



Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola

**Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez,
Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe
Nieto López, David A. Villarreal Cavazos,
Julián Gamboa Delgado, y Carlos A.
Martínez Palacios**

Investigación e Innovación en Nutrición Acuícola

2022, Monterrey, Nuevo León, México

Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios.

Programa Maricultura
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León 2022

Copias disponibles en:
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ciencias Biológicas
Programa Maricultura
Cd. Universitaria
San Nicolás de los Garza, Nuevo León
C.P. 66455
Tel.+Fax. 818352 6380
E-mail: lucia.cruzsr@uanl.edu.mx

Para citar alguna parte de ésta obra siga el siguiente estilo:

- Autores del escrito. 2022. Nombre del artículo. Editores: Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado y Carlos A. Martínez Palacios. Investigación e innovación en nutrición acuícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp.473 ISBN: 978-607-27-1732-9. El cuidado de la presente edición, así como su realización estuvo a cargo de los editores.

La reproducción total o parcial de ésta obra requiere la autorización escrita por los titulares del derecho de autor.

Los editores hacemos extensivo nuestro profundo agradecimiento:

- A las personas que colaboraron en la edición técnica de estas memorias

Directorio

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario. General

Dr. Celso José Garza Acuña
Secretario extensión y cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Editorial Universitaria

Dr. José Ignacio González Rojas
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

Editores

Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha Guadalupe Nieto López, David Alonso Villarreal Cavazos, Julián Gamboa Delgado, y Carlos A. Martínez Palacios.

Dirección de edición: Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Dra. Lucía Elizabeth Cruz Suárez, Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455
Email: elicruz@hotmail.com, lucia.cruzsr@uanl.edu.mx
Teléfonos: 52 8183526380

Primera edición 2022. ©Universidad Autónoma de Nuevo León. ©L. Elizabeth Cruz Suárez, ©Mireya Tapia Salazar, ©Martha Guadalupe Nieto López, ©David Alonso Villarreal Cavazos, ©Julián Gamboa Delgado, ©Carlos A. Martínez Palacios.

ISBN:978-607-27-1732-9. El cuidado y edición estuvo a cargo de los editores. El contenido es responsabilidad de los autores.

Párrafo legal: Reservado todos los derechos conforme a la ley. Prohibida la reproducción total o parcial de la obra sin previa autorización por escrito del titular propietario y editor de la obra.

Alternativas de Acuicultura Sostenible: Aspectos Nutricionales

Luis Rafael Martínez Córdova¹; Marcel Martínez Porchas^{2*}; Glen Ricardo Robles Porchas² y Estefanía Garibay Valdez².

¹DICTUS, Universidad de Sonora. Luis Donaldo Colosio s/n, entre Reforma y Sahuaripa, Edificio 7G. c.p 83000, Hermosillo, Sonora.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, c.p. 83304, Hermosillo, Sonora.

*Autor de correspondencia: marcel@ciad.mx

Resumen

En el presente documento se presentan algunas de las alternativas de acuicultura sostenible que se han probado o se están probando exitosamente en el mundo, destacando especialmente los aspectos nutricionales. Los datos presentados provienen tanto de una exhaustiva revisión bibliográfica como de las experiencias de nuestro cuerpo académico Biotecnología y Sustentabilidad Acuícolas. Se destaca primordialmente el aprovechamiento de fuentes no convencionales de alimentación, sobre todo, de microorganismos fotoautótrofos y heterótrofos. Se aborda, de manera particular, la incorporación de microorganismos inmovilizados, tanto producidos exógenamente como producidos *ex situ* e incorporados directamente al sistema o en el alimento; además, se aborda el uso de microalgas inmovilizadas en el sistema de cultivo o incorporadas al alimento y, finalmente, un novedoso sistema llamado FLOCPONICS.

Las evidencias indican que los aspectos nutricionales se encuentran entre los factores que mayormente contribuyen a la sustentabilidad de la actividad acuícola. Los microorganismos de diverso origen y proporcionados de maneras diversas, contribuyen a la nutrición de organismos acuícolas y al mejoramiento del sistema de cultivo.

Palabras clave: *Acuicultura sostenible; Producción integrada; Microorganismos en acuicultura*

Introducción

La importancia y contribución de la acuicultura a nivel mundial en el suministro de alimentos saludables y accesibles, creación de empleos dignos, generación de divisas y empresas exitosas, está suficientemente documentada (Strankus, *et al.*, 2021), contribuyendo de manera significativa al desarrollo regional en diversos países del mundo, incluyendo México.

A pesar de estas evidentes ventajas, la actividad es continuamente criticada por provocar diversos impactos negativos tales como: deterioro ambiental, competencia por agua y tierras con otros sectores, diseminación de patógenos, entre otros (Martínez-Córdova *et al.*, 2009).

Ante este panorama, es importante que la producción de alimentos, no solamente de la acuicultura sino de cualquier actividad productiva, se haga de manera sostenible. Para ello es necesario que la investigación, la legislación y las políticas de gobierno tomen en cuenta: a los organismos, al ambiente y a la sociedad.

¿Acuicultura Sostenible?

Se ha cuestionado constantemente si la acuicultura puede ser una actividad sostenible. De acuerdo con las experiencias de diversos investigadores y productores, incluyendo las de nuestro grupo de trabajo, la respuesta es **SÍ**. Para ello, es necesario abordar y superar adecuadamente varios aspectos incluyendo suficiente investigación en los aspectos involucrados para que sean la base de la legislación y las políticas de manejo (Boyd *et al.*, 2020). Es fundamental que la actividad se desarrolle con un sentido más holístico, considerando el aspecto ecológico (que sea ambientalmente amigable), el económico (que sea económicamente rentable) y el social (que contribuya al desarrollo regional).

Algunos asuntos particulares que se deben superar son los siguientes:

- Uso eficiente del agua

- Aprovechamiento eficiente de los nutrientes (insumos, alimentos)

- Uso adecuado de los servicios ecosistémicos

- Disminución de efluentes y contaminantes

- Medidas de bioseguridad (especialmente para manejo de enfermedades)

- Mejoramiento de la productividad

El problema de abasto de agua y la competencia de la acuicultura con otros usuarios del recurso, es un asunto muy grave en algunas regiones, sobre todo, áridas y semiáridas. Es

entonces prioritario efficientizar su uso con acciones tales como la reducción o eliminación del recambio, re-uso de los efluentes para el mismo cultivo o cultivo de otros organismos animales o vegetales (hidroponia y sistemas integrados).

La acuicultura en sistemas de bajo o cero recambio, ha sido ampliamente probada para varias especies de crustáceos y peces (Amhed and Turchini, 2021). Es más factible en cuerpos de agua dulce o de baja salinidad (de Jesus Gregersen, *et al.*, 2021) y menos eficiente en agua salada o hipersalina, en donde la salinidad puede elevarse a niveles inadecuados y peligrosos. En este tipo de sistemas es muy importante tener alternativas para mantener los niveles de oxígeno en los rangos adecuados. Se ha demostrado que con este tipo de cultivos se puede optimizar el uso de nutrientes al permanecer durante más tiempo dentro del sistema, lo que, a su vez, puede disminuir el factor de conversión alimenticia (FCA).

En el mismo contexto, los sistemas de recirculación efficientizan el uso de agua y minimizan descargas, optimizan el uso de nutrientes, disminuyen costos relacionados sobre todo con el bombeo y pueden mejorar la productividad y rentabilidad del sistema.

Existen casos exitosos de este tipo de sistemas; por ejemplo, un estudio llevado a cabo por Yogev *et al* (2017), que consistió en un sistema de recirculación para cultivo de peces integrado a un filtro de sólidos, biopelícula nitrificadora, lodos activados y biorreactor anaeróbico. Se logró una reducción de carbono y nitrógeno orgánico en la columna de agua, la obtención de biogas y se mejoró el FCA. Alrededor de 50% de carbón proveniente del alimento fue recuperado por los peces para crecimiento y respiración; y otro 10% por biodegradación aeróbica en el reactor de nitrificación.

Hay diversas estrategias para lograr el uso eficiente de nutrientes en acuicultura y contribuir con ello a la sostenibilidad de la actividad. Entre ellas, las ya mencionadas de uso de bajo recambio y recirculación; adicionalmente, el uso de alimentos con formulaciones y digestibilidad adecuadas que tomen en cuenta: la especie, estadio de desarrollo (Baruah *et al.*, 2017), condiciones del cultivo, empleo de estrategias eficientes de alimentación, aprovechamiento de alimento natural, policultivos y sistemas Integrados (Martínez-Córdova & Martínez-Porchas, 2010).

Específicamente enfocándonos en el aprovechamiento del alimento natural, hemos documentado en presentaciones anteriores los beneficios de esta estrategia. Está más que probado que la productividad natural contribuye con un alto porcentaje a la nutrición de

diversos organismos acuícolas, sobre todo en sistemas menos intensificados. Se ha visto que, en este tipo de sistemas, aunque no es del todo fácil, resulta factible incentivar y manejar comunidades de fitoplancton, zooplancton y bentos (Martinez-Córdova *et al.*, 2002). Sin embargo, en sistemas más intensificados, la dificultad se incrementa y resulta mucho más factible el manejo de microorganismos, ya sea foto-autotróficos y/o heterotróficos.

El beneficio de los microorganismos adecuadamente utilizados ha sido demostrado en una gran cantidad de estudios y en diversas especies, sobre todo de peces y crustáceos. Estos beneficios se reflejan en aspectos tales como: respuesta productiva, mejoramiento o al menos mantenimiento de la calidad del agua, mejoramiento de la condición fisiológica y estado inmune y mejoramiento de la actividad digestiva y calidad postcosecha (Deng *et al.*, 2021).

Hay varias maneras en que los microorganismos pueden ser utilizados en la acuicultura, por ejemplo: producidos o incorporados directamente en la columna de agua (sobre todo para el mejoramiento de la calidad del agua), incentivados e inmovilizados dentro del sistema de cultivo (*in situ*), producidos externamente e incorporados al sistema (*ex situ*); producidos, cosechados e incorporados en los alimentos acuícolas.

Para la producción de consorcios microbianos *in situ* (bioflocs y biopelículas) se proporcionan las condiciones dentro del sistema para promover organismos benéficos, incluyendo el mantenimiento de las variables ambientales dentro de rangos adecuados; se maneja la proporción de nutrientes, sobre todo C:N en las tasas adecuadas para promover efectivamente el tipo de organismos que se desean; se pueden o no utilizar sustratos flotantes o fijos (Schveitzer *et al.*, 2013).

Los organismos cultivados consumen la biomasa microbiana. Algunos son capaces de consumir eficientemente los microorganismos libres en la columna de agua; sin embargo, la mayoría solo puede hacerlo cuando están inmovilizados en superficies fijas (biopelículas) o en sustratos flotantes (bioflóculos).

Están documentados múltiples casos de éxito con el uso de la tecnología BFT (Emerenciano *et al.*, 2017). Un ejemplo es la remoción de compuestos nitrogenados en la columna de agua, como se muestra a continuación con datos provenientes de un estudio realizado en nuestro grupo en donde se promovieron consorcios foto-autotróficos y heterotróficos (Ortiz-Estrada *et al.*, 2021) (Figura 1).

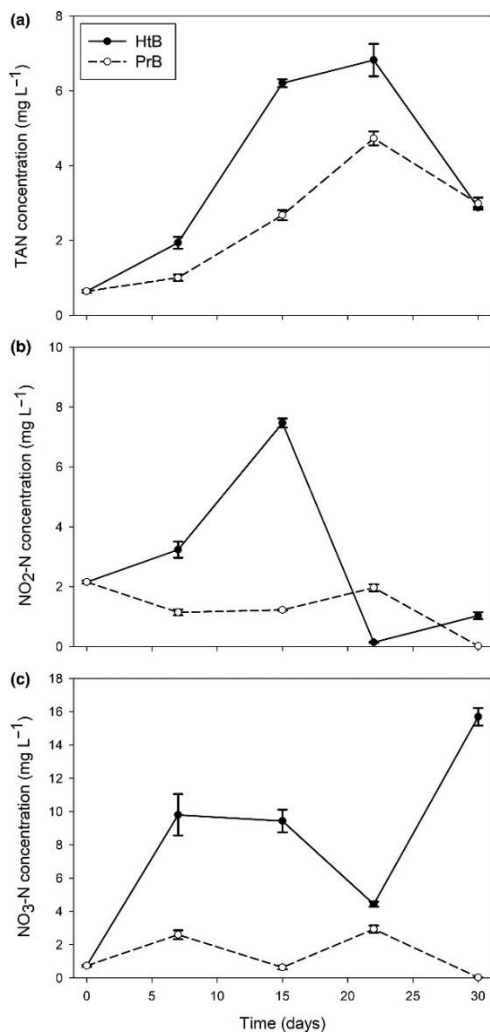


Figura 1. Nitrógeno inorgánico disuelto como (a) TAN (nitrógeno amoniacal total), (b) nitrito (NO₂-N), (c) nitrato (NO₃-N) medido durante una prueba de 30 días. HtB (heterotrófico) y PrB (probiótico) fueron los biofilms evaluados. Los valores son medias \pm desviación estándar de muestras de agua por triplicado de ambas biopelículas evaluadas.

En el otro estudio también se detectó un efecto positivo en la respuesta productiva (especialmente el FCA) de juveniles de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Becerra-Dorame *et al.*, 2012) (Tabla 1).

Tabla 1. Respuesta productiva de *L. vannamei* con la adición de consorcios microbianos autotróficos (AS), heterotróficos (HS) y control

| | Supervivencia (%) | Ganancia de peso (g) | Biomasa total (g m ⁻³) | FCA | SGR% semanal ⁻¹ |
|----|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| C | 39.6 ± 2.87 ^b | 1.58 ± 0.31 ^a | 417.6 ± 16.5 ^b | 0.61 ± 0.04 ^a | 51.8 ± 7.7 ^a |
| AS | 68.0 ± 3.42 ^a | 0.87 ± 0.31 ^b | 475.3 ± 22.9 ^a | 0.54 ± 0.03 ^b | 45.0 ± 6.6 ^a |
| HS | 68.4 ± 2.31 ^a | 1.02 ± 0.35 ^b | 449.4 ± 18.8 ^a | 0.55 ± 0.04 ^b | 46.9 ± 8.4 ^a |

Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05).

Resultados similares hemos obtenido con el uso de biopelículas. En un reciente estudio (en proceso de publicación), se evaluó la respuesta productiva de *L. vannamei* cultivado en presencia de tres tipos de biopelículas: una formada a partir de un consorcio microbiano inespecífico de origen marino (BMC), una segunda formada a partir de diatomea la *Navicula incerta* (BFA) y una tercera que se elaboró a partir de un probiótico comercial (BPC). Los resultados mostraron que los parámetros productivos en todos los tratamientos fueron superiores a los obtenidos en el control sin biopelículas (Tabla 2).

Tabla 2. Respuesta productiva de camarones alimentados con consorcios microbianos de diferente origen. BMC (consorcio microbiano marino); BFA (Microalgas) y BPC (probiótico comercial).

| Parámetros | Control | BMC | BFA | BPC |
|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| Peso inicial (g) | 6.1 ± 0.3 | 6.3 ± 0.1 | 6.1 ± 0.2 | 5.34 ± 0.7 |
| Peso final (g) | 9.4 ± 0.8 | 11.9 ± 0.6 | 10.6 ± 1 | 9.4 ± 1.0 |
| Peso ganado (g) | 3.3 ± 0.5 | 5.6 ± 0.5 | 4.4 ± 0.9 | 4.0 ± 0.8 |
| Peso ganado (%) | 54.4 ± 6.4 | 88.6 ± 7.9 | 72.8 ± 13.8 | 75.4 ± 20.2 |
| Biomasa (g) | 8.7 ± 5.8 | 58.3 ± 8.0 | 60.2 ± 15.3 | 58.0 ± 14.8 |
| Supervivencia (%) | 68.7 ± 17.3 | 77.5 ± 2.5 | 85.8 ± 14.4 | 87.9 ± 10.4 |

Adicionalmente, se evaluaron los efectos de estos consorcios en la expresión de genes en camarón, relacionados a la actividad digestiva y condición inmune y se encontró un efecto

significativo en la expresión de tripsina, quimotripsina, catalasa y profenol oxidasa (Figura 2).

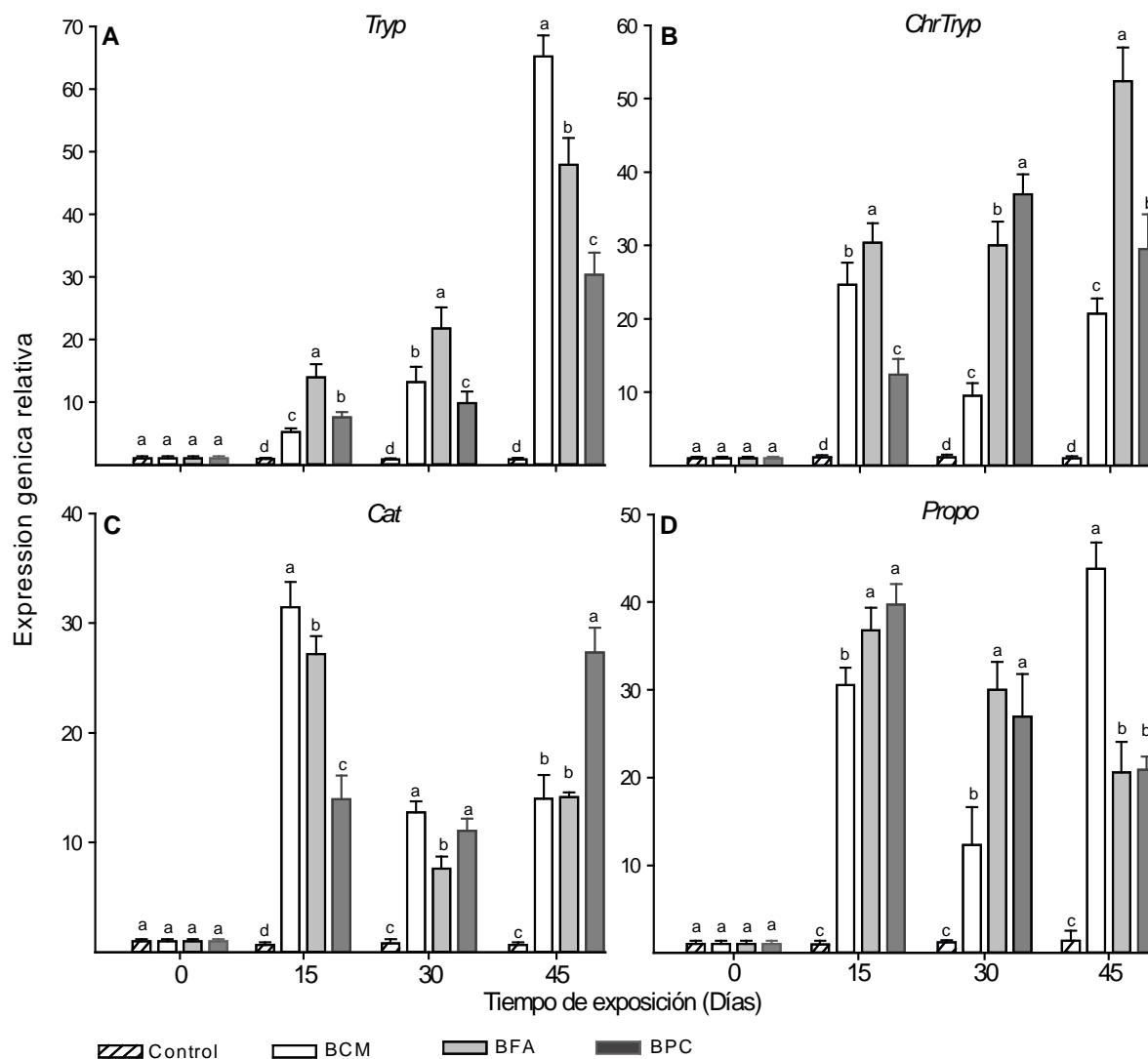


Figura 2. Expresión relativa de tripsina, quimotripsina, catalasa y profenol oxidasa en camarones alimentados con consorcios microbianos de diferente origen. BMC (consorcio microbiano marino); BFA (Microalgas) y BPC (probiótico comercial).

En concordancia con nuestros resultados, Ekasari *et al.* (2013), reportaron un efecto positivo de los consorcios microbianos en la condición inmune de camarones cuya alimentación se complementó con bioflocs producidos con diferentes fuentes de carbón. En este estudio se comparó la cuenta de hemocitos totales (THC) y los niveles de fenoloxidasa (PO) y estallido

respiratorio (RB), antes y después de un reto con *Vibrio parahaemolyticus*, encontrando que los valores de los tres parámetros cambiaron significativamente en diferentes proporciones relacionadas con la fuente de carbono (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de condición inmune de *L. vannamei* en BFT utilizando diferentes fuentes de carbón, antes y después de retarlos con *Vibrio parahaemolyticus*.

| TRATAMIENTO | PRE-RETO | | POST RETO | |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | CHT (x 10 ⁶ cel/mL) | PO (OD 408 100 L ⁻¹ □) | CHT (x 10 ⁶ cel/mL) | PO (OD 408 100 L ⁻¹ □) |
| Control Positivo | 11.90 | 160 | 11.68 | 0.15 |
| Control negativo | | | 6.81 | 0.07 |
| Melaza | 12.03 | 0.49 | 6.80 | 0.09 |
| Tapioca | 16.61 | 0.60 | 5.10 | 0.19 |
| Sub. Tapioca | 16.21 | 0.28 | 7.15 | 0.13 |
| Salvado arroz | 15.08 | 0.44 | 6.50 | 0.13 |

CHT (conteo hemocitos totales); PO (Fenol oxidasa).

Adicionalmente, hemos documentado que la incorporación de consorcios microbianos promovidos a partir de las diferentes fuentes de microorganismos no afecta la calidad post-cosecha de los organismos cultivados y que, inclusive, algunos indicadores de dicha calidad pueden mejorar en alguna medida; por ejemplo, la firmeza, que es una característica deseable fue mayor con la incorporación de consorcios foto-autotróficos, mientras que la gomosidad, que es una característica indeseable, fue menor con la incorporación de consorcios heterotróficos (Martínez-Porchas *et al.*, 2021) (Tabla 4).

Tabla 4. Variables postcosecha del camarón cocido a partir de los tratamientos y el control realizado por panelistas expertos.

| | Control | Heterotrófico | Foto-Autotrófico |
|--------------|-----------|---------------|------------------|
| Olor | 3.8 ± 0.4 | 3.7 ± 1.1 | 3.6 ± 0.5 |
| Color | 3.6 ± 0.6 | 3.0 ± 1.1 | 3.4 ± 0.5 |
| Consistencia | 4.2 ± 0.4 | 3.6 ± 0.8 | 4.0 ± 0.7 |
| Jugosidad | 4.0 ± 1.0 | 3.6 ± 0.8 | 4.0 ± 0.7 |
| Firmeza | 4.2 ± 0.8 | 3.6 ± 0.5 | 4.4 ± 0.5 |
| Gomosidad | 3.4 ± 1.3 | 3.0 ± 0.5 | 3.8 ± 0.5 |
| Promedio | 3.7 ± 0.7 | 3.4 ± 0.6 | 3.8 ± 0.5 |

La producción de consorcios microbianos *ex situ* es actualmente una práctica común a nivel mundial (Wei *et al.*, 2020), tanto para el cultivo de camarones como de peces (Menaga *et al.*, 2019). Para ello, se utilizan diversos tipos de unidades de producción fuera del sistema, en donde se proporcionan las condiciones para el desarrollo del tipo de comunidad que se desee

promover: foto-autotrófica, heterotrófica o mixotrófica. Los bioflocs (y también las biopelículas) pueden ser suministradas directamente en fresco, secados por diferentes medios y luego incorporadas al sistema o bien, ser secados e incorporadas al alimento suplementario. La composición de los bioflocs puede variar significativamente dependiendo de diversos factores tales como condiciones ambientales, proporción de nutrientes, tipo de organismos promovidos, composición de la dieta, entre otros. Un estudio de Arias-Moscoso y colaboradores (2016) reportó la composición de bioflocs producidos en un cultivo intensivo de camarón blanco. Se reportó que los niveles de proteína fueron altos, inclusive en aquellos tratamientos que utilizaron dietas de bajo nivel proteico, demostrando que los consorcios microbianos son una importante fuente de nutrientes, incluyendo lípidos y proteína (Tabla 5).

Tabla 5. Composición proximal de bioflocs en cultivos de camarones alimentados con dietas con diferente nivel proteico.

| | Tratamientos (Nivel de proteína en la dieta en g/kg) | | | |
|-----------|--|----------|----------|----------|
| | 0 | 100 | 200 | 300 |
| Proteínas | 364 ± 83 | 404 ± 55 | 389 ± 42 | 394 ± 35 |
| Lípidos | 8 ± 5 | 6 ± 1 | 6 ± 1 | 7 ± 4 |
| Fibra | 9 ± 5 | 7 ± 5 | 6 ± 2 | 5 ± 3 |

Los beneficios de estas prácticas han sido ampliamente documentados en diversas publicaciones. Un reciente estudio de Binalshikh-Abubkr y Mohd Hanafiah, M. (2022), reporta que la incorporación de bioflóculos (secados al horno o liofilizados) en el alimento en una proporción de 4 %, no representó problemas en el crecimiento de tilapia; sin embargo, cuando la incorporación fue de 16 %, el crecimiento disminuyó ligeramente. El contenido proteico de los peces fue ligeramente mayor en aquellos en que se incorporaron bioflocs liofilizados al 4 %. Menaga *et al.* (2019), reportan el efecto de bioflocs producidos *in situ* y *ex situ* en la condición inmune y antioxidante de tilapia (Figura 3).

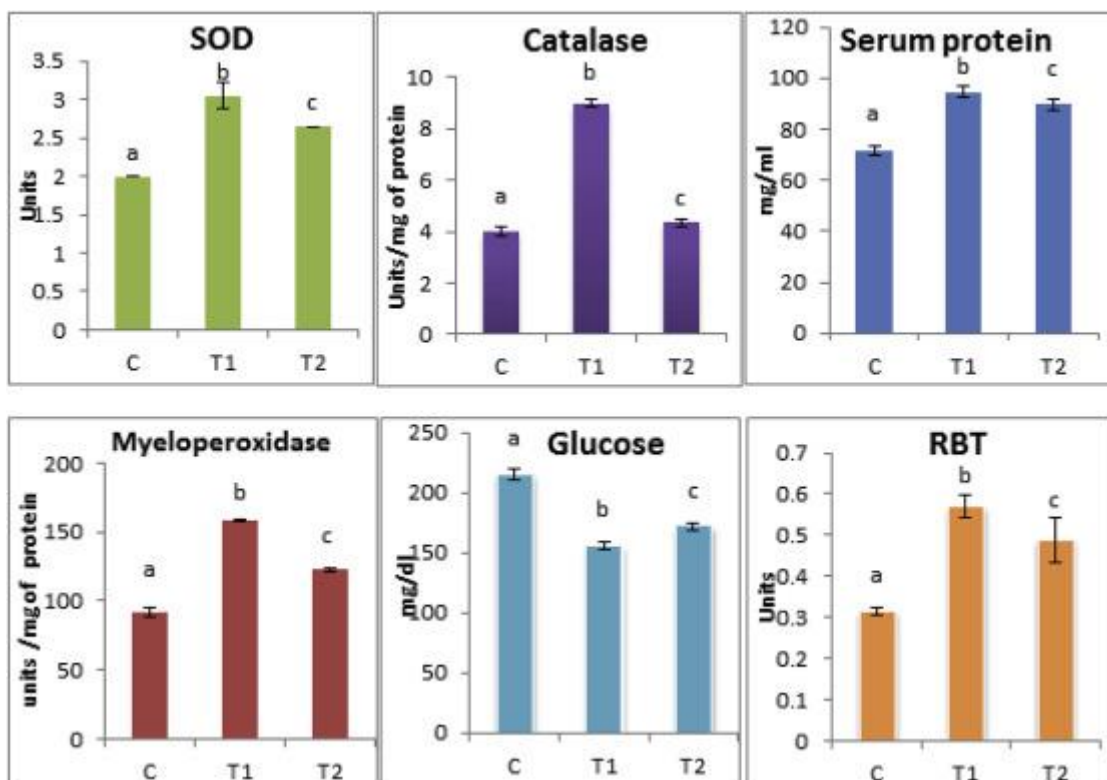


Figura 3. Indicadores inmunológicos y antioxidantes de la tilapia GIFT en diversos tratamientos. *In situ* (T1), *ex situ* (T2).

Los bioflóculos tanto *in situ* como *ex situ* se pueden promover con o sin la incorporación de sustratos flotantes. Sin embargo, en nuestra experiencia, la producción es más efectiva utilizando sustratos. En un reciente estudio (Martinez-Cordova *et al.* 2020) se evaluaron dos sustratos: semillas de amaranto y salvado de trigo en la formación efectividad de bioflocs para la alimentación de camarón. En ambos casos la respuesta productiva fue mejor que la obtenida en el control sin sustratos (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros productivos de *L. vannamei* en sistema BFT utilizando dos tipos de sustratos flotantes.

| | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Sobrevivencia (%) | Biomasa final (g) | FCA |
|----------|------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Amaranto | 1.3 ± 0.1 | 33 ± 2 | 86 ± 12 | 338 ± 5.0 | 1.6 ± 0.2 |
| Salvado | 1.3 ± 0.1 | 37 ± 4 | 100 ± 0 | 445 ± 4.8 | 1.2 ± 0.1 |

Hemos incursionado también en aspectos más profundos, tales como la caracterización taxonómica de la microbiota intestinal de organismos cultivados, sus modificaciones longitudinales y temporales, así como en la predicción de su perfil funcional (Vargas-Albores *et al.*, 2021; Garibay-Valdez *et al.*, 2021). Todo esto tiene una estrecha relación con la función digestiva y, desde luego, con la respuesta productiva de los organismos cultivados, como ha sido ampliamente documentado en diversas publicaciones (Zeng *et al.*, 2019; Ortiz-Estrada *et al.*, 2019) (Figuras 4-6). Una de las hipótesis es que algunos de los microorganismos presentes en bioflóculos y biopelículas, pasan a formar parte del tracto digestivo del camarón, aportando funciones metabólicas, inmunes e incluso de protección, tal como sucede en organismos superiores como los vertebrados.

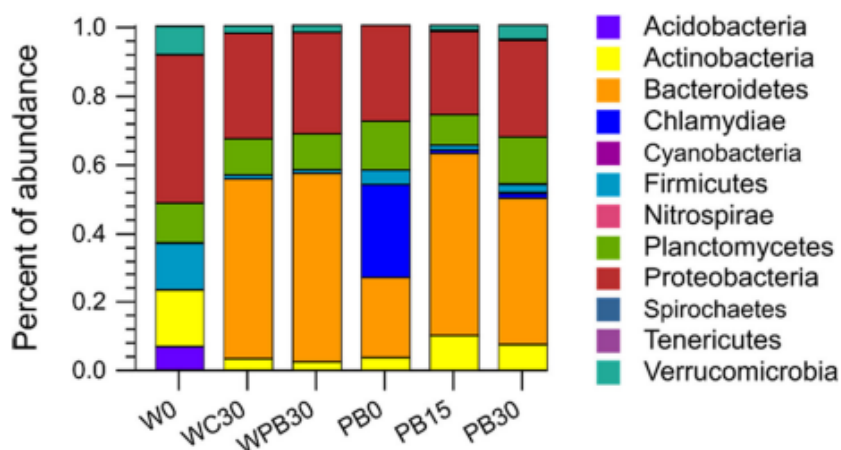


Figura 4. Porcentaje de abundancia de diversos grupos de bacterias en el agua y en el tracto digestivo de camarones en el control y en los que fueron provistos con bioflóculos fotoautotróficos, a los días 0, 15 y 30 días (Ortiz-Estrada *et al.*, 2019).

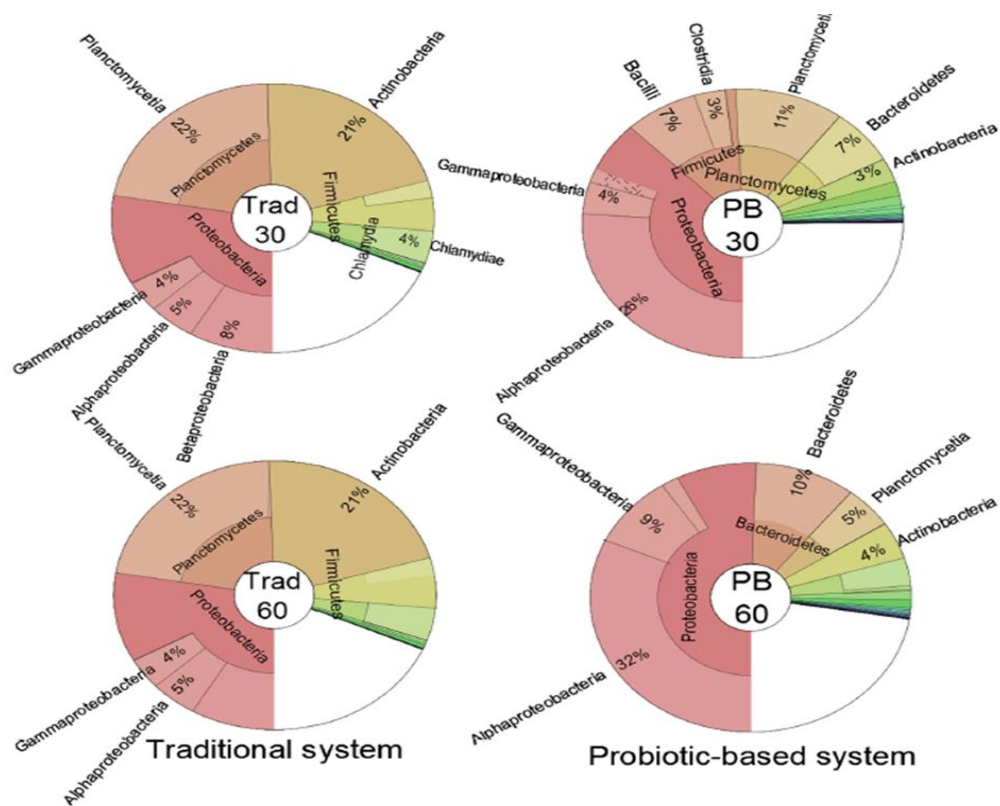


Figura 5. Composición de la biota en el tracto digestivo en el sistema tradicional y en otro con el uso de probióticos a los 30 y 60 días de cultivo (Garibay-Valdez *et al.*, 2021).

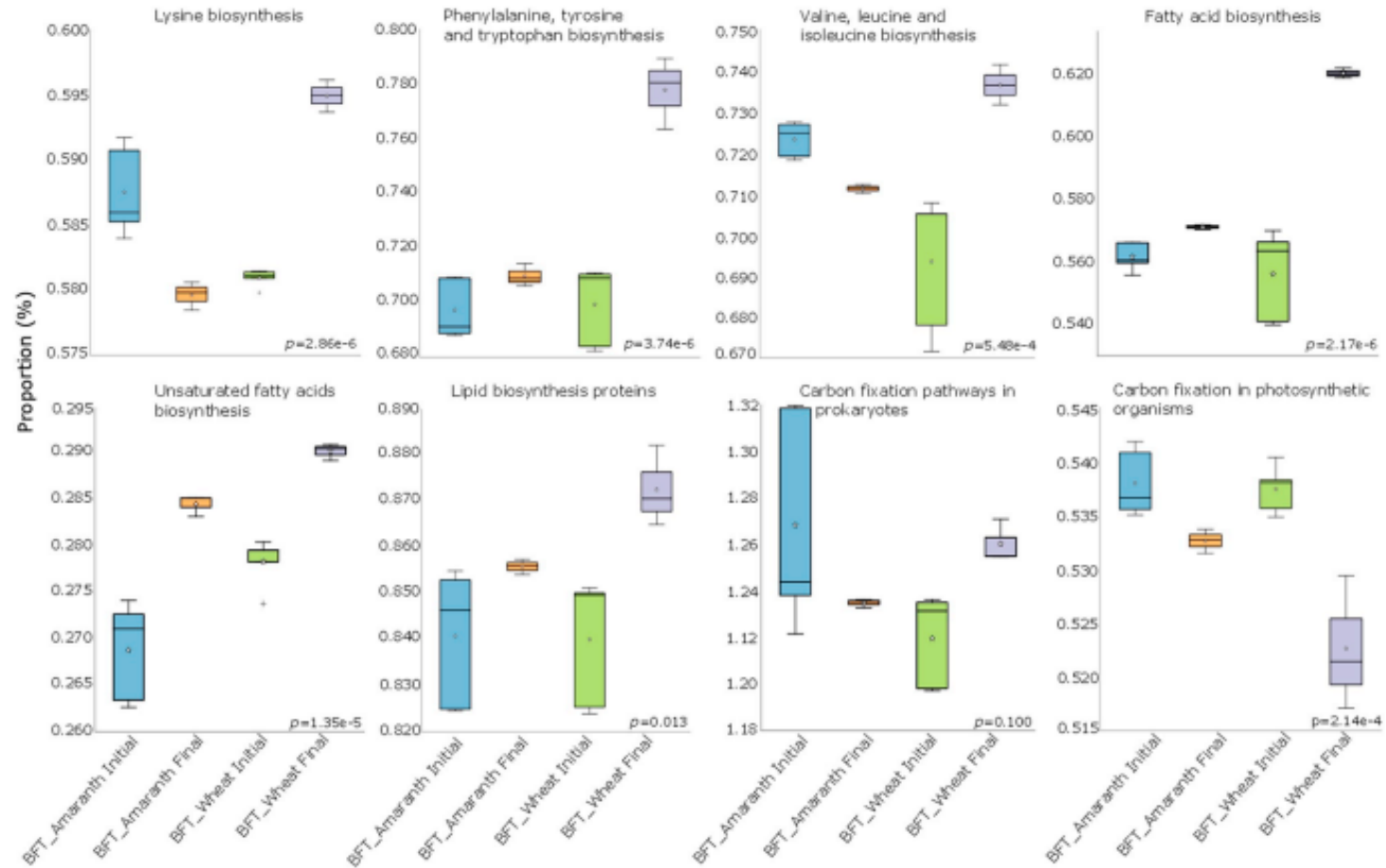


Figura 6. Predicción de algunas propiedades funcionales de la microbiota del tracto digestivo de camarones alimentados con bioflocs producidos con dos tipos de sustratos (Vargas-Albores *et al.*, 2019).

Finalmente, un concepto que se ha venido desarrollando últimamente es el de FLOCPONICS, que es la integración de sistemas de acuaponía y bioflocs.

Fimbres-Acevedo *et al.* (2019) probaron exitosamente un sistema integrado de acuaponia para el cultivo de hortalizas y tilapia, utilizando bioflocs foto-autotróficos formados a partir de la microalga *Chlorella sp.*

En el mismo sentido, Lenz *et al.* (2021) reportaron la integración de un sistema acuapónico y bioflocs para el cultivo de peces y lechuga (Figura 7). Reportaron una buena respuesta productiva de los peces.

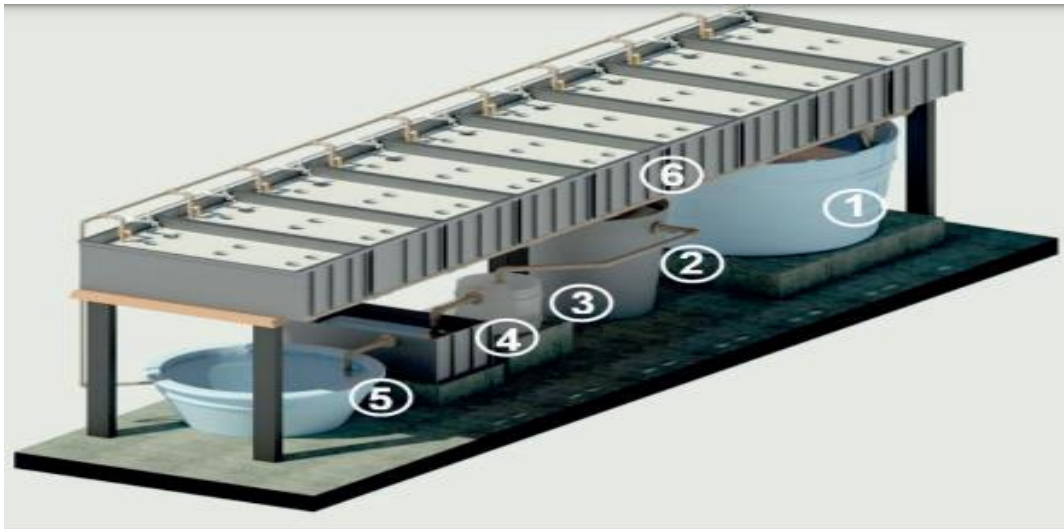


Figura 7. Sistema Floponics para cultivo de peces y lechuga (Tomada de Lenz *et al.* (2021).

Antes de que se acuñara el término floponics, nuestro grupo de trabajo logró desarrollar un sistema para el cultivo integrado de tilapia, chile jalapeño y pimientos, incorporando bioflocs para complementar la alimentación de las tilapias. Los resultados preliminares fueron prometedores en cuanto al aprovechamiento del alimento por parte de la tilapia (FCA bajos) (Tabla 7) y la utilización

eficiente de los nutrientes de los efluentes por parte de las dos especies de chile (Martinez-Cordova *et al.*, 2019).

Tabla 7. Respuesta productiva de tilapia en un sistema Floccponics.

| | PESO GANADO (g/pez) | SOBREVIVENCIA (%) | BIOMASA (g/tina) | FCA |
|--------------|------------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| CON BIOFLOCS | 120.3 ± 26.3 | 82.6 ± 2.3 | 2969 ± 182 | 1.1 ± 0.1 |
| SIN BIOFLOCS | 89.7 ± 19.6 | 80.4 ± 1.9 | 2160 ± 103 | 1.4 ± 0.1 |

Conclusiones y Perspectivas

Los aspectos nutricionales son indudablemente de los más importante para el avance de la acuicultura hacia su verdadera sostenibilidad. En este sentido, el manejo y aprovechamiento del alimento natural ha demostrado ser una estrategia viable y eficiente.

Los microorganismos constituyen una de las comunidades con mayor potencial para contribuir a la nutrición de diversos organismos acuícolas, teniendo, además, efectos positivos en la calidad del agua, en su condición inmune, en el balance de la microbiota intestinal y en la actividad enzimática digestiva.

La integración de los sistemas de bioflocs con sistemas de acuaponía, es una nueva posibilidad de avanzar hacia la sostenibilidad de la actividad acuícola.

Falta mucho por avanzar en diversos aspectos; entre otros:

- a. La caracterización más precisa de la comunidad microbiana tanto en la columna de agua, en los consorcios y en el tracto digestivo de los organismos cultivados.
- b. El manejo y manipulación de dichas comunidades, para obtener los perfiles funcionales más deseables.
- c. La combinación de diferentes comunidades (heterotróficas, foto-autotróficas o mixotróficas), simultáneamente o alternadas en el tiempo de acuerdo con las necesidades del organismo que se cultiva.

Referencias

- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production*, 126604.
- Arias-Moscoso, J. L., Cuevas-Acuña, D. A., Rivas-Vega, M. E., Martínez-Córdova, L. R., Osuna-Amarilas, P., & Miranda-Baeza, A. (2016). Physical and chemical characteristics of lyophilized biofloc produced in whiteleg shrimp cultures with different fishmeal inclusion into the diets. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4), 769-778.
- Baruah, K., Norouzitallab, P., & Pal, A. K. (2017). Development of low cost and eco-friendly feed for various candidate species for the sustainability of commercial aquaculture and reduction of aquatic pollution. In *Developing New Functional Food and Nutraceutical Products* (pp. 441-453). Academic Press.
- Becerra-Dorame, M. J., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., Rivas-Vega, M. E., Lopez-Elias, J. A., & Porchas-Cornejo, M. A. (2012). Production response and digestive enzymatic activity of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) intensively pregrown in microbial heterotrophic and autotrophic-based systems. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Becerra-Dorame, M. J., Martinez-Cordova, L. R., Martínez-Porchas, M., Hernández-López, J., López-Elías, J. A., & Mendoza-Cano, F. (2014). Effect of using autotrophic and heterotrophic microbial-based-systems for the pre-grown of *Litopenaeus vannamei*, on the production performance and selected haemolymph parameters. *Aquaculture Research*, 5(45), 944-948.
- Binalshikh-Abubkr, T., & Mohd Hanafiah, M. (2022). Effect of Supplementation of Dried Bioflocs Produced by Freeze-Drying and Oven-Drying Methods on Water Quality, Growth Performance and Proximate Composition of Red Hybrid Tilapia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 61.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633.
- de Jesus Gregersen, K. J., Pedersen, L. F., Pedersen, P. B., Syropoulou, E., & Dalsgaard, J. (2021). Foam fractionation and ozonation in freshwater recirculation aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 95, 102195.
- Deng, Y., Chen, F., Liao, K., Xiao, Y., Chen, S., Lu, Q., ... & Zhou, W. (2021). Microalgae for nutrient recycling from food waste to aquaculture as feed substitute: a promising pathway to eco-friendly development. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*.
- Ekasari, J., Azhar, M., Surawidjaja, E., De Schryver, P., & Bossier, P. (2013). The effects of bioflocs grown on different carbon sources on shrimp immune response and disease resistance. In *Biofloc Technology and Shrimp Disease Workshop*.
- Ekasari J, Azhar MH, Surawidjaja EH, Nuryati S, De Schryver P, Bossier P (2014) Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish Shellfish Immunol* 41:332–339.
- Emerenciano, M. G. C., Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. *Water quality*, 5, 92-109.

- Fimbres-Acedo, Y. E., Servín-Villegas, R., Garza-Torres, R., Endo, M., Fitzsimmons, K. M., Emerenciano, M. G., ... & Magallón-Barajas, F. J. (2020). Hydroponic horticulture using residual waters from *Oreochromis niloticus* aquaculture with biofloc technology in photoautotrophic conditions with *Chlorella* microalgae. *Aquaculture Research*, 51(10), 4340-4360.
- Garibay-Valdez, E., Cicala, F., Martínez-Porchas, M., Gómez-Reyes, R., Vargas-Albores, F., Gollas-Galván, T., ... & Calderón, K. (2021). Longitudinal variations in the gastrointestinal microbiome of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *PeerJ*, 9, e11827.
- Lenz, G.L., Lapa, K.R., Viana, M.L. and Coelho Emerenciano, M.G. (2019). Preliminary characterization of solids in the water of an integrated aquaponic and biofloc system. *Arq. Ciên. Mar.*, 54 (2): 103 – 119.
- Martínez-Córdova, L. R., Campaña-Torres, A., & Porchas-Cornejo, M. A. (2002). Promotion and contribution of biota in low water exchange ponds farming blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquaculture Research*, 33(1), 27-32.
- Martínez-Córdova, L. R., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Mexican and world shrimp aquaculture: sustainable activity or contaminant industry?. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 181-196.
- Martínez-Córdova, L. R., López-Elías, J., & Martínez-Porchas, M. (2020). A preliminary evaluation of an integrated aquaculture-agriculture systems (tilapia and peppers) at mesocosm scale. *J Aquac Mar Biol*, 9(1), 19-22.
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., Porchas-Cornejo, M. A., & López-Elías, J. A. (2010). Shrimp polyculture: a potentially profitable, sustainable, but uncommon aquacultural practice. *Reviews in Aquaculture*, 2(2), 73-85.
- Martínez-Porchas, M., Ezquerro-Brauer, M., Mendoza-Cano, F., Higuera, J. E. C., Vargas-Albores, F., & Martínez-Córdova, L. R. (2020). Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 16, 100257.
- Menaga, M., Felix, S., Charulatha, M., Gopalakannan, A., & Panigrahi, A. (2019). Effect of in-situ and ex-situ biofloc on immune response of Genetically Improved Farmed Tilapia. *Fish & shellfish immunology*, 92, 698-705.
- Ortiz-Estrada, Á. M., Gollas-Galván, T., Martínez-Córdova, L. R., Burgos-Hernández, A., Scheuren-Acevedo, S. M., Emerenciano, M., & Martínez-Porchas, M. (2019). Diversity and bacterial succession of a phototrophic biofilm used as complementary food for shrimp raised in a super-intensive culture. *Aquaculture International*, 27(2), 581-596.
- Ortiz-Estrada, Á. M., Gollas-Galván, T., Martínez-Córdova, L. R., & Martínez-Porchas, M. (2019). Predictive functional profiles using metagenomic 16S rRNA data: a novel approach to understanding the microbial ecology of aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 234-245.
- Ortiz-Estrada, Á. M., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., Vargas-Albores, F., Burgos-Hernández, A., Scheuren-Acevedo, S. M., & Gollas-Galván, T. (2021). Bacterial communities and predicted nitrogen metabolism of heterotrophic-and probiotic-based biofilms used for super-intensive indoor shrimp culture. *Aquaculture Research*, 52(1), 334-344.

- Stankus, A. (2021). State of world aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. FAO Aquaculture Newsletter, (63), 17-18.
- Schveitzer, R., Arantes, R., Baloi, M. F., Costódio, P. F. S., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013). Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering*, 54, 93-103.
- Vargas-Albores, F., Porchas-Cornejo, M.A., Martínez-Porchas, M., Villalpando-Canchola, E. Gollas-Galva, T. and Martínez-Córdova, L.R. (2009) Bacterial biota of shrimp intestine is significantly modified by the use of a probiotic mixture: a high throughput sequencing approach. *Revista de Biología Marina y Oceanografıa* 44(2): 335-342.
- Vargas-Albores, F., Martínez-Córdova, L. R., Gollas-Galván, T., Garibay-Valdez, E., Emerenciano, M. G. C., Lago-Leston, A., ... & Martínez-Porchas, M. (2019). Inferring the functional properties of bacterial communities in shrimp-culture bioflocs produced with amaranth and wheat seeds as fouler promoters. *Aquaculture*, 500, 107-117.
- Wei, Y. F., Wang, A. L., & Liao, S. A. (2020). Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex-situ biofloc formation. *Aquaculture*, 515, 734492.
- Yogev, U., Sowers, K. R., Mozes, N., & Gross, A. (2017). Nitrogen and carbon balance in a novel near-zero water exchange saline recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, 467, 118-126.
- Zeng, S., Huang, Z., Hou, D., Liu, J., Weng, S., & He, J. (2017). Composition, diversity and function of intestinal microbiota in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at different culture stages. *PeerJ*, 5, e3986.