



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.

Uso de Alimentos no Convencionales en Acuicultura: Estudios Realizados en la Universidad Federal De Rio Grande –FURG

Marcelo Borges Tesser^{1*} y Victor Torres-Rosas²

¹Universidade Federal do Rio Grande-FURG, Instituto de Oceanografia, Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos. ²Universidade Federal do Rio Grande-FURG, Instituto de Oceanografia, Laboratório de Carcinocultura. *marcelotesser@furg.br

Resumen

La producción acuícola ha ido creciendo en todo el mundo y por consiguiente la producción de raciones para alimentar los organismos. El incremento para satisfacer la demanda genera una mayor presión sobre diversos insumos para la fabricación de raciones. Entre ellos, los alimentos procedentes de la agricultura y de la pesca. Este artículo tiene como objetivo señalar algunos estudios realizados por la FURG sobre el uso de alimentos no convencionales para la fabricación de raciones para organismos acuáticos.

Palabras clave: *alimentos alternativos, harina de pescado, sustentabilidad*

Introducción

La producción acuícola ha ido creciendo en todo el mundo. Quizás el principal motivo de esto es el aumento de la demanda de consumo de pescado, como se muestra en los datos de la FAO (FAO, 2020). Por lo tanto, la acuicultura tiene la gran responsabilidad de proporcionar alimentos de buena calidad, ya que las poblaciones de peces suelen estar por encima de su capacidad de explotación. Tacon y Metian (2013) consideran que la expansión de la acuicultura es fundamental para la nutrición humana.

Dentro de la producción acuícola, encontramos varios sistemas de producción adaptados a diferentes condiciones (económicas, sociales y ambientales). Podemos encontrar modelos "simples" en los que hay poca intervención humana en el proceso de producción, por ejemplo, la producción de carpa filtradora cultivada en baja densidad (es decir, sistemas extensivos), hasta procesos de producción más "complejos" en los que hay una gran intervención humana, como la producción de tilapia en tanques de red (sistemas intensivos). Recientemente, estamos experimentando un incremento en la producción de organismos acuáticos con mayor intervención humana en el proceso de cultivo con el claro objetivo de incrementar la productividad. Así, animales que hasta entonces se producían sin el uso de ración, ahora se producen con algún tipo de alimento exógeno al medio de cultivo. Por tanto, el uso de raciones para la producción acuícola ha crecido para satisfacer dicha demanda.

Datos recientes de la FAO (FAO, 2020) muestran que la producción acuícola de especies alimentadas con raciones supera el volumen de las especies no alimentadas. El aumento de esta producción de raciones para satisfacer la demanda genera una mayor presión sobre diversos insumos para la fabricación de raciones. Entre ellos, los alimentos procedentes de la agricultura y que también son utilizados por otros sectores de la producción animal. Naylor *et al.* (2020) mencionan un incremento en el uso de alimentos de origen vegetal terrestre en raciones para organismos acuáticos. Estos autores también señalan que el incremento en el uso de soja en la alimentación animal, por ejemplo, puede estar relacionado con una mayor deforestación para incrementar la producción de este insumo. Troell *et al.* (2014) señalan que habrá mayor competencia por la soja, el maíz y el trigo ya que se utilizan no solo para la acuicultura, sino para la alimentación de animales terrestres, además de ser utilizados por la industria bioenergética.

Otro punto que conviene discutir es el uso de productos pesqueros (harina y aceite de pescado). El crecimiento de la acuicultura alimentada con ración ha resultado en un aumento en la demanda de estos insumos, que por extensión ha resultado en un aumento en sus precios (FAO, 2020). El uso de estos insumos ya ha sido objeto de múltiples estudios (Bandara, 2018; NRC, 2011; Tacon y Metian, 2008) debido a problemas relacionados con el uso del pescado capturado y reducido a harina y aceite de pescado, para ser incluido en los alimentos para la acuicultura, ya sea por motivos ambientales, económicos o sociales.

Recientemente, Tacon *et al.* (2021) publicó un artículo donde los autores discuten los puntos que deben perseguirse para una actividad acuícola más sostenible. Entre los diferentes puntos planteados por los autores, hay dos que intentamos estudiar en nuestra Universidad. El primero es la prohibición del uso de ingredientes provenientes de la pesca no sostenible (harina, aceite de pescado, hidrolizados de pescado, etc.), es decir, buscar sustitutos de estos insumos. El segundo punto sería reducir la huella de carbono mediante el uso de fuentes de alimentos disponibles localmente.

En este capítulo abordaremos las actividades desarrolladas en el Laboratorio de Nutrición de Organismos Acuáticos de la FURG, que están en línea con dos puntos planteados por el artículo de Tacon *et al.* (2021) buscando alimentos alternativos o no convencionales para la acuicultura.

Floco Microbiano

La producción de organismos acuáticos en sistemas de biofloc aparece como una alternativa para mejorar la sostenibilidad productiva (Crab *et al.*, 2012). Al proporcionar una buena relación C / N, el amoníaco se puede convertir en biomasa bacteriana, mejorando así la calidad del agua. Así, es posible reducir la cantidad de agua para la producción acuícola (Krummenauer *et al.*, 2014) además de brindar la presencia de agregados microbianos (bioflocs) suspendidos en el medio y que pueden servir como alimento suplementar para los animales en producción (Krummenauer *et al.*, 2020). La calidad nutricional de los bioflocs está relacionada con varios factores como la calidad de la fuente de carbono introducida, factores ambientales, el animal cultivado, entre varios otros factores. Es de destacar que existen varios estudios que muestran, por ejemplo, que los camarones producidos en sistemas

biofloc tienen su sistema inmunológico y su sistema antioxidante mejorado debido a la presencia de varios micronutrientes (Souza *et al.*, 2019).

Los bioflocs, además de consumirse de forma endógena, es decir, filtrados de la columna de agua por los organismos cultivados, siempre y cuando tengan capacidad de filtración, se pueden utilizar de otra forma. Como la capacidad de producción de bioflocs en el sistema es mucho mayor que la capacidad de los animales para utilizarlo como alimento, existe la necesidad de filtrar el medio, eliminando así el exceso de bioflocos, devolviendo el agua al tanque de producción (Gaona *et al.*, 2016). Esta biomasa extraída tiene un gran potencial para ser utilizada como fuente de alimento para organismos, dadas las cualidades nutricionales que contiene.

Kuhn *et al.* (2009) informa que los bioflocs producidos en biorreactores podrían ser fuentes alternativas a la harina de pescado y la harina de soja en la alimentación de camarones. Así, realizamos un estudio con el objetivo de reemplazar la harina de pescado por el biofloc recolectado de un tanque de producción de camarón *Litopenaeus vannamei* y concentrado de proteína de soja en raciones para juveniles de *L. vannamei* (Bauer *et al.*, 2012). Se probaron cinco dietas, un control sin remplazo de harina de pescado y otras 4 con niveles de sustitución crecientes de la harina de pescado por bioflocos y concentrado de proteína de soja (sustitución de 25, 50, 75 y 100%). En estos niveles de sustitución, se utilizó la inclusión de (0, 7, 14, 21 o 28% de bioflocs respectivamente). Observamos que no hubo cambios en los parámetros de crecimiento entre los diferentes tratamientos probados. A pesar de que los bioflocos aportan menor cantidad de proteína que el concentrado de proteína de soja en las dietas, el uso de bioflocos en las raciones se puede señalar como una forma de mejorar la sostenibilidad de la producción acuícola.

Spirulina, Micro e Macroalgas

La utilización de algas en la acuicultura es una práctica común actualmente sobre todo en el área de larvicultura (Benemann, 1992), en el cultivo de moluscos, y en dietas experimentales para peces. Pero su aplicación a dietas comerciales para etapas posteriores a la larvicultura aún no es una realidad. Las algas son la base de toda cadena trófica para organismos acuáticos son comúnmente asociadas con la nutrición, ya que sus propiedades nutricionales abarcan una gama amplia de macro y micro elementos deseados en dietas acuícolas (Kaprapu, 2018).

Algunos elementos nutricionales destacados son: los valores y configuraciones proteicas (Becker, 2007), cantidad y calidad de ácidos grasos poliinsaturados (Patil *et al.*, 2007), carotenoides, vitaminas y minerales (Gong y Bassi, 2016).

A pesar de que las algas tienen una composición rica en aminoácidos y ácidos grasos esenciales, la industria de producción de ración aún no la ha integrado por completo en sus formulaciones, principalmente por que la producción de microalgas puede llegar a ser muy costosa (Norsker *et al.*, 2011). Sin contar que sus propiedades nutricionales son ampliamente cotizadas por la industria farmacéutica y de consumo humano (Zhang *et al.*, 2014). Lo que las convierte en insumos caros para la producción de raciones y consecuentemente de organismos acuáticos. Sin embargo, algunas industrias las utilizan ya que brindan atractabilidad al alimento, por su alto contenido de carotenoides (astaxantina) para dar color al filete de pescado, y sus altos valores de ácidos grasos omega-3 (DHA, EPA y ARA) (Glencross *et al.*, 2007; Nwoba *et al.*, 2020) sumado a esto brindan valor nutricional al filete y cubren los requerimientos nutricionales de peces marinos (Rosas *et al.*, 2019a). Por tanto, nuestro laboratorio ha realizado la mayoría de su investigación con *Gracilaria dominguis* (Macroalga) y *Arthrospira platensis* (Microalga).

Las algas rojas y principalmente *G. dominguis* son consideradas fuentes interesantes de nutrientes para la alimentación animal debido a la presencia de compuestos bioactivos estructuralmente diversos con gran potencial farmacéutico (Cardozo *et al.*, 2007). Esta macroalga se puede utilizar como fuente de aminoácidos y ácidos grasos esenciales en la dieta animal (Gressler *et al.*, 2010). Su utilización en dietas de peces marinos (*Mugil liza*) demostró que a partir de 5% de esta macroalga en la dieta puede estimular la inmunidad no específica de peces. También fue demostrado, que más de 10% de inclusión acarrea problemas en el crecimiento, en el factor de conversión alimenticia y en la tasa de eficiencia proteica, esto probablemente por su alto contenido de polisacáridos sin almidón que pueden presentarse como un factor antinutricional (Mendonça *et al.*, 2019).

Dentro de todas las microalgas, la *Spirulina* se destaca como la de mayor contenido proteico (hasta 70%), lo que la convierte en un ingrediente potencial para substituir a la harina de pescado (Habib *et al.*, 2008). Además, es una rica fuente de antioxidantes tales como beta-caroteno, zeaxantina, ficocianina y ergotioneina entre otras (Habib *et al.*, 2008; Nguyen *et al.*, 2013). Su valor proteico y contenido de antioxidantes han creado dos vertientes para su

utilización; la primera como una fuente proteica para dietas acuícolas, consistiendo en el intercambio parcial o total (10 a 100% de sustitución) de una fuente proteica (p.ej. harina de soya) por su equivalente en *Spirulina* para evaluar su efecto en parámetros zootécnicos de la especie objetivo; la segunda como un alimento funcional, donde se incluye en dietas acuícolas en pequeñas cantidades (0.1-10% del total del alimento) con el fin de evaluar sus efectos en el sistema antioxidantes, inmunoestimulante, reproductor o coloración de la especie objetivo (Ravi *et al.*, 2008; Rosas *et al.*, 2019d).

La utilización de la *Spirulina* como sustituto de fuentes proteicas en organismos acuáticos es amplia. La sustitución principalmente va dirigida hacia el remplazo de harina de pescado y secundariamente a la sustitución de fuentes proteicas de origen vegetal. Pero, substituir harina de pescado ha sido estudiado ampliamente, ya que este ingrediente es rico en algunos de los aminoácidos esenciales más limitantes tales como lisina e histidina (Habib *et al.*, 2008), así como ácidos grasos poliinsaturados (n-3), lo que lo convierte en un gran desafío (Rosas *et al.*, 2019c). El alto valor nutritivo de la *Spirulina*, la convierte en un posible candidato para este remplazo. Los porcentajes de remplazo estudiados son variados, aunque se ha demostrado que el 100% de remplazo de harina pescado por *Spirulina* disminuye el crecimiento y puede provocar altas mortalidades en peces y camarones, esto se puede explicar porque la *Spirulina* es deficiente en lisina, histidina y metionina (Macias-Sancho *et al.*, 2014; Rosas *et al.*, 2019a), lo que provoca déficit de aminoácidos cuando el organismo que la consume intenta sintetizar sus propias proteínas e inclusive cuando se ha demostrado beneficios en el sistema inmune y antioxidante en ese nivel de sustitución (100%), sus beneficios pueden ser enmascarados por las deficiencias que ocasiona (Rosas *et al.*, 2019^a; Rosas *et al.*, 2019b). Por otro lado, la sustitución parcial de harina de pescado por *Spirulina* en hasta un 50% ha demostrado beneficios superiores a los obtenidos en dietas control para diferentes especies de peces y crustáceos. Pero no solo es importante el éxito en la sustitución parcial, al mismo tiempo esta sustitución ha demostrado tener importantes beneficios en el crecimiento y parámetros zootécnicos, así como beneficios en parámetros sanguíneos, parámetros colorimétricos, sistema antioxidante, entre otros (Macias-Sancho *et al.*, 2014; Rosas *et al.*, 2019a; Rosas *et al.*, 2019b).

La utilización de *Spirulina* como suplemento alimenticio ha sido ampliamente documentada, pues esta microalga es un organismo rico en compuestos bioactivos (Gershwin y Belay

2007). Por tanto, saber cual es el mínimo porcentaje de inclusión que proporcione beneficios es una prioridad. Su utilización en dosis tan pequeñas como 10 mg día⁻¹ han probado tener efectos positivos en la inmunidad de tilapias (Regap *et al.*, 2012). Dietas con 2 y 4% de *Spirulina* fueron comparados con el uso de betacaroteno en dietas de lisas, los resultados demostraron que pequeñas inclusiones mejoran el sistema antioxidante, la coloración del camarón y parámetros productivos (Rosas *et al.*, 2019c).

Finalmente, este producto es un ingrediente que no puede competir con los costos actuales de la harina de pescado (FAO, 2016), por lo que substituir un porcentaje de la harina de pescado elevaría los costos y consecuentemente disminuiría la rentabilidad de la acuicultura. Por otro lado, la inclusión de pequeñas cantidades en el alimento (10 mg – 2% de inclusión) podrían incrementar la rentabilidad si traducimos esta al incremento en el ganancia de los parámetros productivos, tales como crecimiento y sobrevivencia (Rosas *et al.*, 2019d). Por tanto, la utilización de microalgas como herramientas que mejoren la calidad de los parámetros productivos de manera indirecta mediante el incremento de la respuesta antioxidante o inmune podría ser el futuro de la nutrición acuícola.

Hidrolizados de pescado

De acuerdo con la FAO (2020), la producción de organismos acuáticos en el año 2018 fue de 178 millones de toneladas, de las cuales 80% fueron destinadas al consumo humano. Sin embargo, esta cantidad puede ser sobreestimada si consideramos que aproximadamente el 50% de los organismos acuáticos está conformado por piel, esqueleto (o exoesqueleto), vísceras, cabeza, etc., que puede ser calificado como desperdicio (Bechtel *et al.*, 2003). Estos descartes pueden generar un costo adicional de producción si no se tiene un propósito adecuado para ellos (Peter y Clive, 2006), sin considerar el impacto ambiental generado por la degradación de estos sub productos a gases atmosféricos (Nawaz *et al.*, 2020). Por el contrario, pueden ser considerados sub-productos alimenticios y mediante un procesamiento extra podrían convertirse en un valioso producto (He *et al.*, 2013). Aproximadamente el 10 - 20% de este desperdicio es proteína, por tanto, esta proteína puede convertirse en un ingrediente de interés productivo.

La hidrólisis, es la desestructuración de proteínas de pescado que se descomponen en péptidos. Dicha degradación puede realizarse químicamente (ácido o básica) o

biológicamente (usando enzimas) (Pasupuleti y Braun, 2010; Zamora-Sillero *et al.*, 2018a). Como resultado de este proceso, los hidrolizados de pescado pueden generar productos de valor agregado como, colágeno, gelatina, aceites, aminoácidos y péptidos activos (Ghaly *et al.*, 2013). Los péptidos bioactivos se han definido como componentes derivados de alimentos (naturales o enzimáticos) que, además de su valor nutricional, ejercen un efecto fisiológico en el organismo (Vermeirssen *et al.*, 2004). Para generar actividad biológica, los péptidos, que son inactivos en la estructura de la proteína original, deben ser liberados por proteólisis (digestión *in vivo*) o hidrólisis (*in vitro* por enzimas). Así, los péptidos resultantes pueden poseer actividades biológicas tales como actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, entre otras (Zamora-Silleiro *et al.*, 2018a).

Con desperdicios de carpa (*Cyprinus carpio*) fueron elaborados hidrolizados proteicos elaborados mediante hidrólisis enzimática, posteriormente fue analizado el potencial antioxidante de este sub-producto con éxito en el control de daños contra radicales peroxil en células del hipocampo (Zamora-Sillero *et al.*, 2018b). Posteriormente fueron utilizados tales hidrolizados en dietas de pez zebra (*Danio rerio*), donde se verificó una reducción en la peroxidación de lípidos musculares, lo que implica que su uso podría mejorar la calidad y vida útil de los filetes de pescado; y se registró una disminución en la peroxidación de lípidos cerebrales (Zamora-Sillero *et al.*, 2019)

Aglutinantes (pectina)

Brasil es uno de los mayores productores de naranjas del mundo, con más del 90% de la producción destinada a la fabricación de jugos. De esta forma, se genera una gran cantidad de biomasa como subproducto que puede destinarse a la producción de pulpa de cítricos, melaza y pectina. Los derivados de la producción de jugo de naranja se utilizan ampliamente en la nutrición de rumiantes, pero no en el pescado. En los seres humanos, los estudios muestran que la pectina puede reducir los niveles de glucosa y colesterol en sangre (Lunn y Buttriss, 2007). Nuestro trabajo estudió la posibilidad, por primera vez, de incluir pectina como aglutinante en raciones para juveniles de *Mugil liza* (Ramos *et al.*, 2015) evaluando su inclusión en 4, 8 y 12% de una dieta. Los resultados demuestran que no existen diferencias entre los diferentes niveles probados y el control (sin la inclusión de pectina). Tampoco hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos probados para la concentración de colesterol y

triglicéridos hepáticos. En cuanto al glucógeno, se observó una mayor deposición en los hígados de los peces alimentados con una dieta que contenía un 12% de inclusión de pectina. También se observó a través de cortes histológicos del intestino que los peces alimentados con 8 y 12% presentaban patologías relacionadas con el proceso inflamatorio del epitelio intestinal. Sin embargo, esta imagen no fue suficiente para reducir el crecimiento de los animales. Por tanto, las inclusiones superiores al 8% deberían evaluarse mejor. Este tipo de resultado es de gran importancia ya que este insumo es abundante y, a menudo, subexplotado.

Açaí

En años recientes ha aumentado el interés de la población por ingredientes que puedan servir como alimentos funcionales. Por ello, existe un interés en frutos de origen amazónicos, tales como el burití y el acaí. El acaí (*Euterpe oleracea*) es una palmera perteneciente a la familia *Arecaceae* originaria de América del Sur nativo de la cuenca del Amazonas, considerada un producto alimenticio típico brasileño de gran importancia económica. De acuerdo con el IGBE (2020), sólo en Brasil la producción de acaí en 2020 alcanzó 220 millones de toneladas. Principalmente su comercialización se hace a través de pulpa liofilizada, secada al sol o en estufas (Lucas *et al.*, 2018).

La parte comestible del acaí, la pulpa, constituye alrededor del 32% de la masa total del fruto y la semilla el 68% restante (Yuyama *et al.*, 2011), del cual la semilla tiene un contenido superior al 48% de Carbono (Teixeira *et al.*, 2006). La composición centesimal de la pulpa de acaí demuestra ser un producto rico en lípidos (53.3%) siendo la mayoría de estos ácidos grasos saturados y monosaturados (60 y 14% respectivamente) (Batista *et al.*, 2016), su valor proteico es de 10.6%, siendo su principal aminoácido limitante la metionina (de Lima Yamaguchi *et al.*, 2015; Lucas *et al.*, 2018). Pero, la importancia del acaí recae en sus más de 90 biocompuestos nutricionales, de entre los cuales el 31% está formado por flavonoides, seguidos de compuestos fenólicos (23%), lignoides (11%) y antocianinas (9%) (de Lima Yamaguchi *et al.*, 2015), estas últimas son un grupo de flavonoides caracterizadas por dar el color morado en diversos alimentos. Además, el acaí es rico en tocoferoles y vitamina E (Darnet *et al.*, 2011). Gracias a los compuestos bioactivos antes mencionados, el acaí es hoy día considerado un alimento funcional. Y él, como otros ingredientes, ha despertado el interés de las industrias farmacéuticas para humanos y por tanto el interés de la nutrición acuícola

de la misma manera (Costa *et al.*, 2013), ya que su uso como ingrediente acuícola puede ser una herramienta potencial en cultivos intensivos (Oliva-Teles, 2012).

El acaí ha sido incluido en las dietas de organismos acuáticos principalmente de dos formas: a) En forma de harina liofilizada; y b) En forma de aceite de acaí. Al ser una fuente de lipídica, el aceite de acaí ha conseguido substituir con éxito el uso de aceite de pescado en dietas de camarón, al mismo tiempo confiriéndoles mejoras en la coloración, producto de una mayor retención de flavonoides en el musculo, lo que podría incrementar su valor en el mercado (Silva *et al.*, 2020), también en tilapias la sustitución de aceite de pescado demostró un incremento en la respuesta antioxidante de la enzima super oxido dismutasa y respuesta antioxidante total (Leite *et al.*, 2020); Ambos experimentos sin afectar el desempeño zootécnico de los organismos. Otro punto interesante es la acumulación de los flavonoides que provienen del aceite de acaí en los bioflocos bacterianos, pues como es sabido los bioflocos pueden llegar a ser una importante fuente de alimento para camarón (Wasielesky *et al.*, 2006). Por otro lado, la utilización de acaí liofilizado en dietas ha demostrado que puede ser incluido hasta un valor de 10% de inclusión total en la dieta sin afectar el crecimiento de camarones (Colombo *et al.*, 2019; Schmitz *et al.*, 2020), al mismo tiempo indujo efectos positivos en el sistema antioxidante como el incremento de la actividad de la enzima glutatión transferasa y el aumento de los niveles de glutatión reducido (GSH) y la disminución de la peroxidación lipídica (niveles de TBARS) en hepatopáncreas y músculo (Colombo *et al.*, 2019; Schmitz *et al.*, 2020). Así mismo, el acaí en dietas de camarón incrementa la resistencia a la exposición aguda de amonio en branquias y disminuye el daño en branquias causado por eventos de hipoxia (Colombo *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020). Ya en peces de agua dulce, fue demostrado que el hidrolizado de acaí puede disminuir la peroxidación lipídica hasta en un 60% (da Silva *et al.*, 2021). Más investigaciones son necesarias para explorar el potencial del acaí en la acuicultura, ya que ha dado excelentes resultados como estimulador del sistema antioxidante, por lo que sería interesante estudiar su efecto en el sistema inmune y otros.

Mejorar la eficiencia de la producción

Mejorar las tasas de crecimiento, la eficiencia alimenticia y proporcionar buenas condiciones de salud para los animales también es una estrategia para aumentar la eficiencia productiva y reducir los impactos ambientales directos e indirectos.

Para lograr esta premisa de mejorar la eficiencia productiva, los estudios sobre la morfología y fisiología del tracto digestivo son la base para futuros estudios nutricionales. Como ejemplo, podemos citar el estudio sobre la caracterización enzimática del tracto digestivo de *Paralichthys orbignyanus* lenguado realizado por nuestro grupo de estudio (Candiotta *et al.*, 2018). Asimismo, la determinación de las necesidades nutricionales son objeto de estudios en nuestro grupo. Por lo tanto, determinamos que los juveniles de lisa *Mugil liza* deben ser alimentados con 35% de proteína en la ración y que niveles más altos aumentan la tasa de excreción de amoníaco además de empeorar la tasa de eficiencia proteica (Carvalho *et al.*, 2010).

Finalmente, el uso de aditivos en las dietas para ayudar a la eficiencia productiva también fue objeto de estudios en nuestro grupo. Un ejemplo es el uso de enzimas exógenas en la ración. La inclusión de este compuesto es interesante, ya que, con el aumento de la inclusión de materia vegetal terrestre en los alimentos, se incrementan los factores antinutricionales, incluidos los polisacáridos no almidonados. Se estudiaron dos especies sobre la inclusión de un complejo que contiene diferentes carbohidrasas más fitasa, en lisas *M. liza* y en pámpo *Trachinotus marginatus*. Para la lisa, observamos que la inclusión del complejo enzimático, a pesar de no tener efectos sobre el crecimiento de los peces, redujo el daño intestinal causado por la soja (Ramos, *et al.*, 2017). En cuanto al pámpo, hubo una mejora en el crecimiento con el uso del mismo complejo enzimático probado para lisas (Simião *et al.*, 2018).

Conclusión

La acuicultura es una de las actividades de producción de alimentos con mayores tasas de crecimiento. Como vimos anteriormente, su dependencia de alimentos de buena calidad para la producción de alimentos tiende a aumentar. Tacon (2019) estima que en 2017 se utilizaron 51,23 millones de toneladas y que para 2025 este valor llegará a 73,15 millones de toneladas. Además, la mayor demanda de insumos y mayor competencia por estos mismos insumos por parte de otros sectores productivos, lo que resulta en precios elevados, y no podemos dejar de mencionar los problemas ambientales asociados al aumento del área de producción de materias primas terrestres, así como el uso de materias primas marinas (aceite y harina de pescado). Por tanto, creemos que la búsqueda de nuevos alimentos para la producción de raciones para la acuicultura debería ser una preocupación a corto plazo. También, creemos que existe una gama de sub-productos e ingredientes locales para todas las regiones productoras de acuicultura que pueden ser utilizados con éxito en dietas de organismos acuáticos.

Referencias

- Bandara T. 2018. Alternative feed ingredients in aquaculture: opportunities and challenges. *J. Entomol Zool Stud.* 6(2):3087–3094.
- Batista, C. D. C. R., de Oliveira, M. S., Araújo, M. E., Rodrigues, A. M., Botelho, J. R. S., da Silva Souza Filho, A. P. Junior, R. N. C. (2016). Supercritical CO₂ extraction of açai (*Euterpe oleracea*) berry oil: Global yield, fatty acids, allelopathic activities, and determination of phenolic and anthocyanins total compounds in the residual pulp. *The Journal of Supercritical Fluids*, 107, 364-369.
- Bauer, W. Prentice-Hernandez, C.; Tesser, M.B.; Wasielesky, W.; Poersch, L.H. 2012. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 342–343, p. 112-116. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.023>
- Bechtel, P. J. (2003). Properties of different fish processing by-products from pollock, cod and salmon. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(2), 101–116.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210.
- Benemann, J. R. (1992). Microalgae aquaculture feeds. *Journal of Applied phycology*, 4(3), 233-245.
- [Candiotto, F.B.; Freitas, A.C.V.; Neri, R.C.A.; Bezerra, R.S; Vieira, R.R.; Sampaio, L.A.; Tesser, M.B. 2018. Characterization of digestive enzymes from captive Brazilian flounder *Paralichthys orbignyanus*. Brazilian Journal of Biology, v.78, 281-288.](#)
- Cardozo, K. H., Guaratini, T., Barros, M. P., Falcão, V. R., Tonon, A. P., Lopes, N. P., & Pinto, E. (2007). Metabolites from algae with economical impact. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 146(1-2), 60-78.
- Carvalho, C.V.A.; Bianchini, A.; Tesser, M.B.; Sampaio, L.A. (2010). The effect of protein levels on growth, postprandial excretion and tryptic activity of juvenile mullet *Mugil platanus* (Günther). *Aquaculture Research*, v. 41, p. 511-518.
- Colombo, G. M., dos Santos Simião, C., Schmitz, M. J., Pedrosa, V. F., Romano, L. A., Tesser, M. B., ... & Monserrat, J. M. (2020). The role of açai (*Euterpe oleracea* Mart. 1824) as a chemoprotective agent in the evaluation of antioxidant defence, oxidative damage and histology of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) exposed to ammonia. *Aquaculture Research*, 51(4), 1551-1566.
- Costa, A. G. V., Garcia-Diaz, D. F., Jimenez, P., & Silva, P. I. (2013). Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of functional foods*, 5(2), 539-549.
- Crab, R.; Defoirdt, T.; Bossier, P. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356-357, p.351-356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- da Silva, T. V., Torres, M. F., Sampaio, L. A., Hamoy, M., Monserrat, J. M., & Barbas, L. A. L. (2021). Dietary *Euterpe oleracea* Mart. attenuates seizures and damage to lipids in the brain of *Colossoma macropomum*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1-14.
- Darnet, S., Serra, J. L., Rodrigues, A. M. C., & Silva, L. H. M. (2011). A highperformance liquid chromatography method to measure tocopherols in assai pulp (*Euterpe oleracea*). *Food Research International*, 44, 2107–2111.

- de Lima Yamaguchi, K. K., Pereira, L. F. R., Lamarão, C. V., Lima, E. S., & da Veiga-Junior, V. F. (2015). Amazon acai: chemistry and biological activities: a review. *Food chemistry*, 179, 137-151.
- FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. FAO, Roma. 224 pp
- Food and Agriculture Organization FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Gaona, C.A.P.; Serra, F.P.; Furtado, P.S.; [Poersch, L.H.](#); Wasielesky, W. 2016. Biofloc management with different flow rates for solids removal in the *Litopenaeus vannamei* BFT culture system. *Aquaculture International*, v. 24, p. 1263-1275.
- Gershwin M.E., Belay A. (Eds.) (2007). *Spirulina in Human Nutrition and Health*. Taylor and Francis, London.
- Ghaly A.E., Ramakrishnan V.V., Brooks M.S., Budge S.M., Dave D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. *J. Microb Biochem Technol* 5:107–129
- Glencross, B. D., Booth, M., Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture nutrition*, 13(1), 17-34.
- Gong, M., & Bassi, A. (2016). Carotenoids from microalgae: A review of recent developments. *Biotechnology advances*, 34(8), 1396-1412.
- Gressler, V., Yokoya, N. S., Fujii, M. T., Colepicolo, P., Mancini Filho, J., Torres, R. P., & Pinto, E. (2010). Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food chemistry*, 120(2), 585-590.
- Habib, M. A. B. (2008). Review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Food and agriculture organization of the united nations.
- He, S., Franco, C., & Zhang, W. (2013). Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). *Food Research International*, 50(1), 289-297.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. (2020). v4.6.11 <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/16/12705>
- Kaparapu, J. (2018). Application of microalgae in aquaculture. *Phykos*, 48(1), 21-26.
- Krummenauer, D.; Samocha, T.M. ; Poersch, L. H. ; Lara G. R. ; [Wasielesky JR, Wilson](#). (2014). The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, in BFT System. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 45, p. 3-14.
- [Krummenauer, D](#); Abreu, P.C.; Poersch, L.; REIS, P. A. C. P.; Suita, S.; Reis, W. G.; Wasielesky, W.J. (2020). The relationship between shrimp (*Litopenaeus vannamei*) size and biofloc consumption determined by the stable isotope technique. *Aquaculture* v. 529, p. 735635, 2020.
- Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Lawrence, A.L., Marsh, L., Flick, G.J. (2009). Microbial flocs generated in bioreactors is a superior replacement ingredient for fishmeal or soybean meal in shrimp feed. *Aquaculture* 296, 51–57.

- Leite, T. C., Picoli, F., Lopes, D. D. A., Baldissera, M. D., Souza, C. F., Baldisserotto, B., Da Silva, A. S. (2021). The effects of açai oil addition in tilapia diets on performance, hepatic energy metabolism enzymes and antioxidant responses. *Aquaculture Research*, 52(1), 395-402.
- Lucas, B. F., Zambiasi, R. C., & Costa, J. A. V. (2018). Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. *LWT*, 98, 335-340.
- Lunn, J.; Buttriss, J. L., (2007). Carbohydrates and dietary fiber. *Nutr. Bull.* 32, 21–64.
- Macias-Sancho, J., Poersch, L. H., Bauer, W., Romano, L. A., Wasielesky, W., & Tesser, M. B. (2014). Fishmeal substitution with *Arthrospira* (*Spirulina platensis*) in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth and immunological parameters. *Aquaculture*, 426, 120-125.
- Mendonça, A. J. C. D., Rosas, V. T., Monserrat, J. M., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019). The inclusion of algae *Gracilaria domingensis* in the diet of mullet juveniles (*Mugil liza*) improves the immune response. *Journal of Applied Aquaculture*, 31(3), 210-223.
- National Research Council. (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington: The National Academies Press; p. 376.
- Nawaz, A., Li, E., Irshad, S., Xiong, Z., Xiong, H., Shahbaz, H. M., Siddique, F. (2020). Valorization of fisheries by-products: Challenges and technical concerns to food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 34-43.
- Naylor, R.; Hardy, R.W.; Buschmann, A.H.; Bush, S.R.; Cao, L.; Klinger, D.H.; Little, D.C.; Lubchenco, J.; Shumway, S.E.; Troell, M. (2020). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, v. 591, p. 551-563.
- Nguyen, T. H., Nagasaka, R., & Ohshima, T. (2013). The natural antioxidant ergothioneine: resources, chemical characterization, and applications. In *Lipid Oxidation* (pp. 381-415). AOCS Press.
- Norsker, N. H., Barbosa, M. J., Vermuë, M. H., & Wijffels, R. H. (2011). Microalgal production—a close look at the economics. *Biotechnology advances*, 29(1), 24-27.
- Nwoba, E. G., Ogbonna, C. N., Ishika, T., & Vadiveloo, A. (2020). Microalgal pigments: a source of natural food colors. In *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products* (pp. 81-123). Springer, Singapore.
- Oliva-Teles, A. (2012). Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of fish diseases*, 35(2), 83-108.
- Pasupuleti, V. K., & Braun, S. (2010). State of the art manufacturing of protein hydrolysates. *Protein Hydrolysates in Biotechnology*, 11–32.
- Patil, V., Källqvist, T., Olsen, E., Vogt, G., & Gislerød, H. R. (2007). Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International*, 15(1), 1-9.
- Peter, D., Clive, H. (2006). An overview of the Australian Seafood Industry. Published online. <http://aaa.ccpit.org/Category7/mAttachment/2006/Dec/13/asset000070002007202file1.pdf>
- Ragap, H.M., Khalil, R.H., Mutawie, H.H. (2012). Immunostimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 2: 26–31.

- Ramos, L.R.V.; Pedrosa, V.F.; Mori, A.; Andrade, C.F.F.; Romano, L.A.; Abreu, P.C.; Tesser, M.B. (2017). Exogenous enzyme complex prevents intestinal soybean meal induced enteritis in *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) juveniles. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, p. 341-353.
- Ramos, L.R.V.; Monserrat, J.M.; Romano, L.A.; Sampaio, L.A.; Abreu, P.C.; Tesser, M.B. (2015). Effects of supplementing the diets of *Mugil liza* Valenciennes, 1836 juveniles with citrus pectin. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 31, 362-369.
- Ravi, M., Lata, S., Azharuddin, D.S., Paul, S. (2010). The beneficial effects of Spirulina focusing on its immunomodulatory and antioxidant properties. *Nutrition and Dietary Supplements 2*: 73–83.
- Rosas, V. T., Bessonart, M., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019a). Fishmeal substitution for *Arthrospira platensis* in juvenile mullet (*Mugil liza*) and its effects on growth and non-specific immune parameters. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(1), 3-13.
- Rosas, V. T., Monserrat, J. M., Bessonart, M., Magnone, L., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019b). Fish oil and meal replacement in mullet (*Mugil liza*) diet with Spirulina (*Arthrospira platensis*) and linseed oil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 218, 46-54.
- Rosas, V. T., Monserrat, J. M., Bessonart, M., Magnone, L., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019c). Comparison of β -carotene and Spirulina (*Arthrospira platensis*) in mullet (*Mugil liza*) diets and effects on antioxidant performance and fillet colouration. *Journal of Applied Phycology*, 31(4), 2391-2399.
- Rosas, V. T., Poersch, L. H., Romano, L. A., & Tesser, M. B. (2019d). Feasibility of the use of Spirulina in aquaculture diets. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1367-1378.
- Schmitz, M. J., Colombo, G. M., dos Santos Simião, C., Ortiz, C. R., Costa, L. D. F., da Silva, T. V. N., Monserrat, J. M. (2020). Modulation of nodularin toxicity in shrimp *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) fed with dietary açai (*Euterpe oleracea*) inclusion. *Fish & Shellfish Immunology*, 103, 464-471.
- Silva, S. M., Ramos, P. B., Buitrago, J. R., da Silva, T. V., Simião, C. S., Colombo, G. M., Monserrat, J. M. (2020). Zootechnical performance, biochemical response, and chromaticity in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) (Boone, 1931) after the inclusion of lyophilized açai (*Euterpe oleracea*) in the diet. *Aquaculture International*, 28(4), 1563-1577.
- Simião, C.S.; Ramos, L.V.R.; Mori, A.; Romano, L.A.; Monserrat, J.M.; Tesser, M.B. (2018). Use of exogenous enzymes in diets for juvenile pompano *Trachinotus marginatus*: growth and liver and intestine morphophysiology. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 44, e326. Doi 10.20590/1678-2305.2018.44.4.326.
- [Souza, D. M.](#) ; Kutter, M. T. ; [Furtado, P.S.](#) ; [Romano, L.A.](#) ; Wasielesky, W.J.; [Monserrat, J.M.](#); [Garcia, L.O.](#) (2019). Growth, antioxidant system, and immunological status of shrimp in bioflocs and clear water culture systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, p. 1-8, 2019.
- Tacon A.G.J., Metian M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*. 285(1-4):146–158. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.08.015
- Tacon, A.; Metian, M. (2013). Fish Matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, v. 2, p. 22-28.

- Tacon, A.; Metian, M.; McNevin, A.A. (2021). Future Feeds: Suggested Guidelines for Sustainable Development. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1898539>
- Tacon, A.G.J. (2019). Trends in Global Aquaculture and Aquafeed Production: 2000–2017, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, DOI: 10.1080/23308249.2019.1649634
- Teixeira, L. B., De Oliveira, R. F., Furlan Junior, J., Campos, P. D. F., & Germano, V. (2006). *Compostagem: lixo orgânico urbano e resíduos da agroindústria do açaí*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- [Troel, M.; Naylor, R.L.; Metian, M.; Beveridge, M.; Tyedmers, P.H.; Folke, C.; Arrow, K.J.; Barret, S.; Crépin, S.A.; Erlich, P.R.; Gren A.; Kautsky, N.; Levin, S.A.; Nyborg, K.; Osterblom, H.; Polasky, S.; Scheffer, M.; Walker, B.H.; Xepapadeas, T.; Zeeuw, A. 2014.](#) Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 111 (37) (2014), pp. 13257-13263, [10.1073/pnas.1404067111](https://doi.org/10.1073/pnas.1404067111)
- Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.04.030
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Silva Filho, D. F., Yuyama, K., Jesus Varejão, M. D., Fávares, D. I. T., Caruso, M. S. F. (2011). Caracterização físico-química do suco de açaí de Euterpe precatoria Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. *Acta Amazonica*, 41, 545-552.
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., & Prentice, C. (2018a). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20(2), 118-130.
- Zamora-Sillero, J., Ramos, P., Monserrat, J. M., & Prentice, C. (2018b). Evaluation of the antioxidant activity *in vitro* and in hippocampal HT-22 cells system of protein hydrolysates of common carp (*Cyprinus carpio*) by-product. *Journal of aquatic food product technology*, 27(1), 21-34.
- Zamora-Sillero, J., Tavares Kütter, M., Borges Tesser, M., Monserrat, J. M., & Prentice, C. (2019). Effect of dietary common carp by-product protein hydrolysates on antioxidant status in different organs of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Nutrition*, 25(1), 110-118.
- Zhang, J., Sun, Z., Sun, P., Chen, T., & Chen, F. (2014). Microalgal carotenoids: beneficial effects and potential in human health. *Food & function*, 5(3), 413-425.