

REVISIÓN: ALIMENTACIÓN NO TRADICIONAL PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DEL CRECIMIENTO DE PECES EN CONDICIÓN SUB- Y SUPRA-ÓPTIMA DE TEMPERATURA

Review: Non-traditional feed to improve growth performance of fish in sub and
supra-optimal temperature conditions

Julieta Sánchez Velázquez¹, Guillermo Abraham Peña Herrejón¹,
Jesús Josafat de León Ramírez¹ y Juan Fernando García Trejo^{1*}

¹Universidad Autónoma de Querétaro

*Correo electrónico:juanfernando77@gmail.com

RESUMEN

La harina y el aceite de pescado son los principales ingredientes de los alimentos tradicionales para peces, pero el costo de dichas materias primas ha incrementado debido a la alta demanda generada por el abastecimiento de los sistemas de producción acuícola. Por ello resulta verdaderamente necesario reemplazarlos de forma parcial o total con nuevos recursos, denominados alternativos o no tradicionales, con los cuales puedan ser elaborados nuevos alimentos. Generalmente se pretende que los alimentos no tradicionales incrementen el rendimiento del crecimiento en los peces, pero se ha observado que dichas dietas también aportan beneficios a su salud. En este sentido, los alimentos no tradicionales derivados de las nuevas fuentes de proteína y de ácidos grasos proporcionan compuestos químicos que soportan la respuesta fisiológica de los peces ante situaciones de estrés; por ejemplo, les permite enfrentar una temperatura ambiental considerablemente diferente a la óptima, sin afectar el rendimiento de su tasa de crecimiento.

Por lo tanto, el presente trabajo realiza una revisión de aquellos estudios en los que se hayan utilizado alimentos no tradicionales con la finalidad de obtener una respuesta positiva en el rendimiento del crecimiento, y donde haya sido posible observar efectos positivos en la salud de los peces. Se concluye que los resultados no poseen ninguna diferencia significativa con los alimentos no tradicionales cuya composición en aminoácidos y ácidos grasos es similar a la de FM y FO, ya que también confieren a los peces los nutrientes que les permiten no sólo aumentar su crecimiento en términos de tasa instantánea de crecimiento y tasa específica de crecimiento, sino que también promueve su crecimiento en condiciones ambientales adversas. Los aminoácidos que resultaron favorables para el crecimiento y la salud del pez son la histidina, arginina, leucina, lisina, fenilalanina y valina.

PALABRAS CLAVE: Acuicultura, condición ambiental, desempeño del crecimiento, fuente de lípidos, fuente de proteína.

ABSTRACT

Fishmeal and fish oil are the main ingredients in traditional fish feeds, but the cost of these raw materials has increased due to the high demand generated by the aquaculture production systems supply. Therefore, it is necessary to replace fishmeal and fish oil partially or totally with new resources, with which new foods can be made and that are named non-traditional or

alternative. Alternative feeds are generally intended to increase growth performance in fish, but such diets have been found to provide health benefits as well. In this sense, non-traditional foods from new sources of protein and fatty acids provide chemical compounds that support the physiological response of fish to stress situations; that is, it allows the fish to face an environmental temperature different from optimum, while growth performance is not affected by said environmental variation. Therefore, in the present work the objective was to review those works in which non-traditional foods were used, with which they obtained a response in growth performance, and in turn a positive effect on the health of the fish. It is concluded that the results obtained lack significant difference with the non-traditional feeds that have a composition in amino acids and fatty acids similar to FM and FO, since they give the fish the nutrients that allow them not only to increase their growth in terms instantaneous growth rate or specific growth rate, but also allow growth under adverse environmental conditions. The amino acids that worked better for the growth and health of the fish are histidine, arginine, leucine, lysine, phenylalanine and valine.

KEYWORDS: Aquaculture, environmental condition, growth performance, lipid source, protein source.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción acuícola ha incrementado, lo cual se debe al aumento de la demanda de peces (y crustáceos) para consumo humano, principalmente [1]. Por esta razón las granjas productoras se ven en la necesidad de promover el crecimiento de los organismos acuáticos para que alcancen la talla comercial deseada [2], y para ello son utilizados alimentos balanceados. En la elaboración de los alimentos para peces son necesarios dos tipos de sustancias como fuente de proteína y ácidos grasos [3], éstas son la harina (fish meal, por sus siglas en inglés, FM) y el aceite (fish oil, por sus siglas en inglés, FO) obtenidos a partir del pescado [1].

El uso de FM y del FO impacta negativamente el ambiente, ya que es necesario utilizar productos del mar que podrían ser parte de las redes alimentarias en el medio acuático natural para la obtención de dichas fuentes de materia prima [4].

Además, el costo de producción de peces se encarece, debido al precio tan alto de dichos insumos [5], puesto que también son altamente valorados en los alimentos para animales terrestres y, por consecuencia, la demanda de FM y FO se incrementa aún más [6].



Los investigadores dedicados a la nutrición acuícola están desarrollando estrategias para reducir el uso de FM y FO en el alimento para peces [7]. Sus trabajos están encaminados al desarrollo de alimentos a partir de fuentes de proteína y ácidos grasos alternas a la de pescado, mejor conocidas como fuentes no tradicionales o fuentes alternativas [7].

Existe una gran diversidad de posibilidades para la obtención de proteínas y ácidos grasos, de las más prometedoras son aquellas que provienen de insectos [8] y de organismos unicelulares [9].

Los alimentos no tradicionales deben poseer en su composición aminoácidos y ácidos grasos necesarios para el crecimiento de algunos peces de interés comercial [10]. Los ácidos grasos, además de ser la principal fuente de energía, confieren al pez la capacidad de modificar la membrana de sus células [11], lo que le permitiría tolerar diferentes niveles de temperatura; mientras que los aminoácidos servirán para el crecimiento [12] y, en ocasiones, para demanda energética [13]. Por otra parte, se ha demostrado que la temperatura elevada del medio que rodea al pez acelera las reacciones químicas del metabolismo, la demanda de energía y el consumo de alimento, dando como resultado el crecimiento [14]. Pero existe un nivel de temperatura en el que el pez deja de crecer, porque la demanda de energía y el consumo del alimento ahora se dirigirán hacia la sobrevivencia y no al crecimiento [14].

De hecho, existe evidencia científica donde se demuestra que la composición de un alimento otorga a los organismos que lo consumen la capacidad de crecer a ciertos niveles de temperatura diferentes a los óptimos para su crecimiento [15],[16],[17],[18].

Sin embargo, los alimentos no tradicionales con mayor oportunidad para sustituir a FM y FO generalmente se estudian en la temperatura óptima de crecimiento para la especie en cuestión [19]. Por consecuencia, se pierde información de interés, como el saber si el alimento le podría o no otorgar a los peces la capacidad de enfrentar condiciones ambientales adversas; es decir, mantener su crecimiento aún en condiciones de temperatura por debajo o por arriba del óptimo [20].

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es revisar aquellos estudios en los que son evaluadas diferentes fuentes de proteína y ácidos grasos alternativos al FM y FO en la elaboración de alimentos para peces que fueron probados a diferentes temperaturas de cultivo, con el propósito de analizar si los resultados encontrados tuvieron efecto positivo o negativo sobre el rendimiento del crecimiento y ofrecieron beneficios a la salud de los peces en condiciones fuera del óptimo.

CRECIMIENTO Y TEMPERATURA

Unas de las medidas que utilizan los expertos en la acuicultura para reportar el crecimiento son las siguientes: tasa de crecimiento, tasa de crecimiento relativa y tasa específica de crecimiento (SGR por sus siglas en inglés), o tasa de crecimiento instantánea [21].

Cada una de estas representaciones de crecimiento son utilizadas para varios propósitos: 1) evaluación estadística del efecto de varios tratamientos sobre el crecimiento; 2) presentación de datos de crecimiento en un formato estándar que permite comparar el crecimiento entre diferentes tratamientos; y 3) provisión de las bases para el manejo de decisiones; por ejemplo, estimar el peso de los peces bajo condiciones cambiantes [21],[22].

Cada medida de crecimiento asume una relación particular entre el tiempo y el tamaño del pez, por ejemplo, lineal, exponencial o sigmoide [22].

La tasa de crecimiento instantánea (G) (1) es particularmente útil para reportar el crecimiento de peces pequeños, y se muestra en una relación de crecimiento exponencial. Por otra parte, G puede ser transformada a la tasa de crecimiento específico

$$G = [\text{Ln}(W_t) - \text{Ln}(W_i)]/t \quad (1)$$

Donde Ln (Wt) es el logaritmo natural del peso a un tiempo t, y Ln (Wi) es el logaritmo natural del peso inicial. Los acuicultores multiplican G por 100 y expresan el resultado como tasa de crecimiento específico (SGR) en %/d, la cual es válida para peces más jóvenes cultivados en periodos cortos de tiempo, pero no para periodos cultivo tan extensos, para ellos se utilizaría G (1).

Por lo tanto, el crecimiento de los peces se puede determinar mediante expresiones matemáticas como G y SGR, y a partir de dichas expresiones se obtiene el rendimiento; es decir, la proporción del peso entre el tiempo de acuerdo con los medios o tratamientos utilizados. Por esta razón, el crecimiento se expresa también como el rendimiento del crecimiento de los peces.

Por otra parte, el crecimiento de los peces es afectado por factores abióticos, como la temperatura. Los peces poseen un mecanismo de regulación corporal denominado ectotermia [23]. Si un animal ectotérmico se expone a un medio térmico uniforme, la velocidad de sus funciones dependerán de la temperatura a la que se encuentra [24]. Si la temperatura de un animal afecta tanto a la tasa metabólica como a la demanda energética, el pez consumirá más alimento, lo que resulta en el incremento de la tasa de crecimiento.

NUTRICIÓN Y PROMOCIÓN DEL RENDIMIENTO DE CRECIMIENTO

AMINOÁCIDOS

Los nutrientes del alimento son usados por los organismos acuáticos para obtener energía, construir nuevas estructuras celulares y cumplir funciones celulares, a esto se le llama metabolismo (anabolismo y catabolismo) [25]. No obstante, conforme aumenta la temperatura la tasa metabólica y el consumo de alimento seguirán incrementándose, pero la tasa de crecimiento comenzará a disminuir, ya que, aunque el organismo consuma una mayor cantidad de energía, ésta no será utilizada para el crecimiento sino para satisfacer las necesidades de un metabolismo acelerado.

Por ejemplo, en la mayoría de los estudios que relacionan la tilapia y su tolerancia a la temperatura, se sugieren el rango de temperatura óptima en los que se obtiene el máximo rendimiento del crecimiento de este pez; este rango va de 24 °C a 32 °C. Sin embargo, cuando el rendimiento del crecimiento de la tilapia (SGR) se evalúa en cada grado del rango de temperatura óptima, resulta que el mejor rendimiento se obtiene a 28 °C, ya que es cuando se alcanza el mejor crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia [26] (Tabla 1).

Las proteínas son nutrientes indispensables para la estructura y función de los peces. Estos requieren una mezcla balanceada de aminoácidos esenciales (AAE) y no esenciales (AANE) [27]. Los aminoácidos (AA) son precursores de muchas vías para síntesis de componentes biológicos, formando proteínas que pueden usarse como sustratos para energía [14]. La deficiencia de uno o más AA altera la síntesis de proteínas y por lo tanto el crecimiento [28].

La temperatura es un factor estresante para los peces y, bajo esta situación, se incrementa el requerimiento de los aminoácidos, lo cual podría estar relacionado con la síntesis o degradación de proteínas y otros compuestos referentes a la respuesta al estrés [29]. Ya se ha revisado el rol de ciertos aminoácidos y sus metabolitos sobre las rutas metabólicas que son necesarias para crecimiento [30] y resistencia a estresores ambientales en peces [31]; a continuación se describen algunos.

Los aminoácidos de cadena ramificada —la leucina, isoleucina y valina— juegan un papel importante en la regulación de síntesis de proteínas en el músculo esquelético [32]. La leucina activa directamente la proteína mTOR en músculo esquelético y estimula la fosforilación de p70S6 y 4E-BP1 para señalar la traducción y la síntesis de proteína [33].

Se ha observado que disminuyen los niveles de los aminoácidos de cadena ramificada en el plasma sanguíneo de los peces [34], resultando de importancia su inclusión en el alimento para mitigar los efectos negativos del estrés.

En el salmón, los aminoácidos de cadena ramificada se vincularon al mantenimiento de la masa corporal que presentó durante el ejercicio forzado [35], un grupo de ciprínido (*Magalobrama amblycephala*) fue alimentado con una dieta alta en leucina, y mostró una tasa específica de crecimiento más acelerado (SGR: 2.68 %/día) que el grupo con la dieta más baja en concentración de leucina (2.31 %/día). El experimento se hizo entre 28 y 30 °C [36].

Se ha observado que el triptófano exógeno disminuye el canibalismo, incrementa la supervivencia y mejora el crecimiento en varias especies [37], varios grupos de trucha arcoíris fueron alimentados con diferentes niveles de triptófano para saber cuál tendría mayor efecto sobre el crecimiento; el grupo que consumió mayor cantidad obtuvo un crecimiento específico de 1.60 %/día, con un peso de 53.02 g a 15°C, fue el tra-

Tabla 1. Efecto de la temperatura del agua sobre el rendimiento del crecimiento, tasa de conversión alimenticia, supervivencia de la tilapia [26].

T (°C)	IW*	FWX	% GANADO	SGR*	FCR*	SUPERVIVENCIA (%)
24	0.023	0.55±0.01 ^a	2306±75 ^a	6.36±0.06 ^a	3.18±0.11 ^a	83±0.67 ^a
26	0.023	0.87±0.11 ^b	3682±63 ^b	7.26±0.18 ^b	2.66±0.16 ^b	88±5.33 ^a
28	0.023	1.16±0.17 ^c	4944±74 ^c	7.80±0.29 ^c	2.52±0.06 ^b	84±2.89 ^a
30	0.023	0.81±0.03 ^b	3422±133 ^b	7.12±0.08 ^b	2.76±0.05 ^b	83±1.77 ^a
32	0.023	0.68±0.04 ^a	2842±178 ^a	6.75±0.10 ^a	3.35±0.09 ^a	74±5.04 ^b

Los valores en la misma columna con diferente superíndice son diferencias significativas (P < 0.005)

- *IW (*Inicial Weight* por sus siglas en inglés IW) peso inicial
- xFW (*Final Weight* por sus siglas en inglés FW) peso final
- *Peso inicial promedio (g fish⁻¹)
- xPeso final promedio (g fish⁻¹)
- SGR (*Specific growth ratio* por sus siglas en inglés) tasa de crecimiento específico (expresado en % día⁻¹)
- FCR (*Feed convertio ratio* por sus siglas en inglés FCR) g de alimento seco consumido/g de peso húmedo ganado



tamiento con mayor crecimiento de las 6 harinas estudiadas [38].

La histidina es un aminoácido esencial para la síntesis de las células del ojo; de hecho, es el aminoácido que reduce la incidencia de cataratas en los salmones [39], y se ha descubierto que mientras mayor es la concentración de histidina en el alimento, menor probabilidad hay de que los peces padezcan cataratas [40]. Durante los primeros 24 días del desarrollo, los salmones no estériles alimentados con histidina en bajas y altas concentraciones tuvieron una tasa de crecimiento específico mayor (0.89 ± 0.04 y 0.94 ± 0.03 a 16°C) en comparación con aquellos no estériles y alimentados con histidina en bajas y altas concentraciones (0.70 ± 0.04 10°C) [41].

La tirosina es un precursor común para hormonas y neurotransmisores, es relacionada con el consumo de alimento, el crecimiento y la supervivencia del pez [31]. Se sabe que la tirosina se encuentra en niveles altos en plasma sanguíneo de la tilapia cuando está en estrés agudo [42], la tirosina es sintetizada a partir de la fenilalanina, y se ha visto que, en una dieta con una proporción baja en fenilalanina y alta en tirosina, el crecimiento se ve afectado en comparación con una dieta en la que la fenilalanina es mayor que la tirosina, (fen:tir 30:70 23.5 g, 70:30 37:7 g a 27°C) [43].

[44] realizaron un experimento para determinar los requerimientos de lisina para el crecimiento rápido del salmón, por lo que fue alimentado con dietas con concentración gradual de lisina (2.85 a 9 g de Lisina), estos alimentos no afectaron el crecimiento, pero la acreción proteica (formación de tejido muscular) sugiere un suministro de lisina de 5.04 g por 16 de nitrógeno [45]. La lisina no solo afecta la tasa de deposición proteica en el cuerpo de la trucha, sino que también la concentración de aminoácidos que se utiliza para la proteína del cuerpo, lo que indica que los peces pueden depositar diferentes tipos de proteínas con diferentes perfiles de aminoácidos en el alimento, pero dependerán de la concentración de lisina [46]; además, la lisina es el principal componente del tejido conectivo [46].

La arginina es un aminoácido esencial en los peces, y puede sintetizarse a partir de glutamato en bagres de canal (*Ictalurus punctatus*) [47], ya que la suplementación de arginina en el alimento provoca el incremento de citrulina, glutamato y glutamina en el plasma sanguíneo, mientras que la suplementación de glutamato reduce la necesidad de arginina [48]. La arginina potencializa la ganancia en peso diaria, la ingesta, la síntesis de proteína en músculo, y es un aminoácido dedicado a soportar el crecimiento rápido. En el salmón atlántico se observó cómo aumentó el crecimiento con la suplementación de glutamato en el alimento

[49]. [48] registraron que el incremento de arginina en el alimento mejoraba la ganancia en peso y la eficiencia proteica. La mayor cantidad de arginina en 4 % alcanzó una ganancia en peso de 134.5 %, mientras que con la menor concentración de arginina sólo se logró el 51% de ganancia en peso con respecto a la inicial [48].

En la fase de agua salada, el salmón Atlántico sufre condiciones ambientales variables que afectan la fisiología y metabolismo del pez [41]. Por esta razón se evaluó la suplementación en la alimentación para ayudar a aumentar la tasa de crecimiento en estos periodos tan particulares [49]. La suplementación de arginina y el glutamato en las dietas aumentaron significativamente la tasa de ingesta y el crecimiento en condiciones invernales, alcanzado un incremento en peso de 1.39 ± 0.05 %/día en comparación con el obtenido en verano, que fue menor 0.91 %/día [49].

La metionina es un aminoácido esencial y puede usarse para sintetizar cisteína [50]. La metionina está involucrada en la síntesis de proteína [44]. El salmón Atlántico en etapa juvenil alimentado con baja cantidad de metionina obtuvo menor ganancia en peso en comparación con salmones en los que el crecimiento no se afectó debido a la ingesta de metionina [51]. En la trucha arcoíris se observó que la deficiencia de metionina afectó la síntesis de proteína a través de la desactivación de las cascadas de señalización de mTOR [52]. De forma contraria, la suplementación de metionina en la alimentación de juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) no tuvo efecto en la conversión a proteína [13].

LÍPIDOS O ÁCIDOS GRASOS

Los ácidos grasos esenciales se definen como aquellos que los animales deben obtener a través de la ingestión porque son incapaces de producirlos por sí solos. Por esta razón deben proveerse a través de la alimentación; de lo contrario, si existe una deficiencia de ácidos grasos, los efectos serían negativos, por ejemplo, la reducción del crecimiento [53].

Los peces de interés comercial tienen diferentes requerimientos de ácidos grasos esenciales, pero en general los peces de agua salada son incapaces de sintetizar ácidos grasos de cadena muy larga (*very long chain polyunsaturated fatty acids*, VLCPUFAS, por sus siglas en inglés), tales como el ácido araquidónico (20:4n-6, ARA), ácido eicosapentanoico (20:5n-3, EPA) y el ácido docosahexaenoico (22:6n-3DHA) [54].

En contraste, los peces de agua dulce generalmente son capaces de sintetizar VLCPUFAS, pero lo hacen a partir del ácido linoleico (18:2n-6, LA) o ácido linolénico (18:3n-3, LNA) [55]. En estudios con alimentos que con-

tienen gran cantidad de LA proveniente del aceite de soya, se ha generado mayor crecimiento ($3.8 \pm 0.2\%$ /día con un peso final de 14.8 ± 1.5 g) de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) comparada con tilapia alimentada únicamente con aceite de pescado ($3.7 \pm 0.2\%$ /día con un peso final 14.5 ± 1.4 g) [56].

Por otra parte, los ácidos desarrollan la función estructural a través de la membrana celular, ya que las deficiencias de ácidos grasos esenciales producen fragilidad en las membranas celulares [14] [57]. La fluidez de la membrana y el grado de insaturación de los ácidos grasos están en relación, ya que el aumento de la insaturación implica mayor fluidez en la membrana, lo cual está vinculado con la adaptación homeoviscosa, la causa por la cual los animales poiquiloterms, como los peces, se adaptan a los cambios de la temperatura [14].

ALIMENTACIÓN NO TRADICIONAL EN LOS PECES BAJO DIFERENTE CONDICIÓN DE TEMPERATURA

La incorporación de ingredientes a partir de fuentes vegetales en los alimentos para peces es una práctica usada debido a la gran abundancia y bajo costo en comparación con FM. No obstante, existe otra amplia variedad de componentes que no son de origen vegetal, los cuales tienen un importante potencial para ser considerados en la composición de alimentos para peces; entre ellos resaltan fuentes no tradicionales que incluyen insectos, sangre, piel, subproductos de la producción de aves, y microorganismos como levaduras y microalgas.

Cada uno de los recursos no tradicionales poseen en su composición AAE que les confieren a los peces la capacidad de mantener el rendimiento de crecimiento, pero al mismo tiempo les permite enfrentar condiciones ambientales en niveles que pueden considerarse agentes estresantes. Uno de ellos es la temperatura, la cual afecta tanto el crecimiento como la salud del pez.

En la tabla 2 se muestran los artículos en los que se describe el efecto de alimentos sobre el crecimiento de los peces bajo condiciones de temperatura diferentes a la óptima, y en dichos alimentos se reemplaza parcial o totalmente FM y FO con alguna fuente no tradicional, o el alimento es suplementado con aminoácidos o ácidos grasos. Los trabajos obtienen como resultado que los compuestos de los alimentos alternativos o novedosos confieren a los peces los nutrientes que les permiten no sólo aumentar su crecimiento [41] en términos de tasa instantánea de crecimiento (G) o la tasa específica de crecimiento (SGR), sino también crecer en condiciones ambientales adversas.

Tabla 2. Estudios enfocados a la evaluación del alimento a diferentes temperaturas

ESPECIE	FUENTE DE ALIMENTO	TEMPERATURA	REFERENCIA
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bioimin AquaStar Growout	17, 20 y 23 °C	Cross effects of dietary probiotic supplementation and rearing temperature on growth performance, digestive enzyme activities, cumulative mortality, and innate immune response in seabass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) [59]
<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Bacillus</i> sp <i>Enterococcus</i> sp <i>Pediococcus</i> sp	17, 20 y 23 °C	Cross effects of dietary probiotic supplementation and rearing temperature on antioxidant responses in European seabass (<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)) juveniles [60]
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Musca domestica</i>	26°C	A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (<i>Musca domestica</i>) maggot meal in the diet of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>): growth performance, flesh quality, innate immunity, and water environment [61]
<i>Oreochromis niloticus</i>	Aceite de linaza, girasol, oliva y cacahuete	22 y 28 °C	Dietary lipid sources affect the performance of Nile tilapia at optimal and cold, suboptimal temperatures [62]
<i>Apostichopus japonicus</i>	Niveles de carbohidratos	30 °C	Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, non specific immune enzymes and acute response to low salinity and high temperature of juvenile sea cucumber (<i>Apostichopus japonicus</i>) [63]
<i>Carpa común</i>	Maíz procesado	20 y 30 °C	Effect of temperature on digestibility, growth performance and nutrient utilization of corn distiller's dried grains with soluble (DDGS) in Common carp juveniles [64]



ESPECIE	FUENTE DE ALIMENTO	TEMPERATURA	REFERENCIA
<i>Apostichopus japonicus</i>	Niveles de carbohidratos	30 °C	Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, non specific immune enzymes and acute response to low salinity and high temperature of juvenile sea cucumber (<i>Apostichopus japonicus</i>) [63]
Carpa común	Maíz procesado	20 y 30 °C	Effect of temperature on digestibility, growth performance and nutrient utilization of corn distiller's dried grains with soluble (DDGS) in Common carp juveniles [64]

ESPECIE	FUENTE DE ALIMENTO	TEMPERATURA	REFERENCIA
<i>Siniperca chuatsi Ctenopharyngodon idellus</i>	Dieta experimental	19, 24 y 29 °C	Ammonia nitrogen excretion in Mandarin Fish (<i>Siniperca chuatsi</i>) and Grass Carp (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>) fed practical diets: the effects of water temperature [65]
<i>Tinca tinca</i> (L.)	Larva de Chironomidae	20, 23 y 26 °C	Diet and water temperature affect growth and body deformities in juvenile tench (<i>Tinca tinca</i> L.) reared under controlled conditions [66]
<i>Acipenser oxyrinchus Mitchill, 1815</i>	Artemia enriquecida con omega-3		Influence of temperature and (Artemia) enriched with 3 PUFAS on the early ontogenesis of Atlantic sturgeon (<i>Acipenser oxyrinchus Mitchill, 1815</i>) [67]
<i>Panopea zelandica</i>	Tisochrysis lutea Chaetoceros muelleri	7.5, 11.5 y 16.5 °C	Biochemical composition of New Zealand geoduck clam broodstock (<i>Panopea zelandica</i>) conditioned under different temperature and feeding regimes [68]

ESPECIE	FUENTE DE ALIMENTO	TEMPERATURA	REFERENCIA
<i>Oreochromis niloticus</i>	PUFA'S Proporción n-3/n-6	22 y 28 °C	Dietary ratios of n3/n6 fatty acids do not affect growth of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) at optimal temperatures (28 °C) nor at temperatures that simulate the onset of winter (22 °C) [69]
<i>Acipenser baerii</i>	No fed	16,19 y 22 °C	Effect of temperature on fatty acid composition and development of unfed Siberian sturgeon (<i>Acipenser baerii</i>) larvae [70]
<i>Dosinia ponderosa</i>	Microalgae	20, 25 y 30 °C	Gonadic conditioning and maturation of the queen conch (<i>Dosinia ponderosa</i>) fed three microalgae at three temperatures [71]
<i>Scophthalmus macimus</i>	Fructooligosacáridos	15 y 20 °C	Effects of rearing temperature and dietary short&chain fructooligosaccharides supplementation on allochthonous gut microbiota, digestive enzymes activities and intestine health of turbot (<i>Scophthalmus maximus</i> L.) juveniles [72]

MICROORGANISMOS

LEVADURAS

Algunos estudios con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) describen que cerca de un 40 % de FM puede ser reemplazado sin tener efectos negativos en el rendimiento del crecimiento de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) [73]. En salmón atlántico (*Salmo salar*) no hubo diferencia significativa para SGR 1.36 ± 0.03 y 1.32 ± 0.01 % g día⁻¹ al comparar el alimento FM con levadura *Candida utilis*, aunque la temperatura se mantuvo en un rango de 8.8 °C a 14.5 °C [74]. Trucha alpina (*Salvelinus alpinus*) se alimentó con levadura *Saccharomyces cerevisiae* a 7.1 ± 1.8 °C y no hubo diferencia estadística en SGR con 1.08 y 1.02 % g día⁻¹ respectivamente en comparación con una dieta de referencia [75].

La trucha arcoíris y algunos salmones se cultivan en estanques o jaulas, donde son vulnerables al incremento de la temperatura del agua a causa de las estaciones y el cambio climático; es decir, a temperaturas arriba de la óptima para crecimiento (> 17 °C), lo que

puede inducir estrés y reducir el crecimiento [58]. Por esta razón, se evaluaron dos alimentos en la trucha arcoíris con reemplazo del 40 % de FM con levadura viva *Saccharomyces cerevisiae*, con tratamientos bajo dos temperaturas 11 °C y 18 °C. Al comparar ambos experimentos, no se encontró diferencia significativa para la SGR 0.91 ± 0.10 y 1.16 ± 0.10 % g día⁻¹ para 11°C y 1.07 ± 0.03 y 1.18 ± 0.03 % g día⁻¹ para 18°C. Por otra parte, la levadura viva consumida por los peces cultivados a temperatura por encima de la óptima puede poner en peligro su vida, ya que induce la pérdida de bacterias benéficas en el intestino [58].

Las fuentes de proteína como las levaduras *Candida utilis* y *Saccharomyces cerevisiae* han mostrado que contienen AAE en concentración similar a FM en su composición química. Por ejemplo, la levadura *Candida utilis* posee a la histidina y arginina en la misma concentración que FM, mientras que leucina, lisina, fenilalanina, treonina, valina y triptófano se encuentran en mayor cantidad [74]. La levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en cuanto a los AAE, contiene en misma cantidad histidina, y en mayor cantidad isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina y valina, dichos aminoácidos son comparados con el alimento de referencia utilizado en el experimento [73]. Los AAE mencionados en dichas fuentes de proteína están involucrados en el mejoramiento del rendimiento del crecimiento. Cabe mencionar que el salmón creció igual con FM que con la levadura *Candida utilis* en un gradiente de temperatura decreciente a lo largo del tiempo.

MICROALGAS

Las microalgas tienen gran potencial como ingrediente en alimentos para la acuicultura; ellas han mostrado un perfil nutricional similar a FM. Entre las especies de microalga con interés para la acuicultura se encuentran *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Spirulina sp.*, *Dunaliella sp.*, *Nannochloropsis sp.* En revisiones anteriores de las 7 principales clases de microalga se ha visto que no existe variación en la composición de aminoácidos [76], lo mismo sucede con la composición de lípidos, que incluye ácidos grasos poliinsaturados, ácido eicosapentanoico y ácido graso docosahexaenoico [76].

Por su parte, los estudios con microalgas han mostrado efectos positivos en el crecimiento, supervivencia, pigmentación y respuesta inmune en peces y crustáceos. El grupo de microalga *Nannochloropsis sp.* son organismos con alto potencial para la preparación de alimentos para la acuicultura [77] que ha mostrado ser un buen sustituto de harina de pez para mejorar el alimento, ya que con 2.5 % a 10 % se pueden obtener resultados positivos en el crecimiento y supervivencia

de los peces [78].

La tilapia macho en etapa juvenil alimentada con microalga *Nannochloropsis salina* (35 % proteína) a 27 °C alcanzó un peso de 39.8 g en 36 días [9]. Al reemplazar el 33 % de harina de pescado por microalga *Nannochloropsis oculata* en la tilapia a 27.7 °C, se observó un crecimiento de 28.6 g en 84 días [79].

INSECTOS

Los insectos son parte de la dieta natural de peces marinos y de agua dulce; además, dentro de los organismos que son aptos para consumo, son posibles alternativas de fuente de macronutrientes y micronutrientes [5] de gran importancia. Uno de los insectos con mayor potencial es la mosca soldado (*Hermetia illucens*), de la cual se pueden aprovechar dos etapas de su desarrollo, la forma larval y la adulta [80].

Estudios hechos por [80] utilizaron a la mosca soldado como sustituto de la harina de pescado en el salmón atlántico, y obtuvieron un incremento en la eficiencia de conversión de alimentos en dietas de 25, 50 y 100 % de mosca soldado (*Hermetia illucens*) y ninguna diferencia entre los grupos de dietas de 25, 50 y 100 % en las pruebas sensoriales de los filetes [80]. Para la trucha arcoíris, el alimento con 50 % de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) mostró menor ganancia en peso en los peces alimentados con harina de pescado que aquellos alimentados con insecto como sustituto de la harina de pescado. Tampoco hubo diferencia significativa entre las dietas con fuente de insecto, con harina de pescado y la dieta control para los parámetros de ganancia de peso, tasa de conversión de alimentos, lo que se traduce en la alternativa de un alimento de bajo costo y que cumple los requisitos nutricionales para el crecimiento normal [81]. El bagre amarillo fue alimentado con el 25 % de larva de mosca soldado, y no hubo diferencia significativa en el índice de crecimiento y de inmunidad cuando se comparó con el grupo control con dieta sin ninguna fuente nutricional de insecto [80].

Los trabajos realizados con alimentos a base de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) han reportado que la tilapia con un nivel de proteína del 50 % alcanzó la mayor ganancia en peso de 8.74, con una tasa de crecimiento específica de 2.43 % [19]; sin embargo, no se mencionan las condiciones de cultivo de la prueba. En comparación con el alimento a base de otros animales, como la lombriz (*Eisenia foetida*) y el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), en alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en condiciones de 27 °C y 5.42 mg/l de oxígeno disuelto, para el día 60 alcanzaron un peso de 11 g con una tasa de crecimiento específica de



1.25, pero encontraron exceso de lisina [82].

PERSPECTIVAS Y CONCLUSIONES

De acuerdo con la información revisada a lo largo del trabajo, tanto la larva de mosca soldado como la microalga ofrecen los nutrientes que conferirán a los organismos acuáticos la capacidad de acelerar su tasa de crecimiento en condiciones óptimas de temperatura y soportar temperaturas diferentes a la de preferencia.

Pero los esfuerzos aún son muy pocos y aislados; escasos son los trabajos en los que se han realizado pruebas para conocer los indicadores productivos con alimentos en los que se ha reemplazado parcial o totalmente el FM y FO, y muestran la posibilidad de crecer en condiciones ambientales adversas.

Conocer cómo se comportan los valores de los indicadores productivos de los peces alimentados con microalga y larva de mosca soldado permitirá ampliar su uso, no sólo para sistemas productivos intensivos, sino que también en los extensivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo durante toda esta investigación, de la misma manera al Laboratorio de Bioingeniería Campus Amazcala y Laboratorio de Bioingeniería Acuícola Campus Concá pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

REFERENCIAS

- [1] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture*, vol. 367. Rome, Italy, 2018.
- [2] A. Flores, "Contexto, perspectivas y retos para incrementar la contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y nutricional y las economías territoriales en América Latina y el Caribe". - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Lati. Santiago de Chile, 2019.
- [3] A.R. Hodar y R. Vasava, "Fish meal and fish oil replacement for aquafeed formulation by using alternative souces: A review", *Journal of Experimental Zoology India*, vol. 23, núm. 1, pp. 13–21, 2020.
- [4] M.A. O. Dawood y K. Shunsuke, "Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture", *Aquaculture*, pp. 1–16, 2019.
- [5] F.G. Barroso, C. de Haro, M. J. Sánchez-Muros, E. Venegas, A. Martínez-Sánchez, y C. Pérez-Bañón, "The potential of various insect species for use as food

for fish", *Aquaculture*, vol. 422–423, pp. 193–201, 2014.

[6] K.R. Salin, V.V. Arun, C.M. Nair, y J.H. Tidwell, *Sustainable Aquaculture*. Springer Int. Publishing, 2018.

[7] G. M. Turchini, J.T. Trushenski, y B.D. Glen-cross, "Thoughts for the Future of Aquaculture Nutrition: Realigning Perspectives to Reflect Contemporary Issues Related to Judicious Use of Marine Resources in Aquafeeds", *North American Journal of Aquaculture*, vol. 81, núm. 1, pp. 13–39, 2019.

[8] V. C. Cummins Jr, S.D. Rawles, K.R. Thompson, A. Velasquez, Y. Kobayashi, J. Hager, C.D. Webster, "Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)", *Aquaculture*, vol. 473, pp. 337–344, 2017.

[9] I. Lupatsch y O.K. Gbadamosi, "Evaluating *Nannochloropsis*-based feeds for tilapia", *Global Aquaculture Advocate*, 2018.

[10] E. Devic, W. Leschen, F. Murray, y D.C. Little, "Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal", *Aquaculture Nutrition*, vol. 24, núm. 1, pp. 416–423, 2017.

[11] S.R. Shaikh, J. J. Kinnun, X. Leng, J.A. Williams, y S.R. Wassall, "How polyunsaturated fatty acids modify molecular organization in membranes: Insight from NMR studies of model systems", *Biochimica et Biophysica Acta*, vol. 1848, núm. 1, pp. 211–219, ene. 2015.

[12] B. Sadoul y M. Mathilakath, "Stress and Growth", en *Biology of stress in fish*, vol. 35, Elsevier Inc., 2016, pp. 167–205.

[13] I. Seilliez, J.C. Garillard, M. Ríflade, B. Sadoul, K. Dias, J. Avérous, "Amino acids downregulate the expression of several autophagy-related genes in rainbow trout myoblasts", *Autophagy*, vol. 8, núm. 3, pp. 364–375, mar. 2012.

[14] D. Montero y M.S. Izquierdo, "Efecto de los Lípidos Dietéticos en la Salud y Resistencia al Estrés", *Nutrición Acuícola UANL* p. 282–297, 2000.

[15] K.T. Stiller, K.H. Vanselow, D. Moran, G. Riesen, W. Koppe, C. Dietz, C. Schulz, "The effect of diet, temperature and intermittent low oxygen on the metabolism of rainbow trout", *The British Journal of Nutrition*, vol. 117, núm. 6, pp. 784–795, 2017.

[16] T.S. Aas, B.F. Terjesen, T. Sigholt, M. Hillestad, J. Holm, S. Refstie, G. Baevefjord, K.A. Rorvik, M. Sorensen, M. Oehme, T. Asgard, "Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions", *Aquaculture Nutrition*, vol. 17, núm. 6, pp. 657–670, 2011.

[17] G.A. Peña Herrejón, J. Sanchez Velazquez, H.

Aguirre Becerra, y F. García Trejo, "Thermal feasibility of tilapia production under greenhouse conditions in a semi-desert region of Mexico", 2016 12th Congreso Internacional de Ingeniería CONIIN 2016, pp. 1–5, 2016.

[18] M. Herrera, J.M. Mancera, y B. Costas, "The use of dietary additives in fish stress mitigation: Comparative endocrine and physiological responses", *Frontiers in Endocrinology*, vol. 10, núm. , pp. 1–22, 2019.

[19] H. Muin, N. M. Taufek, M.S. Kamarudin, y S.A. Razak, "Growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Linnaeus, 1758) maggot meal diet", *Iranian Journal of Fisheries Science*, vol. 16, núm. 2, pp. 567–577, 2017.

[20] A.M. El Asely, R.M. Reda, A.S. Salah, M.A. Mahmoud, y M.A.O. Dawood, "Overall performances of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) associated with using vegetable oil sources under suboptimal temperature", *Aquaculture Nutrition*, vol. 26, núm. 4, pp. 1154–1163, ago. 2020.

[21] K.D. Hopkins, "Reporting Fish Growth: A Review of the Basics", *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 23, núm. 3, pp. 173–179, 1992.

[22] V. Lugert, G. Thaller, J. Tetens, C. Schulz, y J. Krieter, "A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application", *Reviews in Aquaculture*, vol. 8, núm. 1, pp. 30–42, mar. 2016.

[23] E. Larios Soriano, "Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada , Baja California Maestría en Ciencias de la Vida con orientación en Biomedicina y Biotecnología Metástasis en hueso e inmunoterapia", CICESE, 2018.

[24] M.L. Fanjul, "Temperatura", en *Biología funcional de los animales*, M. L. Fanjul, M. Hiriart, y F. Fernández de Miguel, Eds. México: Siglo XXI editores, 1998, pp. 440–471.

[25] M. Martínez Porchas, M.C.L. Rafael, y R. Ramos-Enríquez, "Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos", *Rev. Elec. Vet.*, vol. 10, núm. 10, pp. 1–16, 2009.

[26] A.F.M. El-Sayed y M. Kawanna, "Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system", *Aquaculture Research*, vol. 39, núm. 6, pp. 670–672, abr. 2008.

[27] A. Ibarz, J. Blanco, y J. Fernández, "Bases metabólicas de la nutrición.", en *Piscicultura marina en Latinoamérica*, Barcelona: Universitat de Barcelona, 2011, pp. 96–111.

[28] L. Conceição, R. Ozorio, E. Surud, y J. Verreth, "Amino acids profiles and amino acid utilization in larval African catfish (*Clarias gariepinus*): effects of

ontogeny and temperature", *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 19, pp. 43–57, 1998.

[29] L. Conceição, C. Aragão, J. Dias, B. Costas, G. Terova, y C. Martins, "Dietary nitrogen and fish welfare", *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 38, pp. 119–141, 2012.

[30] S. Hoseini, A. Perez, B. Costas, R. Azeredo, y M. Gesto, "Physiological roles of tryptophan in teleosts: current knowledge and perspectives for future studies", *Review Aquaculture*, vol. 11, pp. 3–24, 2019.

[31] P. Li, K. Mai, J. Trushenski, y G. Wu, "New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds" *Amino Acids*, pp. 43–53, 2009.

[32] F. Yoshizawa, "Regulation of protein synthesis by branched-chain amino acids in vivo.", *Biochemical Biophysical Research Communications*, vol. 313, pp. 417–422, 2004.

[33] R. Manders, J. Little, S. Forbes, y D. Candow, "Insulinotropic and Muscle Protein Synthetic Effects of Branched-Chain Amino Acids: Potential Therapy for Type 2 Diabetes and Sarcopenia", *Nutrients*, vol. 4, núm. 11, pp. 1664–1678, nov. 2012.

[34] B. Costas, C. Aragão, J. M. Mancera, M. T. Dinis, y L. E. C. Conceição, "High stocking density induces crowding stress and affects amino acid metabolism in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) (Kaup 1858) juveniles", *Aquaculture Research*, vol. 39, núm. 1, pp. 1–9, dic. 2007.

[35] B. Grisdale-Helland, H. Takle, y S. J. Helland, "Aerobic exercise increases the utilization efficiency of energy and protein for growth in Atlantic salmon post-smolts", *Aquaculture*, vol. 406–407, pp. 43–51, ago. 2013.

[36] M. Ren, H.M. Michael, H. Tsion, B. Liu, L. Miao, X. Ge, J. Xie, H. Liang, Q. Zhou, L. Pan, "Dietary leucine level affects growth performance, whole body composition, plasma parameters and relative expression of TOR and TNF- in juvenile blunt snout bream, (*Megalobrama amblycephala*)", *Aquaculture*, vol. 448, pp. 162–168, nov. 2015.

[37] J. Hseu, F. Lu, H. Su, L. Wang, C. Tsai, y P. Hwang, "Effect of exogenous tryptophan on cannibalism, survival and growth in juvenil gruper, (*Epinephelus coioides*).", *Aquaculture*, vol. 218, pp. 251–263, 2003.

[38] M. J. Walton, R. M. Coloso, C. B. Cowey, J. W. Adron, y D. Knox, "The effects of dietary tryptophan levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*)", *British Journal of Nutrition*, vol. 51, núm. 02, p. 279, 1984.

[39] O. Breck, E. Bjerkas, J. Sanderson, R. Waagbo, y P. Campbell, "Dietary histidine affects lens protein turnover and synthesis of N-acetylhistidine in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) undergoing parr-smolt trans-



formation", *Aquaculture Nutrition*, vol. 11, núm. 5, pp. 321–332, oct. 2005.

[40] R. Waagbo, C. Tröbe, W. Koppe, R. Fontanillas, y O. Breck, "Dietary histidine supplementation prevents cataract development in adult Atlantic salmon, (*Salmo salar* L.), in seawater", *British Journal of Nutrition*, vol. 104, núm. 10, pp. 1460–1470, nov. 2010.

[41] F. Sambras, P.G. Fjellidal, S.C. Remo, E.M. Hevroy, T.O. Nilsen, A. Thorsen, T.J. Hansen, R. Waagbo, "Water temperature and dietary histidine affect cataract formation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diploid and triploid yearling smolt", *Journal of Fish Diseases*, vol. 40, núm. 9, pp. 1195–1212, sep. 2017.

[42] M.M. Vijayan, C. Pereira, E.G. Grau, y G.K. Iwama, "Metabolic Responses Associated with Confinement Stress in Tilapia: The Role of Cortisol", *Comparative Biochemistry Physiology Part C Pharmacology Toxicology Endocrinology*, vol. 116, núm. 1, pp. 89–95, ene. 1997.

[43] S. Castillo, S. Halligan, y D. M. Gatlin, "Growth Responses of Juvenile Red Drum *Sciaenops ocellatus* to Dietary Phenylalanine and Tyrosine Can Be Used to Calculate the Total Aromatic Amino Acid Requirement", *Journal of Nutrition*, vol. 145, núm. 10, pp. 2341–2346, oct. 2015.

[44] M. Espe, E. Veiseth-Kent, J.-E. Zerrahn, I. Ronnestad, y A. Aksnes, "Juvenile Atlantic salmon decrease white trunk muscle IGF-1 expression and reduce muscle and plasma free sulphur amino acids when methionine availability is low while liver sulphur metabolites mostly is unaffected by treatment", *Aquaculture Nutrition*, vol. 22, núm. 4, pp. 801–812, ago. 2016.

[45] M. Espe, A. Lemme, A. Petri, y A. El-Mowafi, "Assessment of lysine requirement for maximal protein accretion in Atlantic salmon using plant protein diets", *Aquaculture*, vol. 263, núm. 1–4, pp. 168–178, mar. 2007.

[46] P. Encarnação, C. de Lange, M. Rodehutscord, D. Hoehler, W. Bureau, y D. P. Bureau, "Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth", *Aquaculture*, vol. 235, núm. 1–4, pp. 569–586, jun. 2004.

[47] J.A. Buentello y D.M. Gatlin, "The dietary arginine requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) is influenced by endogenous synthesis of arginine from glutamic acid", *Aquaculture*, vol. 188, núm. 3–4, pp. 311–321, sep. 2000.

[48] C. Pohlenz, A. Buentello, S. le J Helland, y D. M. Gatlin, "Effects of dietary arginine supplementation on growth, protein optimization and innate immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) (Rafinesque 1818)", *Aquaculture Research*, vol. 45, núm. 3, pp. 491–500, feb. 2014.

[49] M. Oehme, F. Grammes, H. Takle, J.L. Zambonino, S. Refstie, M.S Thomassen, K.A. Rovik, B.F. Terjesen, "Dietary supplementation of glutamate and arginine to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) increases growth during the first autumn in sea", *Aquaculture*, vol. 310, núm. 1–2, pp. 156–163, dic. 2010.

[50] M. Espe, S.M. Andersen, E. Holen, I. Ronnestad, E.V. Kent, J.E. Zerrahn, A. Aksnes, "Methionine deficiency does not increase polyamine turnover through depletion of hepatic S-adenosylmethionine in juvenile Atlantic salmon", *British Journal of Nutrition*, vol. 112, núm. 8, pp. 1274–1285, oct. 2014.

[51] M. Espe, E.M. Hevroy, B. Liaset, A. Lemme, y A. El-Mowafi, "Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*", *Aquaculture*, vol. 274, núm. 1, pp. 132–141, ene. 2008.

[52] I. Belghit, S. Skiba-Cassy, I. Geurden, K. Dias, A. Surget, S. Kaushik, S. Panserat, I. Seiliez, "Dietary methionine availability affects the main factors involved in muscle protein turnover in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *British Journal of Nutrition*, vol. 112, núm. 4, pp. 493–503, ago. 2014.

[53] B.D. Glencross, "Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species", *Review Aquaculture*, vol. 1, núm. 2, pp. 71–124, jun. 2009.

[54] D.R. Tocher, "Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish", *Aquaculture Research*, vol. 41, núm. 5, pp. 717–732, abr. 2010.

[55] B. Glencross y N. Rutherford, "Dietary strategies to improve the growth and feed utilization of barramundi, *Lates calcarifer* under high water temperature conditions", *Aquaculture Nutrition*, vol. 16, núm. 4, pp. 343–350, jun. 2009.

[56] B. Mulligan y J. Trushenski, "Use of Standard or Modified Plant-Derived Lipids as Alternatives to Fish Oil in Feeds for Juvenile Nile Tilapia", *Journal of Aquatic Food Product Technology*, vol. 22, núm. 1, pp. 47–57, ene. 2013.

[57] M. Gurr y J. Harwood, *Lipid Biochemistry. An introduction*, 4a ed., Londres: Chapman & Hall.

[58] D. Huyben, L. Sun, R. Moccia, A. Kiessling, J. Dicksved, y T. Lundh, "Dietary live yeast and increased water temperature influence the gut microbiota of rainbow trout", *Journal of Applied Microbiology*, vol. 124, núm. 6, pp. 1377–1392, jun. 2018.

[59] L. F. Pereira, M.J. Peixoto, P. Carvalho, K. Sansuwan, G.A. Santos, J.F.M. Gonzalez, R.O.A. Ozório, "Cross-effects of dietary probiotic supplementation and rearing temperature on growth performance, digestive enzyme activities, cumulative mortality and innate immune response in seabass (*Dicentrarchus labrax*)", *Aquaculture Nutrition*, vol. 24, núm. 1, pp. 453–460, feb. 2018.

- [60] L.F. Pereira J.F. M. Gonzalves M.J. Peixoto A. Domingues S. B. Fonseca F. A. Magalhães G. A. Santos R. O. A. Ozorio, "Cross-effects of dietary probiotic supplementation and rearing temperature on antioxidant responses in European seabass (*Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)) juveniles", *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 33, núm. 3, pp. 377–385, jun. 2017.
- [61] L. Wang, J. Li, J. N. Jin, F. Zhu, M. Roffeis, y X. Z. Zhang, "A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment", *Aquaculture Nutrition*, vol. 23, núm. 5, pp. 983–993, oct. 2017.
- [62] C.F. Corrêa, R. O. Nobrega, B. Mattioni, J. M. Block, y D. M. Fracalossi, "Dietary lipid sources affect the performance of Nile tilapia at optimal and cold, suboptimal temperatures", *Aquaculture Nutrition*, vol. 23, núm. 5, pp. 1016–1026, oct. 2017.
- [63] Z. Li, X. Xue, H. Yang, M. Liao, Y. Han, Z. Jiang, T. Ren, "Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, non-specific immune enzymes and acute response to low salinity and high temperature of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*", *Aquaculture Nutrition*, vol. 26, núm. 3, pp. 683–692, jun. 2020.
- [64] N. Révész, S. Kumar, A.S. Bøgevik, G. Fazekas, Z. Jeney, Á. Hegyi, Z.J. Sándor, "Effect of temperature on digestibility, growth performance and nutrient utilization of corn distiller's dried grains with soluble (DDGS) in Common carp juveniles", *Aquaculture Research*, vol. 51, núm. 2, pp. 828–835, feb. 2020.
- [65] L. Fang, X.L. Bai, X.F. Liang, S. He, X.Z. Guo, L. Li, B. Li, D. Shen, Y.X. Tao, "Ammonia nitrogen excretion in Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) and Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed practical diets: the effects of water temperature", *Aquaculture Research*, vol. 48, núm. 3, pp. 836–843, mar. 2017.
- [66] R. Kaminski, J. Sikorska, y J. Wolnicki, "Diet and water temperature affect growth and body deformities in juvenile tench (*Tinca tinca* L.) reared under controlled conditions", *Aquaculture Research*, vol. 48, núm. 3, pp. 1327–1337, mar. 2017.
- [67] R. Kolman, O. Khudiyi, O. Kushniryk, L. Khuda, M. Prusinska, y G. Wiszniewski, "Influence of temperature and Artemia enriched with ω -3 PUFAs on the early ontogenesis of Atlantic sturgeon, (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815)", *Aquaculture Research*, vol. 49, núm. 5, pp. 1740–1751, may 2018.
- [68] D. V Le, A. C. Alfaro, C. Pook, N. L. C. Ragg, Z. Hilton, y N. King, "Biochemical composition of New Zealand geoduck clam broodstock (*Panopea zelandica*) conditioned under different temperature and feeding regimes", *Aqua. Res.*, vol. 48, núm. 4, pp. 1799–1814, abr. 2017.
- [69] L.M. Mufatto, R.O. Nobrega, D. Menoyo, y D.M. Fracalossi, "Dietary ratios of n-3/n-6 fatty acids do not affect growth of Nile tilapia at optimal temperatures (28°C) nor at temperatures that simulate the onset of winter (22°C)", *Aquaculture Nutrition*, vol. 25, núm. 3, pp. 646–661, jun. 2019.
- [70] M. Vasconi, L. Aidos, A. Di Giancamillo, F. Bellagamba, C. Domeneghini, y V. M. Moretti, "Effect of temperature on fatty acid composition and development of unfed Siberian sturgeon (*A. baerii*) larvae", *Journal Applied Ichthyology*, vol. 35, núm. 1, pp. 296–302, feb. 2019.
- [71] E. Villanueva-Gutiérrez, L. F. Enríquez-Ocaña, J. A. López-Elias, M. del C. Garza-Aguirre, J. M. Mazón-Suástegui, y L. R. Martínez-Córdova, "Gonadic conditioning and maturation of the queen conch (*Dosinia ponderosa*) fed three microalgae at three temperatures", *Aquaculture Nutrition*, vol. 25, núm. 1, pp. 88–96, feb. 2019.
- [72] I. Guerreiro, P. Enes, A. Rodiles, D. Merrifield, y A. Oliva-Teles, "Effects of rearing temperature and dietary short-chain fructooligosaccharides supplementation on allochthonous gut microbiota, digestive enzymes activities and intestine health of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles", *Aquaculture Nutrition*, vol. 22, núm. 3, pp. 631–642, jun. 2016.
- [73] D. Huyben, A. Nyman, A. Vidakovi, V. Passoth, R. Moccia, A. Kiessling, J. Dicksved, T. Lundh, "Effects of dietary inclusion of the yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) and (*Wickerhamomyces anomalus*) on gut microbiota of rainbow trout", *Aquaculture*, vol. 473, pp. 528–537, abr. 2017.
- [74] M. Overland, A. Karlsson, L. T. Mydland, O. H. Romarheim, y A. Skrede, "Evaluation of *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)", *Aquaculture*, vol. 402–403, pp. 1–7, jul. 2013.
- [75] A. Vidakovic M. Langeland H. Sundh K. Sundell M. Olstorpe J. Vielma A. Kiessling T. Lundh, "Evaluation of growth performance and intestinal barrier function in Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*) fed yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), fungi (*Rhizopus oryzae*) and blue mussel (*Mytilus edulis*)", *Aquaculture Nutrition*, vol. 22, núm. 6, pp. 1348–1360, dic. 2016.
- [76] M.R. Brown, S.W. Jeffrey, J.K. Volkman, y G. Dunstan, "Nutritional properties of microalgae for mariculture", *Aquaculture*, vol. 151, núm. 1–4, pp. 315–331, may 1997.
- [77] Y. Yamasaki, K. Ishii, S. Taga, y M. Kishioka,



"Enhancement of dietary effect of *Nannochloropsis* sp. on juvenile (*Ruditapes philippinarum*) clams by alginate hydrolysates", *Aquaculture Reports*, vol. 9, núm. September 2017, pp. 31–36, 2018.

[78] J. Gamboa, Y.I. Morales, M.G. Nieto, D.A. Villarreal, y L.E. Cruz, "Assimilation of dietary nitrogen supplied by fish meal and microalgal biomass from *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and (*Nannochloropsis oculata*) in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed compound diets", *Journal of Applied Phycology*, 2019.

[79] P.K. Sarker, A.R. Kapuscinski, A.Y. Bae, E. Donaldson, A.J. Sitek, D.S. Fitzgerald, O.F. Edelson, "Towards sustainable aquafeeds: Evaluating substitution of fishmeal with lipid-extracted microalgal co-product (*Nannochloropsis oculata*) in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)", *PLoS One*, vol. 13, núm. 7, pp. 1–25, 2018.

[80] A. Sánchez-López, "Potential of prepupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute: effects on growth performance and digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*)", 2016.

[81] C. Sheppard, J.K. Tomberlin, S. Irving, L. Newton, M.A. McGuire, E.E. Mosley, R.W. Hardy, W. Sealey, "Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, (*Oncorhynchus mykiss*)", *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 38, núm. 1, pp. 59–67, 2007.

[82] A.S. Djissou, A. Ochiai, S. Koshio, y E. D. Fio-gbe, "Effect of total replacement of fishmeal by earthworm and (*Azolla filiculoides*) meals in the diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) reared in concrete tanks", *Indian Journal of Fisheries*, vol. 64, núm. 1, pp. 31–36, 2017.

