











# Factores técnicos del manejo de la calidad agua y sedimento en policultivo camarón-tilapia en estanques

Jorge Juárez-Rosales<sup>1</sup> ; Jesus T. Ponce-Palafox<sup>2</sup> ; Alma D. Román-Gutiérrez<sup>1\*</sup>   
Elena M. Otazo-Sánchez<sup>1</sup> ; Griselda Pulido-Flores<sup>1</sup> ; Yolanda Marmolejo-Santillán<sup>1</sup>   
Raúl Tapia-Varela<sup>2</sup> ; Mario A. Benítez-Mandujano<sup>3</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Química. Posgrado en Ciencias Ambientales. Pachuca Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nayarit. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. Laboratorio de Bioingeniería Costera. Nayarit, México.

<sup>3</sup>Universidad Juárez de Tabasco. Unidad de los Ríos, Tenosique, Tabasco, México.

\*Correspondencia: [aroman@uaeh.edu.mx](mailto:aroman@uaeh.edu.mx)

Recibido: Junio 2021; Aceptado: Octubre 2021; Publicado: Noviembre 2021.

## RESUMEN

El policultivo de camarón-tilapia es una de las estrategias de mitigación para los impactos sanitarios y los efluentes en las granjas camaroneras. Su finalidad principal es incrementar la producción y controlar la calidad del agua de sus efluentes. En casos de éxito se controlaron algunas enfermedades y mejoró la calidad del suelo en estanques de tierra. En esta revisión, se analizan los beneficios que se obtienen en la calidad del agua, sedimento, medio ambiente, incremento del rendimiento y el mejoramiento de los parámetros zootécnicos de camarones co-cultivados con tilapia. Los policultivos de camarón-tilapia pueden contribuir con un efecto positivo sobre la calidad del agua y sedimentos de los estanques y efluentes de las granjas de cultivo, lo cual depende de las condiciones de densidad y ambiente donde se desarrollan. Sin embargo, se requiere adaptar y demostrar su funcionalidad y rentabilidad comercial a pequeña escala e industrialmente.

**Palabras clave:** Acuicultura; beneficios; Co-cultivos; medioambiente; mitigación (Fuente: CAB).

## ABSTRACT

The polyculture of tilapia fish and shrimp is one of the mitigation techniques to reduce sanitary impact and effluents in shrimp farms. It mostly aims to increase production and control water quality of effluents. Some cases of success have reported the control of certain diseases and the improvement of soil quality in earthen ponds. This review analyzes the benefits obtained in terms of water quality, sediments, environment, production increase, and improvement of zootechnical parameters of shrimp polycultured with tilapia fish. Shrimp-tilapia polycultures can contribute with a positive effect to water quality and sediments from ponds and effluents of farms; this depends on density and environment conditions where polycultures are developed. However, they must be adapted, and their functionality and commercial profitability must be proven at small and large scales.

**Keywords:** Aquaculture; benefits; co-cultures; environment; mitigation (Source: CAB).

### Como citar (Vancouver).

Juárez-Rosales J, Ponce-Palafox JT, Román-Gutiérrez AD, Otazo-Sánchez EM, Pulido-Flores G, Marmolejo-Santillán Y, Tapia-Varela R, Benítez-Mandujano MA. Factores técnicos del manejo de la calidad agua y sedimento en policultivo camarón-tilapia en estanques. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(1):e2147. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2147>



©El (los) autor (es) 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la acuicultura rural se ha caracterizado no solo por su crecimiento en las últimas décadas, sino que se ha perfilado fuertemente como un garante de la seguridad alimentaria y el mejoramiento de la economía de poblaciones con bajos niveles de vida, lo que ha contribuido al desarrollo económico local. Entre las características de la acuicultura que contribuyen para el desarrollo rural se encuentra que alrededor del 90% de los productores son de pequeña escala. La acuicultura emplea aproximadamente 19.3 millones de personas a nivel mundial (1), representando una fuente importante para la economía y el desarrollo del Sudeste Asiático, África, y América Latina. Esto permite a pequeños acuicultores no quedar fuera del negocio, forzando a que el mercado no sea dominado por productores a escala industrial.

Se ha documentado que los cultivos han afectado gravemente los ecosistemas donde se desarrollan y a lo largo del tiempo se han planteado diferentes estrategias de acuicultura integradas como una parte de la solución (2). Las características de las aguas de efluentes de cultivos de camarón y sus efectos, son conocidas ampliamente; destacando el incremento de la salinidad, sólidos en suspensión, partículas orgánicas, clorofila "a" y bacterias a los ecosistemas costeros, así como la reducción del oxígeno disuelto y de la transparencia (3).

El policultivo de camarones es una práctica antigua que podría haber evolucionado desde los primeros sistemas extensivos de camarones en los que especies de peces como el sábalo (*Chanos chanos*) y la lisa (*Mugil spp.*) fueron incidentales o introducidos y cosechados intencionalmente como cultivos adicionales para camarones (4). Un mayor desarrollo podría haber implicado la introducción de camarones en estanques de algas rojas (*Gracilaria edulis* y *Gracilaria changii*) (5) como fuente adicional de ingresos. La investigación sobre el policultivo entre camarones de varias especies de peces y bivalvos (6,7), se ha implementado, con el propósito de incrementar la producción y tener un control de la calidad del agua. Estas investigaciones y las prácticas culturales, se han basado principalmente en sistemas extensivos y semi-intensivos. Se han hecho pocos intentos de realizar policultivos con camarones en un nivel intensivo comparable al del monocultivo (8). La finalidad del presente trabajo es hacer una revisión de los aspectos básicos de la ecología

de estanques, calidad del agua, sedimentos, tecnológicos y ambientales del policultivo camarón-tilapia.

## La acuicultura integrada o policultivos

Las definiciones de acuicultura integrada y los policultivos están muy extendidas. Pero en esencia se refieren a un sistema de producción acuícola en el que la producción de residuos de un subsistema es utilizada por otro subsistema vinculado, lo que resulta en una mayor eficiencia del sistema en general. Los subsistemas pueden ser especies acuáticas, pesqueras, agrícolas, ganaderas o de otras actividades humanas. El objetivo de la producción integrada es crear sistemas equilibrados para la sostenibilidad ambiental (biomitigación), estabilidad económica (diversificación de productos y reducción de riesgos) y aceptabilidad social (mejores prácticas) (9).

Al policultivo también se conoce como acuicultura multitrófica, co-cultivo o simplemente acuicultura integrada (9). Existen al menos tres tipos generales de policultivo: directo, en jaula-estanque, y secuencial (10). El policultivo directo se refiere a dos o más especies mixtas en el mismo estanque o unidad de acuicultura sin particiones (es decir, es posible que haya contacto físico entre las especies). El policultivo jaula-estanque, es similar al policultivo directo porque diferentes especies se cultivan juntas en el mismo tanque o estanque, pero uno (o algunos) de ellos son encerrados dentro de jaulas, limitando su espacio y contacto físico con el organismo principal (11). Al igual que con el policultivo directo, no es necesario un espacio adicional y además hay un mejor control del cultivo de especies.

El policultivo secuencial, implica una acuicultura integrada donde las especies principales y las subordinadas están separadas por diferentes unidades y el flujo de efluentes de los estanques de la especie principal se conduce hacia las unidades de cultivo de las especies subordinadas. En algunos de estos modelos el agua se descarga a los ecosistemas receptores, mientras que en otros se recircula. La especie secundaria prospera en los efluentes de los estanques de las principales especies, aprovechando alimentos no consumidos, materia orgánica y otros nutrientes. Este proceso mejora la calidad del agua descargada para que pueda reutilizarse y disminuye el impacto ambiental del proceso (12).

Dentro de todas las prácticas de acuicultura integradas, el cultivo de arroz y peces es probablemente uno de los más antiguos, en su mayoría desarrollado en Asia, y más recientemente se ha extendido a otras regiones (13). En estanques de agua salobre también se ha practicado durante mucho tiempo esta estrategia acuacultural, con sistemas extensivos y semi-intensivos de camarones, peces, plantas agrícolas (como el arroz) que se encuentran hoy en día principalmente en China, Indonesia, India, Filipinas, Taiwán, Tailandia, Japón, Vietnam y recientemente en Bangladesh (14). Es especialmente en los países del sudeste asiático que se ha acumulado una considerable investigación y experiencia en la acuicultura integrada de aguas salobres. Sin embargo, con la excepción del cultivo integrado de arroz y camarones, la información existente sobre el desempeño socioeconómico de tales sistemas es escasa.

Respecto a los policultivos en estanques costeros tropicales, se destaca históricamente el cultivo de múltiples especies en estanques con influencia de las mareas, es decir, con una producción que refleja la composición de las especies en el agua entrante. Estos estanques suelen ser cuerpos de agua con baja profundidad a lo largo de bahías y esteros, y pueden variar en tamaño desde pocas hectáreas hasta más de 100 ha (15).

### **Ecología de estanques con policultivo camarón-tilapia**

Se conoce que el policultivo entre el camarón y la tilapia puede contribuir a minimizar los desechos nitrogenados, que se convierten en metabolitos tóxicos; siendo la tilapia la que puede alimentarse y asimilar la mayoría de los desechos generados por el cultivo del camarón en cualquiera de las modalidades que se conoce. En los sistemas de policultivos, los desechos se asimilan a través de la red alimentaria dentro del ecosistema de los estanques, formado por los organismos cultivados y la biota natural de sedimentos y agua. También hay evidencia de que la diversidad de especies dentro de un entorno específico influye en una variedad de procesos del ecosistema, incluidos la productividad, la descomposición y el ciclo de nutrientes (16).

Los camarones marinos son animales bentónicos que pasan la mayor parte de su vida en contacto con los fondos y tienen un amplio alcance de hábitos alimenticios en sistemas naturales.

Estos crustáceos han sido descritos como carroñeros omnívoros, omnívoros oportunistas, alimentadores de detritos, carnívoros y depredadores. Pueden consumir agregados detritícos, incluidas bacterias y meiofauna, además de protozoos, microalgas, zooplancton, macrobentos y otros elementos (17). Los camarones en estanques de cultivo intensivo también obtienen importantes fuentes de alimentación de pequeños sólidos suspendidos y sedimentables (18).

La tilapia está entre las pocas especies de peces domesticados que se alimentan de fuentes naturales de bajo nivel trófico, como detritos y plancton, y pueden crecer en agua salina después de la aclimatación adecuada, por lo que se presentan como los más indicados para un sistema de policultivo de camarones y peces.

La gran variedad de elementos que se encuentran en el estómago de la tilapia muestran que no son selectivos en la alimentación y parece que cada especie es capaz de utilizar muchas fuentes de proteínas como alimento.

Existen dos efectos de la alimentación de la tilapia en un sistema acuicultural, uno directo: alimentación selectiva de plancton grande, particularmente el zooplancton resultando en una disminución de la presión depredadora en el fitoplancton pequeño que provocan alta productividad y hacen un uso completo de nutrientes en las aguas, debido a grandes áreas de superficie de absorción y al bajo índice de precipitación (19) y; un efecto indirecto, producto de la perturbación por la tilapia al nadar alrededor de los fondos sobre el sedimento, lo que mejora el movimiento del agua y el ciclo de nutrientes. Por otra parte, la energía excretada por la tilapia funciona como una fertilización lenta y uniforme para mantener una biomasa óptima y constante de fitoplancton en lugar de una variación dramática, filtrando los detritos orgánicos para mantener una buena calidad del agua (20).

### **Calidad del agua y sedimentos en estanques de policultivo**

El ciclo de nutrientes en los ecosistemas de aguas poco profundas está influenciado por las interacciones entre el sedimento y el agua. La comunidad microbiana juega un papel importante en la transformación de la materia orgánica depositada en el suelo de sedimentos. Esta a su vez proporciona una fuente de

nutrientes remineralizados para el crecimiento del plancton. La deposición de cargas detríticas, resultantes del plancton que se precipita a los fondos y otros organismos, derivan en aguas eutróficas. La tilapia en monocultivo puede producir una deposición significativa de materia orgánica excedente y una mejor calidad del agua, mientras que los camarones no utilizan el nivel superior de la columna de agua, lo que produce la inestabilidad del plancton (20).

Actualmente los estanques de camarones en su gran mayoría, se oxigenan introduciendo aire con dispositivos de aspas de paletas y/o aspiradores de hélice que se colocan principalmente a lo largo de los bordes del estanque. Estos equipos crean una circulación en todo el estanque que tiene el efecto de dirigir alimentos no consumidos, heces de camarones y detritus hacia el centro del estanque donde se acumula en el sedimento. Ese sedimento se convierte rápidamente en sustrato anaeróbico, lo que resulta en reducción de nitrato, hierro, sulfato y otros compuestos (21). Se ha podido determinar que compuestos como amonio, hierro ferroso y sulfuro de hidrógeno son liberados en la columna de agua (22). Los camarones son predominantemente epibénticos, y los bajos niveles de oxígeno y compuestos liberados por los procesos de descomposición en el sedimento, pueden dañar directamente la salud de los camarones. Se cree que la mala calidad del sedimento es una limitación severa a la producción semi-intensiva e intensiva de camarones (23).

Se ha sugerido que utilizar tilapia como especie secundaria en un cultivo de camarón, lo favorece de cuatro maneras: (a) promoción de *Chlorella* sp. como el alga dominante, (b) alimentación de desechos orgánicos, (c) bioturbación de sedimentos, y (d) producción de antimicrobianos naturales (22).

Estos beneficios se han logrado en los tres sistemas de co-cultivo conocidos (directo, en jaula y en co-cultivo integrado); otros autores resumen las ventajas en la disminución de los impactos ecológicos, las mejoras en el rendimiento y en la calidad del agua (24); de manera más específica y bajo determinadas condiciones, favorece la retención de nutrientes y disminuye de manera importante el nitrógeno que generan los cultivos acuícolas (1,28). La tilapia al cultivarla con camarones, juega un rol importante en la reducción de la biomasa de fitoplancton y promueve microalgas biorremediadoras (25). El nitrógeno es el nutriente más importante para las

microalgas (después del carbono) y se incorpora como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (30). El nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es utilizado por algas que también lo convierten esta especie de nitrógeno en formas útiles (por ejemplo, proteínas) ver tabla 1, cuando son consumidos por peces y camarón (26).

La tilapia en monocultivo puede producir una deposición significativa de materia orgánica excedente y una menor calidad del agua mientras que los camarones no utilizan el nivel superior de la columna de agua, lo que favorece la estabilidad del plancton (23). Las microalgas son susceptibles al pastoreo por algunos grupos zooplantónicos, tales como cladóceros, rotíferos o nemátodos, en sistemas abiertos (25). Estos pueden ser aprovechados por la tilapia. Por su parte los camarones pueden utilizar como alimento el detritus orgánico aportado por la vegetación herbácea de las marismas, siendo el fitoplancton o las algas bénticas en los estanques, los elementos que pueden ser fuentes de alimentación igual o más importantes (26).

Los efectos inhibidores directos de la tilapia de *V. harveyi* sobre camarón son dos: Uno es la producción de moco superficial y otros metabolitos, que podrían tener un efecto directo. La otra es la microflora asociada al cultivo de tilapia. El mismo efecto positivo de la tilapia en camarones con actividad antibacteriana específica contra *V. harveyi* ha sido reportado (27).

Las tilapias pueden filtrar el fitoplancton y los desechos orgánicos, lo que eventualmente puede afectar el estado fisiológico del camarón y también puede ser un contaminante potencial en ambientes que reciben efluentes de la granja (28).

Juárez-Rosales et al 2020 estudiaron la calidad del agua de las descargas de estanques de tilapia en policultivo con camarón blanco (*P. vannamei*). Ellos determinaron que la incorporación de tilapia a alta densidad puede mejorar la productividad y la utilización de nutrientes (29), observando una tendencia hacia una mayor concentración de nutrientes en el agua de los estanques de monocultivo de camarón durante la estación seca, así como una menor concentración de Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días ( $\text{DBO}_5$ ) (tabla 1).

En lo que respecta al amonio ( $\text{NH}_3^+$ ), se ha encontrado que su concentración, hacia las últimas semanas de cultivo en época de estiaje, se elevó hasta en  $0.306 \text{ mg l}^{-1}$  para policultivos



de camarón blanco con tilapia nilótica, mientras que para el caso de monocultivos fue de 0.293 mg l<sup>-1</sup>, manteniendo un promedio de 0.287±0.4 mg l<sup>-1</sup> y 0.227 ± 0.1 mg l<sup>-1</sup> respectivamente (29). Estas concentraciones difieren respecto al ciclo de lluvias, donde se observaron de 0.406 ± 0.2 mg l<sup>-1</sup> para monocultivo y de 0.376±0.1 mg l<sup>-1</sup> para policultivo (Tabla 1), que son evidentemente mayores e inversos, concluyendo que la tendencia a la disminución de los registros en los casos de policultivos fue marcada.

Cuando se compararon las concentraciones de amonio se observaron diferencias significativas para sistemas similares de monocultivo de camarones (8). Esto puede atribuirse a que los

niveles de amonio tienden a incrementar como resultado de la acumulación en los residuos, a medida que las tasas de alimentación se incrementan en el ciclo de cultivo (8). Boyd (30) menciona un rango óptimo de amonio para estanques de camarón de entre 0.2 y 2.0 mg l<sup>-1</sup>; en tanto que niveles de NH<sub>3</sub> >1.93 mg l<sup>-1</sup> pueden ocasionar problemas de toxicidad cuando el pH se encuentra por encima de 8.5. La concentración aceptable de amoniaco tóxico para peneidos como el camarón es de 2 mg l<sup>-1</sup> como máximo y se ha encontrado buen crecimiento de *L. vannamei* a 0.2 mg l<sup>-1</sup> (30). Las altas concentraciones de amonio afectan el crecimiento del camarón, la muda, el consumo de oxígeno y la excreción de amoniaco (31).

**Tabla 1.** Variables de calidad del agua de monocultivo de camarón y de policultivo de camarón y tilapia.

T °C	OD (mg l <sup>-1</sup> )	pH	Salinidad (g l <sup>-1</sup> )	AT (mg l <sup>-1</sup> )	NAT (mg l <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	NT (mg l <sup>-1</sup> )	PT (mg l <sup>-1</sup> )	SST (mg l <sup>-1</sup> )	Ref
30.9 ±3.07	6.47 ±1.12	ND	ND	155.4 ±21.1	ND	2.54 ±1.54	ND	ND	2.79 ±1.26	ND	(34)
28.5 ±0.2	7.7 ±0.12	7.8 ±0.1	5.0 ±0.5	ND	0.42 ±0.0	0.188 ±0.07	0.03 ±0.002	ND	ND	ND	(35)
29.2 ±3.8	5.4 ± 0.9	8.0 ±0.4	11.2 ±4.5	69.5 ±7.6	0.43 ±0.2	1.4 ±0.10	0.18 ±0.01	ND	0.29 ±1.0	66.1 ±7.0	(24)

T: Temperatura; OD: Oxígeno disuelto; AT: Alcalinidad total; NAT: Nitrógeno amoniacal total. NO<sub>2</sub>: Nitritos. NO<sub>3</sub>: Amonio. NT: Nitrógeno total. PT: Fósforo Total. BOD<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días, SST: Sólidos suspendidos totales. ND: No Disponible.

Respecto a los sedimentos, se ha podido determinar que la concentración de nutrientes principales y nutrientes menores en el sedimento de los estanques de monocultivo de camarones y el policultivo de tilapia-camarones aumenta durante el ciclo de producción. Mientras que su textura se modifica (29), considerando como nutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio), los nutrientes menores (calcio, magnesio y sodio) y la textura (arena, limo y arcilla) del sedimento. La concentración de materia orgánica encontrada en el sedimento de estanques de policultivo, se ha registrado dentro de lo reportado para los estanques de camarones en monocultivo en agua salobre (29). Mayores cantidades de materia orgánica se reportaron presentes en el sedimento de policultivo de camarón-tilapia, debido a la mayor contribución de los alimentos y la mayor densidad de organismos, en relación con los monocultivos. La acumulación de materia orgánica está integrada principalmente por contribuciones exógenas, como: suelo erosionado, alimentos no consumidos, heces, plancton y microorganismos muertos (29).

Sin embargo, se ha podido determinar que la tilapia, por el proceso de bioturbación que realiza del sedimento, disminuye la concentración de nitrógeno y fósforo, además de que aumenta la concentración de oxígeno en el sedimento (32). Otros autores al estudiar los policultivos de camarón-tilapia durante dos estaciones del año, concluyeron que el sedimento de los estanques de monocultivo de camarones, absorben una gran cantidad de Fosforo Total (PT) en la época de lluvias, en comparación con el Nitrógeno Total (NT) contrariamente a lo que ocurre en el caso de los policultivos con tilapia (31); esto coincide con lo que se ha encontrado para esos mismos elementos en los sedimentos de estanques con camarones (33).

### Aspectos técnicos del policultivo camarón-tilapia

El policultivo se basa en el principio de que cada especie colocada en el sistema de cultivo tiene su propio nicho ecológico y trófico, por lo tanto,

se hace un uso más completo de los recursos alimenticios y el espacio disponible que en un monocultivo. En algunos casos, una especie mejora la disponibilidad de alimentos para otras especies; es decir, la tilapia puede ayudar a aumentar la producción y mejorar el factor de conversión alimenticia (FCR) de los camarones (35). Existen muchos nutrientes en el sistema que provienen de alimentos no asimilados por los peces, lo que indica que es posible que los camarones podrían tomarlos y usarlos como un complemento alimenticio en su dieta y aumentar el rendimiento total por unidad de área (36). Los policultivos de camarón-tilapia no solo favorecen el rendimiento y sobrevivencia de la especie principal, la producción de tilapia es un beneficio secundario (34).

Dado que el alimento representa más del 60% de los costos de producción para la mayoría de las especies, los costos más bajos son importantes para aumentar la eficiencia y la rentabilidad (20); es por lo que el costo de producción para el sistema de policultivo es menor en comparación con un sistema de monocultivo, lo que permite ahorro en costos. Investigaciones realizadas en el policultivo, han revelado que en esos sistemas la floración de plancton y el pH son más estables. Esto puede atribuirse a la bioturbación lo que

facilita la lenta, pero continua, liberación de nutrientes en el agua.

Destaca que la mayoría de los estudios sobre la interacción tilapia-camarones se han estudiado en sistemas controlados. Se encontró que la producción total de peces y camarones es mayor en el policultivo que en el monocultivo (35); sin embargo, en los estanques de tierra de monocultivo, consumen una alimentación más equilibrada y tienen un rango de conversión alimenticia (FCR) más alta. En general, se ha encontrado que el FCR general es más alto en sistemas de agua clara que en estanques de tierra en monocultivo y policultivo (36).

En estudios se ha encontrado que es menor la diferencias en la sobrevivencia de la tilapia en monocultivo (84-87.6%) y policultivo (91.2-100%) en estanques de tierra (24). Los estanques de tierra naturales con aguas de alta calidad y baja salinidad permiten la sostenibilidad de una mayor densidad de población de tilapia (4 org/m<sup>2</sup>) que los sistemas (Tabla 2) o estanques que carecen de sustrato (1.2 org/m<sup>2</sup>) en el fondo (tanques de fibra de vidrio o cemento) (tabla 2) (24). En términos generales el policultivo tilapia-camarón tiene mayores ventajas técnicas en cultivos extensivos y semi-intensivos a nivel comercial.

**Tabla 2.** Rendimiento de crecimiento de camarones en co-cultivo con tilapia, a diferentes densidades y en diferentes sistemas (promedio ± SD).

EP	DC	DT	Peso final (g/ind.)	Rendimiento (ton/ha)	Sobrevivencia (%)	FCR	SGR (g/día)	Sistema de cultivo	Ref
Camarón-tilapia (P.ch.-O.m.)	7.5		10.4 ±0.1	0.337 ±00.0	65.5 ±21.70			Tanques- cerrado; sistema intensivo	(37)
Camarón-tilapia (P.v.-O.n.)	20	4	9.7 ±0.1		100	1.73 ±0.01	0.240 ±0.01	Tanques-sistema secuencial	(36)
Camarón-tilapia (P.v.-O.n.)	3	0.5	14.01 ±0.5	222.64 ±34.7	34.41 ±4.9	2.27 ±0.04		Estanques tierra; abierto	(38)
Camarón-tilapia (P.m.-O.m.)	40	3	13.35 ±0.4		84.7 ±2.3	1.27 ±0.04	0.213 ±0.01	Tanques-cerrado	(39)
Camarón-tilapia (P.v.-O.n.)	10	4	14.3 ±0.2	1.0 ±7.1	75.2 ±4.6	2.36 ±0.10	3.2 ±0.54	Estanques tierra; abierto	(24)

EP: Especies en Policultivo; DC: Densidad (camarón/m<sup>2</sup>); DT: Densidad (tilapia/m<sup>2</sup>); P.m.: *Penaeus monodom.* O. m.: *Oreochromis mossambicus.* P. ch.: *Penaeus chinensis.* O. n.: *Oreochromis niloticus.* P.v., *Penaeus vannamei.*

### Aspectos Ambientales del policultivo camarón tilapia

En lo que corresponde a las investigaciones de policultivos camarón-tilapia respecto a sus efectos hacia el medio ambiente, se ha concluido en términos generales, que su empleo bajo

determinadas condiciones, favorece la retención de nutrientes y disminuye de manera importante el nitrógeno que generan los cultivos acuícolas (24).

Se ha documentado que este tipo de sistema de cultivo, contribuye al control del crecimiento del fitoplancton y a la reducción de la prevalencia de

algunas bacterias, lo que se traduce en mejora de los índices de sobrevivencia (39). A pesar de lo anterior, se tienen informes de que la estrategia camarón-tilapia llega a duplicar la descarga de amonio en policultivos camarón-tilapia (27).

Desde el punto de vista económico, el policultivo puede requerir una gran inversión inicial, en términos de infraestructura, aireación, alimentación y esfuerzo. Sin embargo, esta inversión depende del tipo, la intensificación y el diseño del sistema.

En cuestión de riesgos agregar una especie secundaria sugiere la posibilidad de introducir patógenos en el sistema de cultivo (34). Por lo que corresponde a la alimentación, hay algunos problemas involucrados en la integración de la tilapia con camarones, ya que puede alimentarse de los suministros ricos en proteínas que se proporcionan al camarón, además de que la tilapia puede suprimir el zooplancton (32), que a su vez puede causar una disminución de las tasas de producción primaria en estanques y, posteriormente, afectan el crecimiento de los camarones (32).

Se ha encontrado que la estrategia camarón-tilapia llega a duplicar la descarga de  $\text{NH}_4^+$  en cultivos mixtos camarón-tilapia (27). En la acuicultura, la toxicidad de los compuestos del nitrógeno excretado, es el parámetro más limitante, una vez que los niveles de oxígeno son mantenidos adecuadamente (40). La mayor fuente de compuestos del nitrógeno en sistemas de cultivo proviene del metabolismo de las proteínas contenidas en el alimento (40). Por otro lado, el amonio es el principal producto de desecho del catabolismo de las proteínas de peces y camarones (31). Por esto, los problemas de toxicidad pueden ocurrir en todos los tipos de sistemas de cultivo. De lo que se tiene certeza es de que los efluentes de granjas acuícolas con policultivos camarón-tilapia, producen afectaciones de manera sinérgica: en la calidad del agua, en las condiciones naturales de la hidrología de los sistemas lagunar-estuarinos donde se establecen, con la pérdida de cobertura vegetal por el cambio de uso de suelo y la pérdida de biodiversidad.

Entre las estrategias de mitigación para los impactos de los efluentes de las granjas camaroneras, se encuentran el uso de manglares y el empleo de halófitos como biofiltros (41);

la utilización de estanques de sedimentación para reducir los sólidos suspendidos (29), la eliminación o disminución de los recambios de agua a lo largo del período de cultivo (28), el uso de humedales (28) y la remoción biológica de la materia orgánica e inorgánica presente, mediante la utilización de organismos filtradores (42); otras alternativas para la remoción de nutrientes son el empleo de microalgas y macroalgas (42), la implementación de tratamientos combinados de moluscos, macroalgas y sedimentación (29) y el policultivo (29). Sin embargo, por cuestiones de operación y costos se ha encontrado que los sistemas de remediación tienen más aplicación en las granjas comerciales.

En conclusión, los policultivos camarón-tilapia pueden contribuir con un efecto positivo sobre la calidad del agua y sedimentos de los estanques y efluentes de las granjas de cultivo, y que esto depende de las condiciones de densidad y ambiente donde se desarrollan.

Al interior de los estanques de cultivo la reducción de su concentración, junto con el fósforo al incorporar tilapia como la especie secundaria de un policultivo mejora la conversión de alimento, incrementa el crecimiento del camarón y por consecuencia la biomasa. Esto se puede dar a partir del mejoramiento de la disponibilidad de alimento vivo de mejor calidad y la metabolización a partir de la bioturbación que provoca la tilapia en el fondo de los estanques.

Por último, es necesario comprender más a detalle, el rol que juega dentro del proceso, el protocolo de cultivo que se utiliza, respecto a las cantidades y calidad del alimento que se suministra; el tiempo de retención del agua en los estanques y su recambio de agua; el tipo de aireación, su eficiencia y periodicidad, entre otros.

### **Conflicto de intereses**

Los autores del presente trabajo declaramos que no existe conflicto de intereses.

### **Agradecimientos**

Juárez-Rosales Jorge agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de doctorado 626505 recibida durante esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Deepak AP, Vasava RJ, Elchelwar VR, Tandel DH, Vadher KH, Shrivastava V, et al. Aquamimicry: New an innovative approach for sustainable development of aquaculture. *J Entomol Zool Stud.* 2020; 8(2):1029-1031. <https://www.entomoljournal.com/archives/2020/vol8issue2/PartQ/8-2-3-251.pdf>
2. Espinosa-Plascencia A, Bermúdez-Almada MC. La acuicultura y su impacto al medio ambiente. *Estud Soc.* 2012; 2:221-232. [https://www.ciad.mx/archivos/revista-dr/RES\\_ESP2/RES\\_Especial\\_2\\_10\\_Bermudez.pdf](https://www.ciad.mx/archivos/revista-dr/RES_ESP2/RES_Especial_2_10_Bermudez.pdf)
3. Hargan KE, Williams B, Nuangsaeng B, Siriwong S, Tassawad P, Chaiharnet C, et al. Understanding the fate of shrimp aquaculture effluent in a mangrove ecosystem: Aiding management for coastal conservation. *J Appl Ecol.* 2020; 57:754–765. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13579>
4. Cardoso-Mohedano JG, Bernardello R, Sánchez-Cabeza JA, Páez-Osuna F, Ruiz-Fernández AC, Molino-Minero-Re E, et al. Reducing nutrient impacts from shrimp effluents in a subtropical coastal lagoon. *Sci Total Environ.* 2016; 571:388-97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716313146>
5. Mawi S, Krishnan S, Din MFMD, Arumugam N, Chelliapan S. Bioremediation potential of macroalgae *Gracilaria edulis* and *Gracilaria changii* co-cultured with shrimp wastewater in an outdoor water recirculation system. *Environ Technol Inno.* 2020; 17:100571. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100571>
6. Hoang MN, Nguyen PN, Bossier MVEM, Bossier P. The effects of two fish species mullet, *Mugil cephalus*, and tilapia, *Oreochromis niloticus*, in polyculture with white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, on system performances: A comparative study. *Aquac Res.* 2020; 51:2603–2612. <https://doi.org/10.1111/are.14602>
7. Radulovich R, Fuentes-Quesada JP. Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) artisanal production in floating cages at sea and polyculture with oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture.* 2019; 512:734354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734354>
8. López-Gómez C, Ponce-Palafox JT, Castillo-Vargasmachuca S, Puga-López D, Castillo-Campo LF, García-Ulloa M. Evaluation of two mix-cultures of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with red tilapia hybrid and spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) in intensive indoor brackish water tanks. *Lat Am J Aquat Res.* 2017; 45(5):922-929. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue5-fulltext-7>
9. Buck BH, Troell MF, Krause G, Angel DL, Grote B, Chopin T. State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic. *Aquaculture (IMTA).* *Front Mar Sci.* 2018; 5:165. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00165>
10. Yi Y, Fitzsimmons K. Tilapia-shrimp polyculture in Thailand. In: Bolivar R, Mair G, Fitzsimmons K. (eds.). *New dimensions in farmed tilapia. Proceedings of ISTA 6. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources: Manila; 2004.* <https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/777.pdf>
11. Begum N, Islam M, Haque A, Suravi I. Growth and yield of monosex tilapia *Oreochromis niloticus* in floating cages fed commercial diet supplemented with probiotics in freshwater pond, Sylhet. *Bangladesh J Zool.* 2017; 45(1):27-36. <https://doi.org/10.3329/bjz.v45i1.34191H>
12. Chakravartty D, Mondal A, Sundaray JK, Bhattacharyya SB, Mitra A. quality of extensive brackish water polyculture farm effluents at different production levels and its impact on the receiving environment. *Int J Inn Stud Aquat Biol.* 2017; 3(2):5-14 <http://dx.doi.org/10.20431/2454-7670.0302002>
13. Nayak PK, Nayak AK, Panda BB, Lal B, Gautam P., Poonam M, et al. Ecological mechanism and diversity in rice based integrated farming system, *Ecol Indic.* 2018; 91:359-375. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.025>
14. Islam MR, Tabeta S. Shrimp vs prawn-rice farming in Bangladesh: A comparative impacts study on local environments and livelihoods, *Ocean Coast Manag.* 2019; 168:167-176. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.11.004>



15. Perschbacher PW, Stickney RR. Tilapia in Intensive Co-culture. by John Wiley & Sons Ltd; 2017. <https://doi.org/10.1002/9781118970652>
16. Zeng S, Wei D, Hou D, Wang H, Liu J, Weng S, et al. Sediment microbiota in polyculture of shrimp and fish pattern is distinctive from those in monoculture intensive shrimp or fish ponds. *Sci Total Environ.* 2021; 787:147594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147594>
17. Gutiérrez J, Ponce-Palafox JT, Pineda-Jaimes NB, Arenas-Fuentes V, Arredondo-Figueroa JL, et al. Comparison of the mangrove soil with different levels of disturbance in tropical Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. *Appl Ecol Environ Res.* 2016; 14(4):45-57. [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1404\\_045057](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1404_045057)
18. Li J, Liu G, Li C, Deng Y, Tadda MA, Lan L, et al. Effects of different solid carbon sources on water quality, biofloc quality and gut microbiota of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae. *Aquaculture.* 2018; 495:919-931. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.078>
19. Hernández-Barraza CA. Evaluación del crecimiento de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en policultivo con tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) bajo un sistema de recirculación de agua. *Ciencia UAT.* 2011; 5(3):41-45. <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/91>
20. Wang M, Lu M. Tilapia polyculture: a global review. *Aquac Res.* 2016; 47(8):2363-2374. <https://doi.org/10.1111/are.12708>
21. Aghuzbeni SHH, Hajirezaee S, Matinfar A, Khara H, Ghobadi MA. 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. *J Appl Anim Res.* 2017; 45:247-251, <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1150845>
22. Abdel-Raouf N, Al-Homaidan AA, Ibraheem IBM. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi J Biol Scis.* 2012; 19:257-275. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>
23. Park JR, Craggs RJ, Shilton AN. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresour Technol.* 2011; 102:35-42. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.158>
24. Juárez-Rosales J, Ponce-Palafox JT, Román-Gutiérrez A, Otazo-Sánchez EM, Pulido-Flores G, Castillo-Vargasmachuca SG. Effects of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus* var. Spring) in monoculture and co-culture systems on water quality parameters and production in brackish low-salinity water earthen ponds during rainy and dry seasons. *Span J Agric Res.* 2019; 17(3):e0605. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019173-14938>
25. Ferreira JG, Falconer L, Kittiwanch J, Ross L, Saurel C, Wellman K, et al. Analysis of production and environmental effects of Nile tilapia and white shrimp culture in Thailand. *Aquaculture.* 2015; (447):23-36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848614004463>
26. Luo Z, Huang W, Zheng C, Li J, Yun L, Sun H, et al. Identification of a microalgae-yeast coculture system for nutrient removal in shrimp culture wastewater. *J Appl Phycol.* 2021; 33:879-890. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02379-2>
27. Tendencia EA, de la Peña MR, Fermin AC, Lio-Po G, Choresca CH Jr. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*. *Aquaculture.* 2004; 232:145-152. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00531-3](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00531-3)
28. Paez-Osuna F, Guerrero-Galvan SR, Ruiz-Fernandez AC. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Mar Pollut Bull.* 1999; 38:585-592. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00116-7)
29. Juárez-Rosales J, Román-Gutiérrez A, Otazo-Sánchez E, Pulido-Flores G, Esparza-Leal H, Aragón-Noriega E, et al. The effect of tilapia *Oreochromis niloticus* addition on the sediment of brackish low-salinity ponds to white shrimp *Penaeus vannamei* farming system during the wet and dry season. *Lat Am J Aquat Res.* 2020; 48(1):7-14. <https://doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2365>

30. Boyd CE. Inland shrimp farming and the environment. *World Aquac.* 2001; 32(1):10-12. <https://www.globalseafood.org/advocate/inland-shrimp-farming-and-the-environment/>
31. Ponce-Palafox JT, Esparza-Leal H, Arredondo-Figueroa JL, Martínez-Palacios CA, Ross LG. The effect of protein and lipid level on the specific dynamic action and post-prandial nitrogen excretion in subadult of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Rev Biol Mar Oceanogr.* 2017; 52(1):131-141. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000100011>
32. Adámek Z, Maršálek B. Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems: a review. *Aquac Int.* 2013; 21:1-17. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9527-3>
33. Webb JM, Quinta R, Papadimitriou S, Norman L, Rigby M, et al. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture. *Water Res.* 2012; 46:512-514. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412004484>
34. Alam MJ, Islam ML, Tuong TP. Introducing tilapia (GIFT) with shrimp (*Penaeus monodon*) in brackishwater rice-shrimp system: impact on water quality and production. *Bangladesh J Fish Res.* 2008; 12(2):187-195. <https://pdfs.semanticscholar.org/7860/784b4d3fdbcc7949f7cfc336c86c0796d04b.pdf>
35. Hernández-Barraza CA. Evaluación del crecimiento de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en policultivo con tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) bajo un sistema de recirculación de agua. *Ciencia UAT.* 2011; 5(3):41-45. <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/91>
36. Hernandez-Barraza C, Cantu DL, Osti JL, Fitzsimmons K, Nelson S. Productivity of polycultured Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in a recirculating system. *Bamidgeh*; 2013.
37. Wang JQ, Li D, Dong S, Wang K, Tian X. Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds. *Aquaculture.* 1998; 163(1-2):11-27. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00165-3)
38. Alam MJ, Islam ML, Tuong TP. Introducing tilapia (GIFT) with shrimp (*Penaeus monodon*) in brackishwater rice-shrimp system: impact on water quality and production. *Bangladesh J Fish Res.* 2008; 12(2):187-195. [https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/34227/BJFR12.2\\_187.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/34227/BJFR12.2_187.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
39. Muangkeow B, Ikejima K, Powtongsook S, Yi Y. 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.* 2007; 269:363-376. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848607002980>
40. Aghuzbeni S. H. H., Hajirezaee S., Matinfar A., Khara H. and Ghobadi M. 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. *J Appl Anim Res.* 2017; 45:247-251. <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1150845>
41. Shpigel M, Ben-Ezra D, Shauli L, Sagi M, Ventura Y, et al. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquaculture.* 2013; 412-413:52-63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848613003128>
42. Martínez-Porchas M, Martínez-Cordova LR, Porchas-Cornejo M, López-Eliás JA. Shrimp polyculture: a potentially, profitable, sustainable but yet uncommon aquacultural practice. *Rev Aquacult.* 2010; 2(2):73-85. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01023.x>