



ALLIANCE™

(<https://www.globalseafood.org>).



Investigación de macronutrientes en la nutrición acuícola

1 March 2021

By Artur N. Rombenso, Ph.D. , Moha Esmaeili, Msc. , Bruno Araujo, Ph.D. , Mauricio Emerenciano, Ph.D. , Ha Truong, Ph.D. , Maria Teresa Viana, Ph.D. , Erchao Li, Ph.D. and Cedric Simon, Ph.D.

Un estudio exhaustivo de la literatura científica destaca la importancia de considerar conjuntamente las proteínas, los lípidos y los carbohidratos en las formulaciones de alimentos acuícolas



Este estudio exhaustivo de la literatura científica sobre la investigación de macronutrientes en la nutrición acuícola entre 1990 y 2020 mostró la importancia de considerar conjuntamente proteínas, lípidos y carbohidratos en las formulaciones de alimentos acuícolas.

A nivel mundial, la industria acuícola provee el 17,1 por ciento de la proteína animal total para el consumo humano, con un valor estimado de más de 250.000 millones de dólares estadounidenses. Los alimentos acuícolas juegan un papel crucial para garantizar este nivel de producción, y la industria mundial de alimentos acuícolas produjo 44,4 millones de toneladas métricas en 2017, valoradas en más de US\$ 140 mil millones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO; **SOFIA 2020** (<http://www.fao.org/publications/sofia/2020/en/>)).

La mayoría de los esfuerzos en la investigación de la nutrición acuícola se han dirigido hacia las proteínas, luego los lípidos y los carbohidratos (CHO). La proteína proporciona aminoácidos, los componentes básicos del tejido, y está directamente relacionada con el crecimiento animal. Independientemente de la especie, el nivel trófico o los ambientes de cultivo, la mayoría de las especies acuáticas tienen un mayor requerimiento de proteínas en comparación con las especies de ganado terrestre (aves, cerdos y rumiantes).

<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/reemplazo-dietetico-del-aceite-de-pescado-en-el-pampano-juvenil-de-florida/>

Cabe destacar que, si bien las especies acuáticas tienen mayores requerimientos de proteínas, su gasto energético es mucho menor ya que no regulan su temperatura corporal y habitan un ambiente donde el costo de movimiento es energéticamente menor. Debido a estos requisitos más altos, los ingredientes ricos en proteínas se agregan en niveles altos, que suelen oscilar entre el 30 y el 55 por ciento y, en consecuencia, son el componente más caro de la dieta. Los lípidos son los siguientes, y los CHO son el costo más bajo de estos tres ingredientes en volumen. Aunque constituyen un componente mucho más

pequeño de los alimentos acuícolas, los macronutrientes no proteicos son esenciales para el crecimiento y su importancia en diferentes especies de peces puede variar, lo que requiere investigación para determinar sus niveles óptimos de inclusión.



(https://solutions.ussec.org/aquaculture/?_gl=1*j98jpy*_gcl_au*MTc1MTExMDg3My4xNzQxMTMwMjA4&_ga=2.114571143.1231382337.1744647858448374.1707409328).

La investigación relacionada con la nutrición lipídica ha ido en aumento en las últimas décadas. Los lípidos son una fuente de energía muy densa, que contienen el doble del contenido energético de otros macronutrientes. Estas moléculas también participan en varios procesos fisiológicos esenciales, como la estructuración de la membrana celular, la síntesis de esteroides hormonales y el funcionamiento adecuado del sistema inmunológico. Los efectos ahorradores de proteínas [proceso utilizado por el cuerpo para obtener energía de fuentes distintas de las proteínas, incluidas las reservas de glucógeno, los tejidos grasos y las grasas dietéticas] impulsados por el contenido de lípidos en la dieta se han reportado para la mayoría de las especies de peces. Además, algunas investigaciones han intentado lograr fórmulas dietéticas de alto contenido energético maximizando el contenido de lípidos de la dieta sin afectar el rendimiento y el bienestar de los peces. Varios estudios han informado sobre la importancia de una proporción dietética adecuada de macronutrientes para mejorar el rendimiento y la rentabilidad de las formulaciones.

En comparación con las proteínas y los lípidos, los carbohidratos (CHO) son el macronutriente menos investigado en la nutrición de las especies acuícolas. Una razón podría ser la capacidad limitada de la mayoría de las especies de peces y crustáceos para digerir CHO y / o utilizar glucosa como fuente de energía. No obstante, su inclusión en los alimentos acuícolas sigue siendo fundamental, en particular para las especies herbívoras y omnívoras, porque son una fuente de energía económica y eficiente para las especies de bajo valor comercial. Además, las propiedades funcionales de los ingredientes CHO son esenciales en la extrusión de alimentos para fabricar gránulos robustos, expandidos y estables en el agua.

Más allá del efecto de un macronutriente específico en el rendimiento de la producción de los peces, es crucial estudiar sus interacciones, ya que todos los ingredientes juegan un papel en la formulación del alimento, la acumulación de músculo, la salud y la calidad del filete. En consecuencia, este artículo evalúa los esfuerzos de investigación realizados entre 1990 y 2020 para proteínas, lípidos y CHO en la nutrición acuícola a un nivel amplio, incluido el grado de énfasis puesto en especies con fisiología y ecología diferentes, así como los impulsores comerciales que afectan el enfoque de investigación.



Numerosos esfuerzos de investigación han reportado sobre la importancia de una proporción dietética adecuada de macronutrientes para mejorar el rendimiento y la rentabilidad de las formulaciones de alimentos acuícolas.

Configuración del estudio

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica sistemática y exhaustiva en **Scopus** (<https://www.scopus.com/>). [la mayor base de datos de resúmenes y citas de literatura revisada por pares, incluidas revistas científicas, libros y actas de congresos] para proteínas, lípidos y carbohidratos utilizando tres palabras clave: acuicultura, dieta y proteínas / lípidos / carbohidrato. Los criterios de búsqueda fueron los siguientes: que contenga “acuicultura” (a lo largo del manuscrito), Y “dieta” (título, resumen o palabras clave) Y “proteína o lípido o carbohidrato” (título, resumen o palabras clave). En otras palabras, todos los artículos contenían acuicultura, dieta y proteínas / lípidos / carbohidratos al menos una vez en sus textos.

El siguiente paso en la búsqueda fue limitar el área temática a “Ciencias Agrícolas y Biológicas,” idioma al inglés; y período de tiempo a 1990-2020. Según la categorización de Scopus, la categoría de “ciencia acuática” pertenece a las “ciencias agrícolas y biológicas.”

Scopus encontró 10.852 y 6.098 y 1.363 artículos relacionados con proteínas, lípidos y CHO, respectivamente, en la literatura acuícola. Un total de 807 artículos contenían los tres macro-ingredientes en un solo ensayo, lo que no significaba necesariamente que los tres macronutrientes fueran investigados en el mismo experimento. Por ejemplo, se encontró que la mayoría de los artículos solo investigan el efecto de un solo macronutriente en la dieta sobre la utilización de nutrientes de todos los macronutrientes. Debido a la gran cantidad de artículos, no fue posible separar todos los artículos relevantes; en consecuencia, los artículos que contienen los tres macro-ingredientes en un solo ensayo no se consideraron en este estudio. Los datos se visualizaron usando un programa comercial (GraphPad Prism® versión 7, GraphPad Software Inc., San Diego, California, EE. UU.).

Se buscaron las siguientes especies de peces marinos, anádromos [que migran del agua salada para desovar en agua dulce] y de agua dulce:

- **Doradas:** dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada, dorada y dorada rayada.
- **Lubinas:** Lubina asiática, Lubina europea, Lubina japonesa, Lubina moteada, Lubina blanca, Lubina negra.
- **Jureles:** jurel, jurel de aleta larga, jurel Mediterráneo, jurel de California.
- **Pámpanos:** pámpano de Florida, pámpano dorado, pámpano plateado y pámpano Plata.
- **Corvinas:** corvina amarilla, corvina de Chu, corvina gigante y corvina Atlántica.
- **Tambores:** tambor rojo, tambor Shi, tambor cuneado.
- **Platijas:** platija de olivo, platija Brasileña, platija sureña, platija estrellada, platija de verano, platija de Cortés, platija de invierno, platija de cola amarilla.
- **Meros:** mero genciana perla, mero moteado de naranja, mero de coral leopardo, mero gigante, mero jorobado, mero kelp, mero de mármol marrón, mero manchado rojo, mero blanco, mero de Hong Kong, mero lunares, mero grasiento, Mero de Nassau.
- **Salmones:** salmón del Atlántico y salmón chinook.
- **Bagres:** bagre sutchi, bagre plateado, bagre amarillo, bagre de canal, bagre Africano, bagre de Ussuri, bagre de mantequilla indio, bagre híbrido, bagre de agua dulce, bagre rayado, bagre, bagre de Sangkuriang, bagre de cola roja asiático, bagre de río, neotropical bagre, bagre pimelódido Amazónico, bagre Sudamericano, bagre gigante del Mekong, bagre de Amur, bagre Europeo, bagre barbo oscuro, bagre de Bocourti, bagre gris plateado, bagre wels, bagre tra, bagre bagrid, bagre pangasius, bagre chino de hocico largo, común bagre, bagre jundiá, bagre pacamã, bagre azul, bagre oriental, bagre cachara, bagre nariz de pala, bagre de bigotes, bagre surubim, bagre andante, bagre australiano, bagre claríido, bagre Indio, bagre Chino.
- **Otras especies de peces:** bacalao del Atlántico, cobia y rodaballo.

Se buscaron las siguientes especies de invertebrados:

- **Langostinos de agua dulce:** langostino de río Oriental, langostino de río, langostino de río Amazonas, langostino de Río Monzón.
- **Decápodos marinos:** camarón del Báltico, camarón Kuruma, camarón Chino, camarón patiblanco, camarón tigre negro, cangrejo de barro, cangrejo herradura, cangrejo araña, langosta espinosa, langosta Europea, langosta Americana, langosta Noruega, cigala.
- **Cangrejos:** cangrejo de manopla, cangrejo de barro, cangrejo sesarmido, cangrejo nadador, cangrejo herradura, cangrejo araña.
- **Cangrejos de río:** langosta espinosa, langosta Europea, langosta Americana, cigala, langosta zapatilla, cangrejo de pantano rojo, cangrejo marrón, cangrejo de garras angostas, *Procambarus acanthophorus*, cangrejo noble, cangrejo de agua dulce del sur de Chile, cangrejo garra roja Australiana, cangrejo señal, *Procambarus llamas*, cangrejo de río Australiano.

Los artículos obtenidos de cada una de estas búsquedas se categorizaron por macronutrientes (proteína, lípido o CHO), especie, país de publicación, revista de publicación y nivel trófico de las especies investigadas y se organizaron en gráficos de columnas para su interpretación visual.

Resultados

De las publicaciones de investigación identificadas en nuestra búsqueda, la mayoría de los estudios revisados por pares se realizaron en los Estados Unidos y China, seguidos de España, Noruega y Australia. En términos de revistas y especies acuáticas, las revistas científicas especializadas como *Aquaculture* (<https://www.journals.elsevier.com/aquaculture>), *Aquaculture Nutrition* (<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/13652095/homepage/productinformation.html>) y *Aquaculture Research* fueron las más seleccionadas, y los salmónidos y peces marinos fueron las especies más estudiadas.

Con respecto a las publicaciones por macronutriente, como se esperaba, el número de artículos publicados revisados por pares de 1990 a 2020 que investigaron proteínas fue mayor que los lípidos y los carbohidratos en la mayoría de los países, como se muestra en la Fig. 1. La Fig. 2 presenta el número de artículos revisados por pares publicado de 1990 a 2020 y relacionados con proteínas, lípidos y carbohidratos por niveles tróficos, así como los niveles tróficos [posición de los organismos en una red alimentaria] de las principales especies acuícolas.

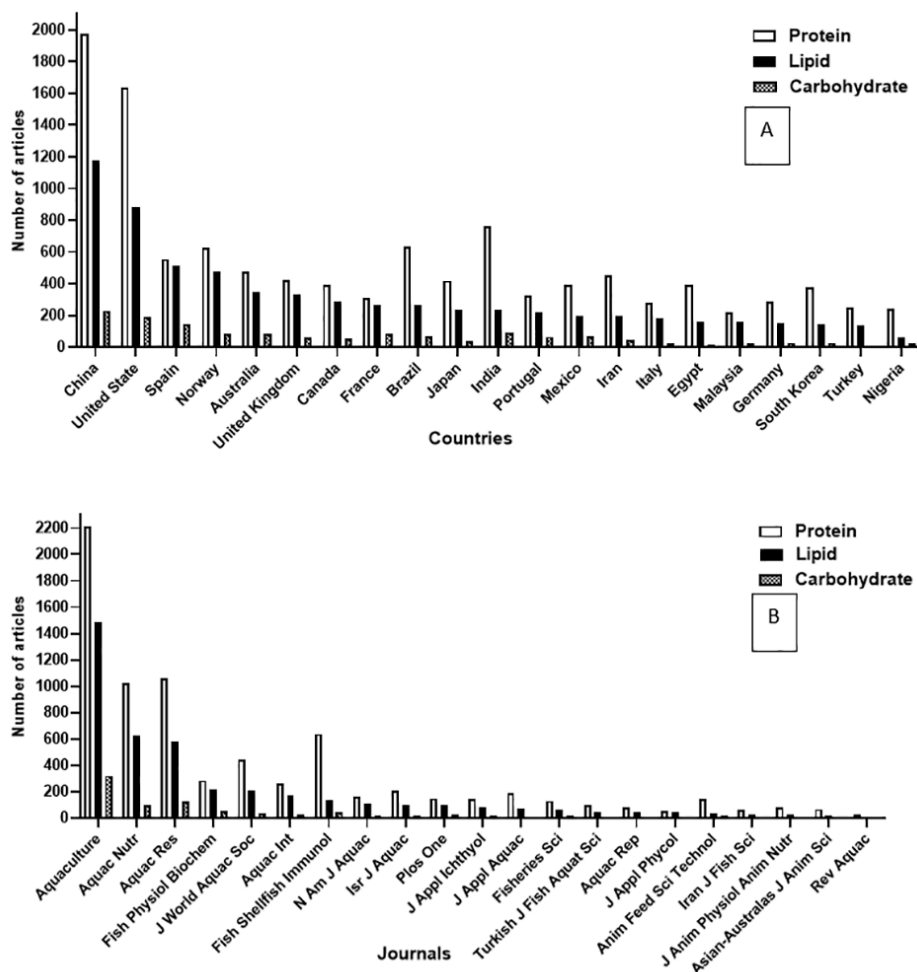


Fig.1: Número de artículos publicados, revisados por pares por países (A) o por revistas (B) desde 1990 y relacionados con la investigación de proteínas, lípidos y carbohidratos en las especies más producidas según el 2018, según FAO 2020.

Fig. 2: A El número de artículos publicados revisados por pares desde 1990 hasta 2020 relacionados con proteínas, lípidos y carbohidratos por niveles tróficos (alto = 4-5, medio = 3-4, bajo = 2-3); y B. niveles tróficos de las principales especies. Fuente: FishBase (<http://www.fishbase.org/search.php>).

Las principales especies de cultivo según el volumen, incluyeron tilapia, carpas, trucha arco iris, bagres, camarones patiblanco, camarones tigre negro y cangrejos de río. Más específicamente, el número total de artículos para las principales especies de peces relacionadas con proteínas, lípidos y CHO fue de 5594, 3020 y 609, mientras que para las especies de crustáceos fue de 973, 469 y 122, respectivamente. En los peces marinos y las especies de agua fría, la diferencia entre la investigación de lípidos y proteínas se redujo, pero las proteínas seguían siendo la prioridad (Fig. 3). Curiosamente, en los salmones (Atlántico y chinook), el número de artículos relacionados con lípidos y proteínas fue similar.

Fig.3: Número de artículos publicados revisados por pares desde 1990 relacionados con proteínas, lípidos y carbohidratos en las especies más producidas (FAO 2020) (A), carpas reportadas por separado (B) y todas las especies mencionadas combinadas en función de la temperatura del agua y preferencias de salinidad (C).

El número total de artículos en carpas refleja fielmente sus necesidades de mercado y producción. Entre las seis especies principales, la carpa herbívora, la carpa común y la carpa Cruciana fueron las tres especies más producidas en China. Del mismo modo, las principales especies de carpas de la India, catla (*Catla catla*), rohu (*Labeo rohita*) y mrigal (*Cirrhinus cirrhosus*), son las especies del sur de Asia más investigadas, especialmente en la India. Aunque existe una gran cantidad de estudios de investigación sobre la carpa plateada y la carpa cabezona en China, los informes nutricionales aún son limitados debido a sus hábitos de alimentación por filtración (extrayendo nutrición suplementaria del medio ambiente) y su menor valor de mercado. Las carpas son en su mayoría herbívoras; por lo tanto, el número de artículos de CHO es el segundo más alto para las carpas, donde el número más alto de artículos de CHO se encuentra en peces marinos, y sustancialmente más alto que el de cualquier otra especie.

El número de artículos para proteínas frente a lípidos frente a CHO siguió la misma tendencia discutida anteriormente. Además, hubo una amplia gama de temas relacionados con las proteínas y los lípidos, como su fuente, la inclusión dietética óptima y el reemplazo de la harina o el aceite de pescado. Estos factores contribuyeron a las diferencias en el número de artículos reportados en carpas para los tres macronutrientes.

Discusión

El pescado y los crustáceos requieren proteínas y lípidos, o más específicamente aminoácidos y ácidos grasos, respectivamente, para un crecimiento y desarrollo óptimos, en contraste con los CHO y sus azúcares más simples. Las dietas ricas en proteínas son costosas y generan un gran interés comercial en reducir el costo de la dieta mediante la investigación y el desarrollo de proteínas. Aunque algunas fuentes de lípidos esenciales también pueden ser costosas, la mayoría de las fuentes de lípidos se utilizan como una fuente de energía digestible asequible y constituyen una pequeña fracción de la

dieta (1 a 8 por ciento) para la mayoría de las especies cultivadas, excepto los salmónidos y los peces marinos carnívoros. Para estas últimas especies, la industria depende cada vez más de dietas de alto contenido energético que contienen cada vez más inclusiones de lípidos digestibles rentables. La gran cantidad de estudios de proteínas obtenidos de la investigación de peces y camarones también puede reflejar la diversidad de fuentes de proteínas y suplementos de aminoácidos. Por el contrario, hay menos fuentes de energía digestible y ácidos grasos esenciales disponibles comercialmente para las especies acuáticas. En este sentido, la falta de diversidad podría ser una explicación que tiende a impulsar menos esfuerzos de I + D en lípidos y CHO. Además, muchas harinas marinas clasificadas como fuentes de proteínas tienen el beneficio adicional de proporcionar una fracción de lípidos residuales crucial (10 a 15 por ciento) que contiene suficientes ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (LC-PUFA) para muchas especies de peces y colesterol para crustáceos.

Los requisitos de proteínas para muchas especies de peces y camarones se han evaluado, pero el valor nutricional de todos los ingredientes proteicos no está bien establecido, en particular para los nuevos ingredientes proteicos.

Optimizar el efecto ahorrador de proteínas mediante el suministro de lípidos y CHO como energía no proteica es clave para hacer que las dietas sean más rentables y respetuosas con el medio ambiente (el exceso de aminoácidos se excreta como amoníaco, lo que conduce a una baja calidad del agua y a la eutrofización). Además, los lípidos se aceptan con tasas de inclusión más altas en las dietas de peces carnívoros (20 a 40 por ciento para el salmón) que las especies omnívoras o crustáceos (4 a 15 por ciento), que tienden a derivar más energía de fuentes de CHO que de lípidos. Estos últimos también tienen menos capacidad para metabolizar y almacenar grasa en filetes.

Según estudios recientes, los lípidos de las plantas terrestres y los subproductos animales extraídos son una fuente barata de energía digestible, lo que da como resultado una formulación rentable y sostenible para satisfacer las demandas de energía animal. Si bien las fuentes de lípidos específicas,

como los ácidos grasos poliinsaturados omega-3, los fosfolípidos y el colesterol se requieren en un grado variable en las diferentes etapas de vida de los peces, para los crustáceos esto es esencial. Por lo tanto, la mayoría de las investigaciones han investigado las posibilidades de proporcionar alternativas terrestres como fuente de energía y ahorrar esas fuentes de lípidos esenciales (particularmente omega-3 LC-PUFA). Las fuentes tradicionales de lípidos esenciales se han originado típicamente a partir de recursos de origen marino como los aceites de pescado, calamar y krill y las fracciones de lípidos residuales en sus respectivas comidas. Ya se encuentran disponibles comercialmente nuevas fuentes de algas marinas (por ejemplo, *Thraustochytrids*, *Aurantiochytrium* y *Schizochytrium*) y canola rica en DHA modificada genéticamente. Estos se utilizarán cada vez más en los próximos años.

El componente CHO de los alimentos acuícolas que se pasa por alto brinda la oportunidad de explorar más a fondo las características no relacionadas con las proteínas de varios ingredientes, incluidas sus posibles propiedades inmunoestimulantes y funcionales. Otra área de investigación prospectiva implica una mejor comprensión del contenido de micotoxinas en los ingredientes a base de CHO para las principales especies acuáticas cultivadas. En este sentido, estos temas recientes y en crecimiento relacionados con los lípidos y los CHO pueden contribuir a futuros esfuerzos de investigación distribuidos de manera más uniforme entre las proteínas, los lípidos y los CHO.

Aunque se han examinado los requisitos de proteínas para muchas especies de peces y camarones, no se ha establecido el valor nutricional de los ingredientes proteicos, en particular para los nuevos ingredientes proteicos. Si bien es necesario hasta cierto punto, el catabolismo de las proteínas de la dieta [vía metabólica para descomponer las moléculas para su uso por el cuerpo] es una fuente de energía ineficiente y costosa en comparación con los lípidos o los CHO. Debido a la complejidad que rodea la “caja negra” del metabolismo de las proteínas en los organismos vivos, es difícil determinar el valor nutricional de un ingrediente y, a menudo, es específico de una especie. Se han realizado importantes esfuerzos de investigación para equilibrar el costo de un ingrediente y la eficiencia de la conversión de proteínas.

Curiosamente, la investigación en nutrición a menudo se centra en un solo macronutriente para una evaluación rigurosa y para simplificar el diseño experimental. Equilibrar los niveles de los tres macronutrientes digestibles puede conducir a mejoras nutricionales más allá del efecto de un solo nutriente. Debido a la diversidad, el costo y el volumen de las fuentes de proteínas, potencialmente hay más oportunidades y fondos de investigación para realizar una investigación adecuada sobre las proteínas. El enfoque hacia la sustitución de la harina de pescado como un recurso finito ha generado una oleada de actividades de I + D en el espacio de nuevas alternativas de proteínas, inicialmente fuentes de sub-productos vegetales y animales y ahora cada vez más a partir de fuentes de proteínas microbianas, microalgas e insectos.

Es importante considerar igualmente los tres macronutrientes (proteína, lípido, carbohidrato) en las formulaciones, ya que cada uno influirá en el rendimiento animal y la eficiencia de conversión alimenticia.

La amplia diversidad de especies acuícolas (más de 600 especies) hace que los estudios nutricionales sobre las necesidades de proteínas sean particularmente esenciales y desafiantes. La investigación de proteínas probablemente seguirá desempeñando un papel importante en la optimización del rendimiento del crecimiento, con la investigación de lípidos centrada en lograr la rentabilidad, la salud y la calidad mejorada del producto (niveles de omega-3 LC-PUFA), y la investigación de CHO centrada en las formulaciones de alimentos de menor costo, la fabricación de alimentos acuícolas y la estabilidad del agua.

Perspectivas

Considerando el volumen de las principales especies acuícolas producidas (carpas 31,5 por ciento; tilapia 13,2 por ciento; y otras especies como bagre, camarones marinos, especies de peces marinos y salmón que representan el 37,6 por ciento del volumen mundial) – según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Naciones Unidas (FAO 2019) – los lípidos y los ingredientes a base de CHO representan al menos la mitad de los costos mundiales de producción de alimentos acuícolas. Estos macronutrientes representan un componente económico esencial, no solo para las fábricas de alimentos balanceados sino para toda la industria acuícola.

Las investigaciones futuras centradas en mejorar no solo la productividad animal, sino también la rentabilidad, la salud y los impactos ambientales, deberán cambiar el enfoque de las fuentes ricas en proteínas y considerar cada vez más el papel de los lípidos y carbohidratos (CHO) en las formulaciones futuras.

Authors

**ARTUR N. ROMBENSO, PH.D.**

Corresponding author
Research Scientist, Animal Nutrition
CSIRO Livestock & Aquaculture Program
Bribie Island Research Centre, 144 North St, Woorim, QLD 4507 AUS

artur.rombenso@csiro.au (<mailto:artur.rombenso@csiro.au>).

**MOHA ESMAEILI, MSC.**

Ph.D. student, Aquaculture Nutrition
University of Tasmania, Institute for Marine and Antarctic Studies (IMAS)
20 Castray Esplanade, Battery Point TAS 7004 AUS

**BRUNO ARAUJO, PH.D.**

Research Scientist, Aquaculture Nutrition
Núcleo Integrado de Biotecnologia, Universidade de Mogi das Cruzes, Av. Dr. Candido Xavier de Almeida Souza, 200, 08780-911, Mogi das Cruzes, SP, Brazil

**MAURICIO EMERENCIANO, PH.D.**

Research Scientist, Production Systems
CSIRO Livestock & Aquaculture Program
Bribie Island Research Centre, 144 North St, Woorim, QLD 4507 AUS



HA TRUONG, PH.D.

Research Scientist, Animal Nutrition
CSIRO Livestock & Aquaculture Program
Bribie Island Research Centre, 144 North St, Woorim, QLD 4507 AUS



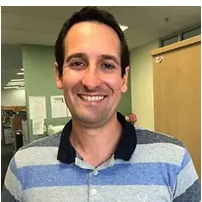
MARIA TERESA VIANA, PH.D.

Professor and Research Scientist
Universidad Autónoma de Baja California – Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Carr. Transpeninsular 3917, UABC, 22870, Ensenada, B.C., México



ERCHAO LI, PH.D.

Professor
Hainan University, Department of Aquaculture
Haikou, Hainan 570228, China



CEDRIC SIMON, PH.D.

Research Group Leader, Nutrition & Production Systems
CSIRO Aquaculture Program
Queensland Bioscience Precinct, 306 Carmody Road, St. Lucia, QLD 4067 AUS

All rights reserved.