oxígeno disuelto más altas, por lo cual se infiere que la concentración de oxígeno disuelto no afectó negativamente el crecimiento ni la supervivencia del camarón ni de los peces en las diferentes técnicas de cultivo.

En el presente trabajo se observó que en sistemas intensivos de recirculación con agua clara el cultivo mixto de camarón con tilapia produce mayores concentraciones de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos al compararlo con el cultivo mixto de camarón con pargo y con los monocultivos. Esto se debió en parte a la adición de las excretas y partículas de alimento no digeridas por parte de la tilapia las cuales fueron utilizadas por el camarón como alimento (Gonzales-Corre, 1988; Yi *et al.*, 2004), observándose la formación de una delgada capa de sedimentos en el fondo de los estanques, principalmente partículas con alto contenido de nitrógeno y fosforo (Muangkeow *et al.*, 2007). Por el contrario, esta capa de sedimentos no se observó en los estanques de cultivo mixto de camarón con pargo en los que la concentración de los compuestos nitrogenados y fosfatos fue menor.

El cultivo mixto de camarón con tilapia en estanques rústicos ha sido estudiado por diversos autores, sembrando la tilapia dentro de jaulas en los estanques de camarón, en cultivo mixto directo y en cultivo secuencial (Cruz *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 1998; Yi *et al.*, 2004), pero son pocos los estudios de cultivo mixto realizados en sistemas de recirculación

(Hernández-Barraza *et al.*, 2012; Muangkeow *et al.*, 2007) y el presente trabajo es el primero en reportar el cultivo mixto de camarón con pargo en éste tipo de sistemas.

La proporción camarón:tilapia utilizada en el presente estudio (2-3:1) fue menor que las utilizadas por Wang *et al.* (1998), Muangkeow *et al.* (2007) y Simão *et al.* (2013) (20-25:1, 13-20:1 y 10:1, respectivamente), pero similar a la utilizada por Apún-Molina *et al.* (2015) (2:1), la proporción camarón:pargo en el presente estudio fue de 6-12:1. Para mejorar la supervivencia del camarón en cultivo mixto directo con pargo es necesario probar densidades ( $< 2 \text{ org/m}^3$ ) y proporciones camarón:pargo más bajas a las usadas en el presente trabajo.

En un experimento de cultivo mixto de tilapia con langostino (*Macrobrachium rosenbergii*, proporción tilapia:langostino 3:1) no se observaron efectos negativos en el crecimiento del langostino, pero la tilapia presentó un peso final menor (Uddin *et al.*, 2007). En el presente trabajo la tilapia presentó un mejor crecimiento en comparación con otros trabajos de policultivo con camarón (Simão *et al.*, 2013), observándose una respuesta similar en el crecimiento del pargo, lo cual se debió en parte al suministro al mismo tiempo de alimento flotante y de rápido hundimiento para camarones y peces, observándose poca competencia por el alimento entre los organismos, coincidiendo con Simão *et al.* (2013) los cuales encontraron que el FCA del camarón y la tilapia no se ve afectado en cultivo mixto en estanques de concreto, incluso con altas densidades y altas proporciones de tilapia (Yuan *et al.*, 2010).

Comparado con la TEC reportada por Yuan *et al.* (2010) para postlarva de camarón blanco con un peso de siembra de 0.06 g (6.7-7.2 %/día) y para tilapia roja con un peso de siembra de 13-43 g (2.9-3.8 %/día) en un cultivo mixto en estanques de cemento, la TEC del presente estudio fue menor para juveniles de camarón (2.1-2.4 %/día; peso de siembra: 2.0 g) pero mayor para juveniles de tilapia (5.8-6.5 %/día; peso de siembra: 1.9 a 2.1 g). La TEC del pargo lunarejo (3.6-4.1 %/día) fue mayor a la reportada por otros autores en estanques (0.58 %/día) y en jaulas flotantes en el mar (0.86-0.94 %/día) (Hernández *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2016), pero similar a la reportada por Alcalá-Carrillo *et al.* (2016) en un sistema cerrado de recirculación (1.3 %/día).

El peso promedio final del camarón fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en los cultivos mixtos con tilapia en comparación con el resto de los tratamientos, de igual forma el mayor peso promedio de la tilapia y el pargo fue el obtenido en los cultivos mixtos. La producción de camarón fue mayor en cultivo mixto en comparación con el monocultivo, similar a lo registrado por Yi *et al.* (2004) y Wang *et al.* (1998) en el cultivo mixto de camarón con tilapia en estanques rústicos. La producción de tilapia fue más alta en cultivo mixto que en monocultivo, esto debido en parte a los hábitos alimenticios que tiene la tilapia la cual reutiliza el alimento suministrado (Yuan *et al.*, 2010). El factor de condición K para la tilapia roja (1.6-1.8) y el pargo lunarejo (1.4-1.5) se encontraron dentro del intervalo reportado por otros autores en juveniles y adultos de *O. niloticus* (0.8 a 2.0) y en juveniles de *L. guttatus* (1.6) (Olurin y Aderibigne, 2006; Tesfaye y Tadesse, 2008; Abdo de la Parra *et al.*, 2010), infiriendo un buen estado nutricional de los peces en los cultivos mixtos y monocultivos.

El cultivo mixto de camarón con peces carnívoros (como el pargo lunarejo) puede disminuir o retrasar los brotes de enfermedades virales en los sistemas de cultivo ya que los peces pueden alimentarse de los camarones enfermos ó moribundos, lo cual disminuye la probabilidad de que otros camarones los consuman (debido a sus tendencias caníbales) y por lo tanto una menor probabilidad de infección de los camarones sanos (Jang *et al.*, 2007).

En el presente trabajo se observó poca competencia por el alimento entre juveniles de pargo lunarejo y de camarón blanco lo cual demostró la viabilidad del cultivo mixto de estas especies en un sistema de recirculación, sin embargo, aunque el cultivo mixto de camarón blanco con pargo lunarejo puede ser sinérgico, la rentabilidad a escala comercial dependerá de los resultados de futuros estudios en los cuales se examinen diferentes densidades y etapas de cultivo, por lo pronto con juveniles de ambas especies parece posible.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua en el cultivo mixto de camarón con tilapia presentó mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal total, nitritos, nitratos y fosfatos, mientras que la concentración más baja de nitritos y fosfatos se observó en el monocultivo de pargo. A pesar de esto, en el cultivo mixto directo de camarón blanco con tilapia roja, ambas especies obtuvieron mejor peso final y FCA comparado con lo obtenido en monocultivo.

Se demostró la viabilidad del cultivo mixto de camarón blanco con tilapia roja y con pargo lunarejo en un sistema de recirculación utilizando alimento flotante y de rápido hundimiento, observándose una mejora en el desempeño productivo de las especies comparado con el monocultivo, utilizando una proporción camarón:tilapia de 2-3:1 y camarón:pargo de 6-12:1.

La biomasa final de camarón, tilapia y pargo fue mayor en los cultivos mixtos (2.0, 7.7 y 2.9 veces mayor, respectivamente) con respecto a su biomasa inicial, con tasas de conversión alimenticia menores, lo cual contribuye a un sistema más sustentable.

Es necesario realizar estudios que permitan mejorar la supervivencia del camarón en cultivo mixto directo con pargo lunarejo así como futuras investigaciones para comprender de que manera las interacciones intra e interespecíficas afectan el desempeño productivo del camarón y de los peces así como la calidad del agua en sistemas de recirculación intensivos con agua clara utilizando el cultivo mixto.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda probar diferentes sustratos en los biofiltros así como mejorar el diseño del sistema de recirculación para reducir la concentración de desechos (TAN, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>) en los estanques y procurar una óptima calidad del agua para un buen desarrollo de los organismos cultivados.

Se recomienda realizar pruebas de cultivo mixto de tilapia roja con pargo lunarejo en sistemas de recirculación, además de la evaluación de distintas densidades y tamaños de siembra de camarones y peces para conocer los óptimos a utilizar en cultivo mixto intensivo.

También es recomendable el estudio del cultivo de las especies utilizadas en el presente trabajo en agua a distintas salinidades (0 a 40 ups) para conocer en qué ambiente se desarrollan mejor estas especies al cultivarse juntas en un sistema de recirculación. Es recomendable probar las técnicas de cultivo mixto del presente trabajo a escala piloto utilizando estanques circulares de geomembrana para obtener datos sobre la posible aplicación a nivel comercial, incluyendo un análisis económico de las diferentes técnicas de cultivo para definir la viabilidad y rentabilidad de éstas.

En México es necesario impulsar la investigación y desarrollo de sistemas de producción acuícola basados en el policultivo y el cultivo mixto, ya que estas técnicas podrían dar impulso al desarrollo de una acuicultura más sustentable evitando los graves problemas de enfermedades e impacto ambiental que se han presentado en otros países los cuales han optado por un desarrollo acuícola basado solamente en la intensificación de cultivos mono específicos. Se debe mantener siempre en mira una vinculación entre productores e investigadores para lograr el desarrollo de proyectos en los que se aplique el conocimiento científico para contrarrestar los problemas que actualmente se presentan en las diversas zonas acuícolas de México.

## LITERATURA CITADA

- Abdo de la Parra, M., Rodríguez-Ibarra, L. E., Hernández, C., Hernández, K., González-Rodríguez, B., Martínez-Rodríguez, I., y García-Ortega, A. (2010). Efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos totales en la dieta sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(3): 433-439 pp.
- Akiyama, D.M. y Anggawati, A.M. (1999). Polyculture of *Penaeus monodon* and red tilapia in intensive pond culture conditions. ASA technical bulletin Vol. AQ 47: 1-7 pp.
- Alcala-Carrillo, M., Castillo-Vargasmachuca, S.G. y Ponce-Palafox, J.T. (2016). Effects of temperature and salinity on growth and survival of the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* juvenile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 44(1):159-164 pp.
- All, M.A., Hossain, G.S., Biswas, M.M.R., Barman, S.K. y Huq, K.A. (2009). Polyculture and integrated culture pattern of freshwater prawn in fresh to hyposaline water. *International Journal of Sustainable Crop Production* 4(4): 23-27 pp.
- Apún-Molina, J.P., Santamaría, M.A., Luna, G.A., Ibarra, G.J.C., Medina, A.V. y Racotta, I. (2015). Growth and metabolic responses of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* and Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in polyculture fed with potential probiotic microorganisms on different schedules. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(3): 435-445 pp.
- Arredondo-Figueroa, J.L., y Ponce-Palafox, J.T. (2011). Bases biológicas para el cultivo de organismos acuáticos de México. AGT editor, SA México. 416 p.
- Avilés-Quevedo, A., Mazón-Suastegui, J.M., y Castello-Orvay, F., (2008). Avances en el cultivo del pargo flamenco, *Lutjanus guttatus*, un ejemplo a seguir de los pescadores de Bahía Concepción, en Baja California Sur. *Industria Acuicola*, 4: 4-7 pp.
- Barón, B., Buckle, F. y Hernández, M. (2004). Cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* Boone 1931; en un sistema de agua de mar recirculada. *Ciencias Marinas*, 30(1): 179-188 pp.



- Bell, J.D., Agudo, N.N., Purcell, S.W., Blazer, P., Simutoga, M., Pham, D. y Della Patrona, L. (2007). Grow-out of sandfish *Holothuria scabra* in ponds shows that co-culture with shrimp *Litopenaeus stylirostris* is not viable. *Aquaculture*, 273(4): 509-519 pp.
- Candido, A.S., De Melo Júnior, A.P., Costa, O.R., Dos Santos Costa, H.J.M. y Igarashi, M.A. (2008). Efeito de diferentes densidades na conversão alimentar da tilápia *Oreochromis niloticus* com o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistema de policultivo. *Revista Ciência Agronômica*, 36(3): 279-284 pp.
- Castillo-Vargasmachuca, S., Ponce-Palafox, J.T., Chávez-Ortiz, E. y Arredondo-Figueroa, J.L. (2007). Effect of the initial stocking body weight on growth of spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) in marine floating cages. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 261-267 pp.
- Castillo-Vargasmachuca, S., Ponce-Palafox, J.T., García-Ulloa, M., Arredondo-Figueroa, J.L., Ruiz-Luna, A., Chávez, E.A. y Tacon, A.G. (2012). Effect of stocking density on growth performance and yield of subadult Pacific Red Snapper cultured in floating sea cages. *North American Journal of Aquaculture*, 74(3): 413-418 pp.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura), México (2013). Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2013. 305 p.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura), México (2014). Base de datos de producción Anuario estadístico 2014.
- Cruz, P.S., Andalecio, M.N., Bolívar, R.B. y Fitzsimmons, K. (2008). Tilapia–shrimp polyculture in Negros Island, Philippines: A review. *Journal of the World Aquaculture Society* 39: 713-725 pp.
- Da Costa, F.S. (2008). Avaliação econômica do sistema de policultivo de camarões marinhos (*Litopenaeus vannamei*) com tilápia (*Oreochromis niloticus*) em diferentes densidades de estocagem. Tesis de Maestría. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. 30 p.
- Esparza-Leal, H.M., Ponce-Palafox, J.T., Aragón-Noriega, E.A., Arredondo-Figueroa, J.L., García-Ulloa Gómez, M. y Valenzuela-Quinonez, W. (2010). Growth and performance of the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* (Boone) cultured in low-salinity

- water with different stocking densities and acclimation times. *Aquaculture Research*, 41(6): 878-883 pp.
- FAO** (Food and Agricultural Organization) (2015). A guide to recirculation aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Budapest, Hungria. 95 p.
- FAO** (Food and Agricultural Organization) (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Roma, Italia. 224 p.
- Fitzsimmons, K.** (2001). Polyculture of tilapia and penaeid shrimp. *Global Aquaculture Advocate* 4(3): 43-44 pp.
- García Pérez A.** (1999). Effects on yield and population structure by removing female *Macrobrachium rosenbergii* from a continuous polyculture system with red Tilapia hybrids. Tesis de Doctorado, University of Puerto Rico, Puerto Rico. 96 p.
- Gómez, A., y Scelzo, M.A.** (1982). Polyculture experiments of pompano *Trachinotus carolinus* (Carangidae) and spotted red shrimp *Penaeus brasiliensis* (Penaeidae) in concrete ponds, Margarita Island, Venezuela. *Journal of the World Mariculture Society*, 13(1-4): 146-153 pp.
- Gonzales-Corre, K.** (1988). Polyculture of the tiger shrimp (*Penaeus monodon*) with the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish water fish ponds. En: R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan and K. Tonguthai (eds.) Proceedings of the second international symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines, 15-20 pp.
- Hepher, B., Martínez, R.P. y Salas, A.O.**, 1993. Nutrición de peces comerciales en estanques. Editorial Limusa, México, 406 p.
- Hernández-Barraza, C., Loredo, J., Adame, J. y Fitzsimmons, K.M.** (2012). Effect of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the growth performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in a sequential polyculture system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(4):936-942 pp.
- Hernández, C., Ibarra-Castro, L., Hernández, C.H., Quintero-Martínez, G., Aragón-Noriega, E.A. y Tacon, A.G.** (2015). Growth performance of spotted rose snapper in

- floating cages and continuous water-flow tank systems. *North American Journal of Aquaculture*, 77:4, 423-428 pp.
- Hernández, C.H., Hernández, C., Martínez-Cordero, F.J., Castañeda-Lomas, N., Rodríguez-Domínguez, G., Tacon, A.G.J. y Aragón-Noriega, E.A.** (2016). Effect of density at harvest on the growth performance and profitability of hatchery reared spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, cultured in floating net cages. *Journal of the World Aquaculture Society* 47(1): 51-60 pp.
- Hopkins, K.D.** (1992). Reporting fish growth: A review of the basics. *Journal of the World Aquaculture Society* 23(3): 173-179 pp.
- Hosseini-Aghuzbeni, S.H., Hajirezaee, S., Matinfar, A., Khara, H. y Ghobadi M.** (2016). A preliminary study on polyculture of western white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with mullet (*Mugil cephalus*): an assessment of water quality, growth parameters, feed intake efficiency and survival. *Journal of Applied Animal Research*, 1-5 pp.
- INEGI** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), México (2015). Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2015. 447 p.
- Jang, K., Jun, J.C., Jo, G.J., Cho, Y.R., Seo, H.C., Kim, B.L. y Kim, J.S.** (2007). Polyculture of fleshy shrimp *Fenneropenaeus chinensis* and white shrimp *Litopenaeus vannamei* with river puffer *Takifugu obscurus* in shrimp ponds. *Journal of Aquaculture* 20(4): 278-288 pp.
- Jaspe, C.J., Caipang, C.M.A. y Elle, B.J.G.** (2011). Polyculture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* and milkfish, *Chanos chanos* as a strategy for efficient utilization of natural food production in ponds. *Animal Biology and Animal Husbandry ABAH*, 3(2): 96-104 pp.
- Jatobá, A., Vieira, F.N., Buglione-Neto, C.C., Pedreira-Mourinho, J.L., Silva, B.C., Seiffter, W.Q. y Andreatta, E.R.** (2011). Diet supplemented with probiotic for Nile tilapia in polyculture system with marine shrimp. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37:725-732 pp.

- Jhingram, V.G.** (1975). Aquaplosion Lecture, Summer int. Intensive freshwater fish culture, Cuttak, Organizado por Centre Inland Fish Res. Inst., Barrackpore (ICAR), 12 p.
- Junior, B., Paula, A., Azevedo, C.M.D.S.B. y Henry-Silva, G.G.** (2012). Polyculture of Nile tilapia and shrimp at different stocking densities. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(7): 1561-1569 pp.
- Lei S. y Li, D.** (2000). Effect of temperature on energy budget of Taiwanese red tilapia hybrid (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). *YingYong Sheng Tai Xue Bao*, 11: 618-620 pp.
- Luong, T.C., Hochard, S., Royer, F., Lemonnier, H. y Letourneur, Y.** (2014). Feasibility of polyculture of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* and goldlined rabbitfish *Siganus lineatus* in a mesocosm system. *Aquaculture*, 433: 340-347 pp.
- Martínez-Porchas M., Martínez-Cordoba L.R., Porchas-Cornejo, M.A. y López-Eliás J.A.** (2010). Shrimp polyculture: a potentially profitable, sustainable, but uncommon aquacultural practice. *Reviews in Aquaculture*, 2(2): 73-85 pp.
- Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S. y Yi, Y.** (2007). Effects of White shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system. *Aquaculture* 269(1): 363-376 pp.
- Nammalwar, P. y Kathirvel, M.** (1988). Preliminary experiments on monoculture of *Chanos chanos* (Forsk.) and its polyculture with *Penaeus monodon* Fabricius. *Indian Journal of Fisheries* 35(3): 197-204 pp.
- Oliveira-Costa, L.C., Amaral-Xavier, J.A., Matos-Neves, L.F., Azanibuja, A.M.V., Junior, W.W. y Chim-Figueiredo, M.R.** (2013). Polyculture of *Litopenaeus vannamei* shrimp and *Mugil platanus* mullet in earthen ponds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(9): 605-611 pp.
- Olurin, K. B. y Aderibigbe, O. A.** (2006). Length-weight relationship and condition factor of pond reared juvenile *Oreochromis niloticus*. *World Journal of Zoology*, 1(2): 82-85 pp.

- Ortega-Salas, A.A., Rendón, L.A., Beltrán-Alvarez, R. y Tintos-Gómez, A.** (2013). Polyculture and growth of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) with shrimp *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) in sea water. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*, 5(2): 241-244 pp.
- Ponce-Palafox, J.T., Martínez-Palacios, C.A. y Ross, L.G.** (1997). The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture* 157(1): 107-115 pp.
- Re, A.D. y Díaz, F.** (2011). Effect of different oxygen concentrations on physiological energetics of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *The Open Zoology Journal* 4: 1-8 pp.
- Reynold, T.D.** (1968). The biology of the clupeids in the New Volta. En: *Man-made Lakes. The Accra Symposium. Ghana University Press, Accra*, 56 p.
- Ricker, W.E.** (1975a). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board of Canada*, 191: 382 p.
- Ricker, W.E.** (1979). Growth rates and models. En: Hoar, W.S., Randall, D.J. y Brett, J.R. (Eds.) *Fish physiology: bioenergetics and growth*. Academic Press, New York. 677-744 pp.
- Robertson, L., Samocha, T., Gregg, K. y Lawrence, A.** (1992). Potencial de engorda postcriadero de *Penaeus vannamei* en un sistema intensivo tipo "raceway". *Ciencias Marinas*, 18(4): 47-56 pp.
- Rodríguez, G.R.O.** (2003). La tilapia y su efecto en la prevalencia del virus de la mancha blanca (WSSV) en poblaciones de camarón. Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 72 p.
- Rossberg, K.S. y Strawn, R.K.** (1980). Comparative growth and survival of Brown shrimp cultured with Florida pompano, black drum and striped mullet. *Proceedings of the World Mariculture Society* 11: 219-225 pp.
- Rouse D.B.** (1981). The evaluation of *Macrobrachium rosenbergii* and *Tilapia aurea* polyculture in Texas. Tesis de Doctorado. Texas A&M University, Texas, EUA. 108 p.

- Sandifer, P.A. y Hopkins, J.S.** (1996). Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. *Aquacultural Engineering* 15: 41-52 pp.
- Silva-Ribeiro, F.A., Diógenes, A.F., Silva-Cacho, J.C., de Carvalho, T.L. y Kochenborger-Fernandes, J.B.** (2014). Polyculture of Freshwater Angelfish *Pterophyllum scalare* and Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in low-salinity water. *Aquaculture Research*, 45:637-64 pp.
- Simão, B.R., Brito, L.O., Maia, A.S.C., Miranda, L.C. y Azevedo, C.M.D.S.B.** (2013). Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia polyculture in tanks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8): 1088-1095 pp.
- Steffens, W.** (1987). Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España, 275 p.
- Tatum, W.M. y Trimble, W.C.** (1978). Monoculture and polyculture pond studies with pompano (*Trachinotus carolinus*) and penaeid shrimp (*Penaeus aztecus*, *P. duorarum* y *P. setiferus*) in Alabama, 1975-1977. *Proceedings of the annual meeting World Mariculture Society* 9(1-4): 431-446 pp.
- Tendencia, E.A., De la Peña, M.R., Fermin, A.C, Lio-Po, G., Choresca, C.H. y Inui, Y.** (2003). Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*. *Aquaculture* 232: 145-152 pp.
- Tendencia, E.A., De la Peña, M.R. y Choresca, Jr., C.H.** (2006). Effect of shrimp biomass and feeding on the anti-*Vibrio harveyi* activity of *Tilapia sp.* in a simulated shrimp-tilapia polyculture system. *Aquaculture* 253: 154-162 pp.
- Tesfaye G. y Tadesse Z.** (2008). Length-weight relationship, Fulton's condition factor and size at first maturity of tilapia, *Oreochromis niloticus* L. in lakes Koka, Ziway and Langano (Ethiopian rift valley). *Ethiopian Journal of Biological Sciences* 7(2): 139-157 pp.
- Tian, X., Li, D., Dong, S., Yan, X., Qi, Z., Liu, G. y Lu, J.** (2001). An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. *Aquaculture* 202: 57-71 pp.

- Tran, L., Nunan, L., Redman, R.M., Mohney, L.L., Pantoja, C.R., Fitzsimmons, K. y Lightner, D.V.** (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms* 105: 45-55 pp.
- Trimble, W.C.** (1980). Production trials for monoculture and polyculture of White shrimp (*Penaeus vannamei*) and blue shrimp (*P. stylirostris*) with Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) in Alabama, 1978-1979. *Proceedings of the World Mariculture Society* 11: 44-59 pp.
- Uddin, M.S., Rahman, S.M.S., Azim, M.E., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J. y Veneth, J.A.J.** (2007). Effects of stocking density on production and economics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture in periphyton based systems. *Aquaculture Research* 38: 1759-1769 pp.
- Wang Ji-Quiao, Li, D., Dong, S., Wang, K. y Tian, X.** (1998). Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds I. Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids. *Aquaculture* 163: 11-27 pp.
- Yi, Y. y Fitzsimmons, K.** (2004). Tilapia–shrimp polyculture in Thailand. En: Bolivar R., Mair G. y Fitzsimmons K. (eds.) *New Dimensions in Farmed Tilapia*, Proceedings of ISTA 6. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Manila. 777-790 pp.
- Yi, Y., Fitzsimmons, K., Saelee, W. y Clayden, P.** (2004). Stocking densities of Nile tilapia in shrimp ponds under different feeding strategies. En: Thailand. Twentieth-First Annual Technical Report, Pond dynamics Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 100 p.
- Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzsimmons, K. y Diana, J.S.** (2010). Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis spp.*) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture*, 298: 226-238 pp.