



## Retos y perspectivas del sector acuícola rumbo al 2050

Carlos Cristian Martínez-Chávez, Pamela Navarrete-Ramírez, Luciana Raggi, María Gisela Ríos-Durán, Jorge Fonseca-Madrigal, María Cristina Chávez-Sánchez, Jesús Mateo Amillano-Cisneros, Carlos Antonio Martínez-Palacios

Para citar este artículo: [Martínez-Chávez, C. C., Navarrete-Ramírez, P., Raggi, L., Ríos-Durán, M. G., Fonseca-Madrigal, J., Chávez-Sánchez, M.C., Amillano-Cisneros, J.M., Martínez-Palacios, C.A. 2022. Retos y perspectivas del sector acuícola rumbo al 2050. Ciencia Nicolaita, número 153-182. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi83.572>](#)

View

[Ver material suplementario](#)

Online

[Publicado en línea, enero de 2022](#)

Send

[Envíe su artículo a esta revista](#)

# Retos y perspectivas del sector acuícola rumbo al 2050

Carlos Cristian Martínez-Chávez<sup>1\*</sup>, Pamela Navarrete-Ramírez<sup>2</sup>, Luciana Raggi<sup>2</sup>, María Gisela Ríos-Durán<sup>1</sup>, Jorge Fonseca-Madrigal<sup>1</sup>, María Cristina Chávez-Sánchez<sup>3</sup>, Jesús Mateo Amillano-Cisneros<sup>1</sup>, Carlos Antonio Martínez-Palacios<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, México

<sup>2</sup>CONACYT- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), México.

## HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido: 18 de septiembre de 2021

Aceptado: 19 de noviembre de 2021

## RESUMEN

La biotecnología acuícola se basa en el conocimiento generado por investigaciones científicas multidisciplinarias aplicadas a la producción de organismos acuáticos. Las enfermedades infecciosas, el cambio climático y la sostenibilidad, son los principales retos actuales de la acuicultura. En este trabajo se hace una revisión de las posibles soluciones biotecnológicas a estos retos, a través del mejoramiento de las dietas, del uso de nuevas tecnologías de análisis, como son las ciencias ómicas y finalmente se discute la integración de especies nativas a la acuicultura. Todas estas actividades, con políticas públicas adecuadas, promoverán el desarrollo de una acuicultura más rentable, sostenible y acorde con las condiciones regionales, garantizando la seguridad alimentaria.

**PALABRAS CLAVE:** acuicultura, investigación multidisciplinaria, seguridad alimentaria sustentable

## ABSTRACT

Aquaculture biotechnology is based on the knowledge generated by multidisciplinary scientific research applied to the production of aquatic organisms. Infectious diseases, climate change and sustainability are the main current challenges for aquaculture. In this work, a review of possible biotechnological solutions to these challenges is made, through the improvement of diets, the use of new analysis technologies, such as omics sciences, and finally the integration of native species into aquaculture is discussed. All these activities, with appropriate public policies, will promote the development of a more profitable, sustainable aquaculture in line with regional conditions, guaranteeing food security.

**KEYWORDS:** aquaculture, multidisciplinary research, sustainability, food security

## 1. Introducción y contexto

La acuicultura moderna es una biotecnología que ha venido avanzado con la inclusión de múltiples ciencias desde la década de los 50 del siglo XX a la fecha, con la aplicación del conocimiento de la biología, fisiología, reproducción, nutrición, patología, parasitología y más recientemente de ciencias “ómicas” como la nutrigenómica y microbiómica de las especies acuáticas cultivadas, ya sean peces, crustáceos, moluscos, equinodermos o algas. Características como la demanda y el precio en el mercado, el crecimiento acelerado, la calidad nutricional del producto, la resistencia a enfermedades, la capacidad de reproducirse en cautiverio y, en el caso de las algas, el contenido de compuestos de alta calidad para la industria, son algunos de los factores que permiten la selección de las especies a ser cultivadas.

Sin embargo, los sistemas acuícolas actuales dependen de la elaboración de alimentos balanceados a base de harinas y aceites de pescado para cubrir los requerimientos de las especies cultivadas. Es decir, se está utilizando el producto de las pesquerías para alimentar peces y otros organismos acuáticos, cuando podrían ser utilizados para la alimentación humana, al ser fuentes importantes de proteína y especialmente de ácidos grasos esenciales. Lamentablemente los recursos pesqueros están sobreexplotados y es urgente buscar nuevas alternativas, como el uso de ingredientes no convencionales para los alimentos de las especies acuícolas o nuevas estrategias de cultivo que hagan esta actividad más sustentable y reducir la demanda de alimentos balanceados (Duarte *et al.*, 2009; FAO 2014).

Dentro de los sistemas tradicionales de cultivo, encontramos los sistemas extensivos, para los cuales se utilizan lagunas, brazos de río o estanques en tierra de varias hectáreas,

por lo que se requiere controlar a los depredadores. Aunque en estos sistemas la producción por hectárea es baja (alrededor de 500 kg/ha), no se requiere alimentación suplementaria y los organismos cultivados crecen con la alimentación natural que les ofrece la cadena trófica, con los nutrientes del mismo cuerpo de agua. De esta manera los organismos cultivados tienen muy bajas probabilidades de enfermar, debido a la baja densidad de cultivo y como no se requiere infraestructura y/o mano de obra especializada, el costo de cultivo es bajo. Por tal razón, este tipo de cultivo es altamente eficiente y puede ofrecer buenas ganancias con poca inversión, además de tener un bajo impacto ambiental.

En estos sistemas de cultivo se pueden producir diferentes especies de peces, principalmente aquellos que se alimentan de organismos que ocupan eslabones bajos en la cadena alimenticia, como los herbívoros (que consumen plantas), los bentófagos (que consumen organismos de los fondos) y los planctófagos (que consumen plancton: pequeños organismos de la columna del agua ya sean vegetales o animales). También se pueden producir moluscos (la mayoría de los moluscos cultivados son filtradores), macroalgas y esponjas, entre otros organismos acuáticos (Funge-Smith y Phillips, 2001).

Otro sistema tradicional es el cultivo semi-intensivo, en el cual se puede producir mayor cantidad de organismos por unidad de área que en un sistema extensivo. Se caracteriza por utilizar estanques de 0.5 ha o de mayor tamaño, en los cuales se puede producir una especie particular (monocultivo) o varias especies (policultivo) con hábitos alimenticios diferentes (bentófagos, malacófagos, herbívoros, fitoplantófagos y zooplantófagos), dentro de las cuales se encuentran tanto peces como crustáceos y en algunos casos, moluscos y peclecípodos. Para hacer un uso más racional e

intensivo de la cadena trófica, en estos sistemas se adicionan nutrientes exógenos, como fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

En muchos casos se adicionan los llamados fertilizantes verdes, que se colocan en digestores para su fermentación hasta obtener los nutrientes en su forma más básica. Con estos nutrientes se trata de impactar a la cadena trófica de tal manera que los organismos cultivados tengan disponibilidad de alimento por la productividad del cuerpo de agua, ayudada por la adición de nutrientes. En el caso de los policultivos, peces y/o crustáceos pueden consumir tanto los organismos del fondo, como los de la columna del agua, sin competir por el alimento. En estos sistemas es necesario mantener un equilibrio entre la fertilización y la cantidad de oxígeno, sobre todo en las madrugadas cuando el consumo de oxígeno es máximo. De esta manera, se requiere personal con mediana especialización para manejar adecuadamente la fertilización, monitorear el crecimiento de los peces y en el caso necesario, incrementar la aireación en el estanque o realizar recambios de agua. En estos sistemas se puede proporcionar alimentación suplementaria, con productos como gramíneas o pastas de oleaginosas para incrementar los carbohidratos o proteínas de origen vegetal y con ello incrementar la biomasa del estanque.

Estos cultivos semi-intensivos pueden generar producciones de 0.5 a 30 Ton/Ha, lo cual va a depender directamente de las especies a utilizar, el manejo del estanque, la fertilización y desde luego los alimentos suplementarios. Son sistemas altamente productivos, de bajo costo, sustentables y que generan una baja contaminación de agua, al no utilizarse alimentos balanceados, que poseen cantidades apreciables de fósforo, nitrógeno y otros nutrientes que impactan la cadena trófica en aguas abiertas.

Los sistemas de cultivo semi-intensivo de

China la han posicionado como el primer productor de peces de agua dulce (Carpas) a nivel mundial. Esta es una industria sustentable y productiva con especies que alimentan al pueblo chino y al mundo.

Sin embargo, los sistemas extensivos y semi-intensivos actualmente son utilizados por pequeños productores o son utilizados en menor escala y los productores mayores utilizan sistemas de cultivo intensivos, en los cuales, aunque se produce una mayor cantidad de organismos por unidad de área, tienen una alta demanda de alimentos balanceados y, a su vez, no son sistemas sustentables ni son amigables con el ambiente, al producir desechos nitrogenados que se descargan a los cuerpos de agua naturales (Funge-Smith y Phillips, 2001).

Los sistemas intensivos se han caracterizado por ser monocultivos que producen una especie en altas o muy altas densidades (50-150 Kg/m<sup>3</sup>), por lo que se requieren, además de una infraestructura compleja, grandes cantidades de alimentos balanceados, que significan entre el 60 y el 70% de los costos de producción. Por consiguiente son los que tienen mayor demanda de harinas y aceites de pescado, a tal grado que se ha redirigido la industria harinera para suplir las demandas de la acuicultura. Peces marinos como la anchoeta, la sardina del pacífico, caballas, capelines y anguilas de arena son sobreexplotados para la producción de harinas, lo cual, aunado al calentamiento global, ha causado el colapso de sus pesquerías, haciendo que cada vez haya más escasez de harina y aceites de pescado a nivel mundial. Los monocultivos intensivos a gran escala producen cientos de toneladas por hectárea y requieren de mano de obra especializada, actualmente son sistemas poco sustentables, extremadamente contaminantes, en términos de los desechos que se arrojan al medio ambiente, que eutrofizan las aguas y pueden generar mareas rojas que producen

efectos de gran mortalidad en los organismos. En muchos casos las especies cultivadas tienen hábitos carnívoros, lo que incrementa la demanda de fuentes ricas en proteína, como las harinas de pescado. Por otro lado, en estos sistemas los organismos cultivados son más susceptibles a enfermedades y parásitos debido a las altas densidades de cultivo. Otro problema de los cultivos intensivos, por ejemplo en el caso de los cultivos de especies exóticas, es la liberación accidental de los organismos cultivados al medio ambiente, que puede tener efectos catastróficos en los ecosistemas, incluyendo el desplazamiento de las especies nativas. Adicionalmente el movimiento de especies de un país a otro para su cultivo, ha acarreado epizootias de virus, bacterianas y parasitarias, que pueden acabar con la producción acuícola de toda una región (Funge-Smith y Phillips, 2001).

Los cultivos intensivos altamente productivos con altos costos ecológicos, siguen siendo mantenidos por las grandes empresas transnacionales para un mercado cada vez más demandante. La industria pecuaria ha tenido que buscar otras fuentes alimenticias, como harinas y aceites vegetales, con el fin de utilizarlos como ingredientes alternativos de los alimentos para los organismos cultivados. Sin embargo, una limitante de muchos productos de origen vegetal es la presencia de antinutrientes, lo que ha limitado su uso en la alimentación acuícola. Por esta razón, en la actualidad se pueden aplicar diferentes técnicas para la eliminación de antinutrientes, ya sea con tratamiento térmico, extracción de los aceites, inhibición de productos tóxicos o modificación genética de líneas vegetales. Proteínas de origen vegetal, como las de la pasta de soya, pasta de cacahuate, ajonjolí, girasol, cártamo y harinas de concentrados proteínicos, harinas de hojas, concentrados de destilería y microalgas, así como materiales de origen

animal, como ensilados de pescado, desperdicios de la pesca y de la ganadería así como de la avicultura, están hoy en la lista de alimentos no convencionales, en uso o con potencial uso para dietas en la acuicultura intensiva.

Sin embargo, el no poder disponer de harina de pescado es un gran reto, pues esta harina posee perfiles de aminoácidos ideales, que cubren los requerimientos de muchas especies. Por otro lado, la búsqueda de otros materiales proteínicos para sustituir la harina de pescado en dietas para peces, sigue avanzando, sobre todo dentro de las leguminosas, que son acumuladoras de proteínas y aceites. Para algunas especies se ha logrado una total sustitución de harinas de pescado en los alimentos, sin embargo, para peces carnívoros como los salmónidos se ha sustituido sólo en forma parcial, pues la sustitución total de las harinas de pescado reducen el crecimiento. En el caso de los aceites de pescado (de origen marino), para lograr sustituir ácidos grasos esenciales como el ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido eicosapentanoico (EPA), se ha logrado la modificación genética de la planta oleaginosa *Camelina sativa* para la producción de EPA como precursor de DHA (Betancor *et al.*, 2015).

## 2. Retos y perspectivas de la acuicultura

Con el incremento de la productividad de alimentos a través de la acuicultura estamos comenzando con lo que hoy se conoce como “revolución azul” (Vela y Ojeda, 2007), análoga a lo que fue la “revolución verde” en agricultura. Sin embargo, esta “revolución azul” deberá estar bien orientada para evitar mayores impactos al ambiente. La acuicultura bien manejada, con la aplicación de nuevas tecnologías, es una opción para la producción de alimentos altamente nutritivos, que podrá contribuir de manera importante a cubrir los

retos de seguridad alimentaria en el mundo. Por lo anterior y debido al incremento de la demanda de productos acuáticos, es urgente el uso y desarrollo de tecnologías más eficaces y sustentables en la producción acuícola (Funge-Smith y Phillips, 2001).

Ejemplos de ello son los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés), los sistemas agro acuícolas integrados como la acuaponia y los sistemas con tecnología Biofloc. En los sistemas de recirculación, el agua con los desechos producidos por los animales no se vierte al ambiente, sino que es reutilizada dentro del mismo sistema después de ser tratada gracias a la acción de sedimentadores, filtros biológicos, tratamiento con luz ultravioleta, etc. En estos sistemas los recambios de agua son mínimos y al no vertirse desechos nitrogenados al ambiente, son más sustentables que un sistema de cultivo intensivo tradicional. Son sistemas altamente tecnificados y se requiere tener un control estricto de las condiciones del sistema y de la calidad de agua para garantizar las condiciones óptimas para los organismos en cultivo (Funge-Smith y Phillips, 2001, Timmons y Ebeling, 2010, Espinal y Matuli'c, 2019). Mientras tanto, en los sistemas de acuaponia, se combinan técnicas de acuicultura con técnicas de hidroponia, pudiendo producir organismos acuáticos y plantas para consumo humano, como frutas y hortalizas. El agua con los desechos de los organismos acuáticos aporta nutrientes a las plantas que se producen y de manera similar a los sistemas de recirculación, el agua de desecho, puede reutilizarse dentro del sistema después de ser tratada. En estos sistemas también se debe tener un control estricto de la calidad del agua y de las proporciones de nutrientes aportados a las plantas, por lo que en ocasiones es necesario añadir nutrientes para tener un balance adecuado de los mismos y que las plantas puedan llevar a cabo su proceso de fotosíntesis de manera adecuada

(Goddek *et al.*, 2019, Joyce *et al.*, 2019, Lennard *et al.*, 2019). Por otro lado, en los sistemas con tecnología Biofloc, también se pueden producir grandes biomásas de organismos, de una manera sustentable. Estos sistemas se basan en la producción de flóculos microbianos, en los que se encuentran diferentes microorganismos asociados entre sí (bacterias aeróbicas, microalgas, organismos zooplanctónicos, nemátodos, etc.), asociados a su vez a un sustrato. Estos flóculos microbianos, son beneficiosos para el cultivo porque pueden servir como fuente alimenticia para los organismos cultivados, como peces o camarones, son ricos en proteína y además pueden tener un efecto probiótico. Esto permite que se pueda disminuir la demanda de alimento balanceado, reduciendo los costos de alimentación. De la misma manera, los recambios de agua son mínimos, no se vierten desechos nitrogenados al ambiente y estos son utilizados por los microorganismos que componen los flóculos. Sin embargo, el mantenimiento de estos sistemas debe llevarse a cabo con riguroso control de los factores ambientales para evitar el desarrollo de bacterias anaeróbicas o la invasión de microorganismos antagónicos que afecten el equilibrio del sistema. De no mantener las condiciones adecuadas podría ser desastroso para el cultivo (Hernández-Mancipe *et al.*, 2019).

Por otro lado, la FAO reconoce que el futuro de la acuicultura para el 2050 se encuentra en las especies que se alimentan de organismos de la parte baja de las cadenas alimenticias, como son los bentófagos, fitoplanctófagos, zooplanctófagos y herbívoros que tienen un gran potencial acuícola. Por lo anterior se tendrá que incentivar el cultivo de nuevas especies menos demandantes de harinas y aceites de pescado.

El futuro de la acuicultura, además de la aplicación de tecnologías eficientes, requie-



re de especies de peces y crustáceos nativas, evitando la translocación de especies (Funge-Smith y Phillips, 2001, Bibus 2015). También es necesario el establecimiento de más cultivos extensivos y semi-intensivos, en donde se produzcan especies con ítems alimenticios de niveles bajos en la cadena trófica y en los que no se demanden las harinas y los aceites de pescado. Estos sistemas pueden incrementar notablemente la producción con la utilización de diferentes especies en policultivos, que permitan la utilización de los productos de la cadena alimenticia (bentos, fito y zooplancton), de una manera más integral, que permita la transferencia de nutrientes y energía hacia los productos de la acuicultura que serán consumidos en los mercados locales. Estos sistemas de cultivo para cada región permitirán un adecuado uso de las especies nativas y de los insumos regionales para la producción de especies para el autoconsumo y la exportación. Actualmente existen muchas especies nativas con potencial de cultivo a lo largo del mundo, que pueden producirse en policultivos regionales (Funge-Smith y Phillips, 2001, Béné *et al.*, 2015, Grafton *et al.*, 2015). Para lo anterior, es menester establecer políticas públicas que impulsen la investigación sobre la biología y el cultivo de diferentes especies nativas con potencial acuícola, así como el desarrollo de los procedimientos y metodologías para incrementar la producción acuícola, por medio de sistemas de cultivo extensivos, semi-intensivos o sistemas más eficientes como los sistemas RAS, acua-pónicos o sistemas biofloc, de manera que se produzcan alimentos de manera sustentable, que permitan generar empresas que puedan mantener estos cultivos a escalas crecientes y utilizando insumos regionales para el cultivo comercial. El futuro de la acuicultura tendrá necesariamente que basarse en la producción de organismos acuáticos en sistemas que per-

mitan aprovechar la productividad natural de las cadenas tróficas, sin competir por los productos pesqueros que deberían ser usados para la alimentación humana.

### **3. Las enfermedades infecciosas como limitante principal en la producción acuícola**

La actividad acuícola enfrenta numerosos retos tales como el cambio climático, la contaminación, pobre planeación y malas prácticas de manejo que resultan en impactos negativos al ecosistema y comunidades. Además, pueden influenciar en la abundancia y los impactos de las enfermedades (FAO/NACA 2000, Bagum *et al.*, 2013). Se considera que las enfermedades son el principal factor que detiene el sano y sostenible desarrollo de la actividad acuícola, por lo que se requiere cambiar de paradigma para enfrentar los riesgos de la bioseguridad (Leung y Bates, 2013, Bernoth *et al.*, 2008, FAO 2020), especialmente porque la mayor producción acuícola proviene de países en desarrollo (Assefa y Abunna, 2018, FAO 2020).

Las pérdidas anuales por enfermedades infecciosas son causantes particularmente de impactos económicos y sociales devastadores y alcanzan los 6 billones de dólares causando daños al sustento de los productores, pérdidas de empleo, reducción de ingresos y seguridad alimentaria (Assefa y Abbuna, 2018). Por ejemplo, India se ha convertido en el segundo productor de acuicultura en el mundo después de China, sin embargo, se reportó un billón de dólares de pérdidas debido solamente a enfermedades del camarón cultivado (Briggs *et al.*, 2004) y China perdió el 15% de la producción total debido a enfermedades (Leung y Bates, 2013). La anemia infecciosa del salmón costó 2 billones de dólares y causó la pérdida de 20,000 trabajos en Chile (Mardones *et al.*, 2009, 2011). La enfermedad del

páncreas del salmón del Atlántico ocasionó pérdidas estimadas en 55.4 millones de Coronas Noruegas (Pettersen *et al.*, 2015). Pérdidas del orden de US \$650 millones en Tailandia y más de \$6 billones en India a causa de enfermedades en acuicultura, éstos son impactos importantes en la producción y economía de estos países asiáticos (Mishra *et al.*, 2017). Shinn *et al.* (2014) realizaron una revisión de 69 especies de organismos que se cultivan en aguas salobres y marinas y de las pérdidas asociadas a parásitos reportadas en el mundo, demostrando claramente la importancia de las enfermedades parasitarias, sus efectos en la producción de alimentos y en la economía regional.

En México, la industria del camarón es la más importante debido a las fuentes de empleo, divisas y alimento que aporta al país. La camaronicultura ocupaba en 2009 el noveno lugar de producción en el mundo con 133,282 toneladas y representó el 71.6% del total nacional de camarón; ocupó también el primer lugar por valor en la producción total de la pesca y la acuicultura nacional y el primero como generador de divisas. Su tasa de crecimiento fue de 4.7% y en cuanto a exportaciones, ocupó también el primer lugar enviando productos a Estados Unidos, Japón y España (CONAPESCA 2011). Sin embargo, las enfermedades asociadas al virus de la mancha blanca, principalmente en el estado de Sonora, ocasionaron que para 2010 la producción se redujera de 133,282 toneladas a 49,717 toneladas (CONAPESCA 2011). Posteriormente, en 2013 por introducciones de camarón de Asia a México sin control sanitario, se diagnosticó la enfermedad emergente conocida como Enfermedad Aguda de la Necrosis del Hepatopáncreas (AHPND por sus siglas en inglés) generando mortalidades hasta del 90% (Lightner *et al.*, 2013, Nunan *et al.*, 2014, Soto-Rodríguez *et al.*, 2015).

Estos son sólo algunos ejemplos que indican que sin las cuantiosas pérdidas tanto económicas como en toneladas de alimentos, causadas por las enfermedades infecciosas, las cifras de producción en el mundo señaladas por la FAO año con año, hubieran alcanzado niveles más altos en producción y reducción millonaria en la pérdida de dólares. Lo anterior confirma que las enfermedades son el factor más importante que restringe la expansión de la acuicultura hacia el 2050 (Stentiford *et al.*, 2012). La Tabla 1 muestra las pérdidas ocasionadas tan sólo por el virus de la mancha blanca, de 1993 al 2000, en diversos países. Lo anterior debido a diversos factores pero principalmente al movimiento irresponsable de organismos acuáticos, sin seguir las reglas sanitarias internacionales para el movimiento transfronterizo de organismos acuáticos.

El movimiento transfronterizo de animales acuáticos vivos, material genético y productos de animales acuáticos conlleva un riesgo inherente de translocar patógenos de los mismos, al introducirlos y propagarlos a países hasta ahora libres de estos patógenos (Bernoth *et al.*, 2008, Krkošek 2017). La transmisión depende de la densidad, la cual crea un umbral de efectos en los que la enfermedad puede cambiar abruptamente de una dinámica endémica a una epizootica y la hidrodinámica por su lado, permite que los patógenos se dispersen ampliamente, interconectando las granjas y afectando organismos silvestres locales (Krkošek 2017). Para reducir estos riesgos, la FAO y muchos gobiernos de los principales países productores han desarrollado diversos documentos como códigos, protocolos, pautas y manuales, dirigidos a gobiernos, productores y en general a toda la cadena de valor de las especies, para reducir el riesgo de introducir y propagar patógenos de peces y mariscos. Hace pocas décadas los productores acuícolas con algún tipo de economía y bajo



TABLA 1. Pérdidas económicas ocasionadas por el virus de la mancha blanca (WSSV) en diversos países\*.

<b>País</b>	<b>Año</b>	<b>Pérdidas económicas</b>
República Popular China	1993	\$250 millones US
India	1994/1995	\$17.6 millones US**
Malasia	1995-1999	\$25 millones anuales US
Bangladesh	1995	\$10 millones US
Tailandia	1996	\$210-250 millones US
Tailandia	1997	\$600 millones US
Shri Lanka	1998-1999	RS 1 billón
Ecuador	Abril-Agosto 1999	\$280.5 millones US
Ecuador	2000	\$400 millones US
Panamá	Principio de 1999	\$40 millones US
México	1999	\$44.8 millones US***
México	2000	\$30.2 millones US***

\*Cortesía Dr. Richard Arthur. \*\*Incluye pérdidas debidas a YHV \*\*\* (SAGARPA 2000)

nivel de educación, no conocían el impacto económico y social que podían producir con la introducción de especies de un lugar a otro, pero actualmente la información actualizada de sus efectos es muy bien conocida en el medio acuícola.

Sin embargo, los productores continúan moviendo organismos, a pesar de conocer el riesgo de introducir patógenos. Existen numerosos ejemplos de este fenómeno en peces, crustáceos y moluscos que se cultivan. En ocasiones los productores de más alto nivel económico y de educación, incluso con conocimiento de este problema, ignoran las normas nacionales e internacionales cuando quieren traer nuevas líneas genéticas de las especies que cultivan, con lo que finalmente introducen patógenos altamente virulentos de otros países.

Como resultado de estos problemas, el número de patógenos introducidos y dispersados continúa alrededor del mundo. Las enfermedades de animales acuáticos transfronterizos se propagan con mucha rapidez a otras granjas y aldeas locales, distritos y finalmente a todo el país; el problema, por lo tanto, debe ser abordado de manera co-responsable por los productores, autoridades locales, au-

toridades del país, en base regional e internacional (Bernoth *et al.*, 2008). Es necesario aceptar que, una vez que un patógeno entra a un nuevo medio acuático, es prácticamente imposible erradicarlo, por lo que aquí se aplica el viejo adagio “es mejor prevenir que curar”. El comercio seguirá existiendo y a pesar de todas las precauciones, las enfermedades seguirán propagándose internacionalmente. Sin embargo, para poder reducir este riesgo y que sus efectos pueden mitigarse, se requiere que todas las partes de la cadena de comercio, desde el productor a las organizaciones internacionales, acepten su responsabilidad de cooperar para proporcionar una cadena ininterrumpida de bioseguridad (Bernoth *et al.*, 2008).

Las enfermedades emergentes (nuevas) en particular, son un reto cuando aparecen por primera vez, porque se desconoce todo o se conoce muy poco de las mismas y las respuestas para su control o erradicación son lentas, costosas y a menudo no efectivas. La aparición de estas enfermedades en acuicultura es debida a factores multifacéticos altamente interconectados como el comercio globalizado de animales acuáticos y sus productos, la intensificación de la acuicultura, el movimiento

de reproductores, huevos, crías, juveniles y la expansión del comercio de organismos para la acuariofilia (Subasinghe *et al.*, 2001). Otros factores como el cambio climático, interacciones negativas entre organismos silvestres y cultivados, la no aplicación de medidas de bioseguridad, la falta de programas de vigilancia y monitoreo efectivos, carencia o no implementación de planes de preparación, en caso de la surgencia de una enfermedad emergente y planes de contingencia. El control de las enfermedades endémicas ocasiona importantes costos año tras año a los productores, de tal manera que la aparición de enfermedades emergentes ocasiona importantes y serios impactos a los productores y a las poblaciones silvestres (Murray y Peeler, 2005). Para reducir estos impactos la NACA/FAO (2000) sugiere seguir las estrategias de bioseguridad establecidas en la Conferencia Mundial de Acuicultura del Tercer Milenio como sigue:

i) Normas nacionales e internacionales.

No se logrará controlar la dispersión de las enfermedades emergentes si no se desarrollan las leyes, normas, reglamentos o códigos a nivel nacional y éstas no se armonizan con las políticas regionales e internacionales sobre introducción y movimiento de animales acuáticos vivos y sus productos, para reducir los riesgos de introducción, establecimiento y propagación de animales acuáticos y sus patógenos e impactos resultantes sobre la biodiversidad acuática. Para ello existen documentos que pueden servir tanto a los políticos encargados de la salud animal de cada país, como a los mismos productores, dentro de los cuales encontramos: a) “Acuerdo Sanitario y Fitosanitario” (SPS por sus siglas en inglés) establecido por la Organización Mundial de Comercio (WTO) en enero de 1995, que establece las reglas básicas para la inocuidad y la salud de plantas y animales; b) Los “estánda-

res de la Organización para la Salud Animal” (OIE), que establecen las normas para proteger la salud de los animales pero sin imponer barreras de comercio injustificables; c) El “Código de la Salud” de los animales acuáticos de la OIE, que garantiza la seguridad sanitaria del comercio internacional de animales acuáticos y sus productos; y d) Las “Directrices Técnicas Regionales sobre Gestión de la Salud y el Movimiento Responsable de Organismos Acuáticos” desarrollado por la FAO/NACA (Bernoth *et al.*, 2008). Sin embargo, el problema en muchos países en desarrollo es que a veces aunque se encuentren establecidas las legislaciones, las instancias gubernamentales que tienen que dar seguimiento a las mismas, no cuentan con los recursos ni el personal necesario para su cumplimiento y/o los productores hacen caso omiso de dichas reglas nacionales e internacionales y sucede lo que ha pasado en México, con la bacteria AHPND.

ii) Educación

Es necesario que los acuicultores (tanto productores de alimentos para consumo humano, de peces ornamentales y otros productos de origen acuático), reciban la información con el fin de adquirir conocimiento y conciencia para evitar la introducción de especies exóticas y que entiendan que las zonas libres de enfermedades emergentes comienzan con granjas libres de patógenos (Subasinghe *et al.*, 2004). Por lo tanto, el énfasis en las medidas preventivas para evitar la introducción y dispersión de patógenos debe estar en la concientización de las personas. El desafío es enseñar a los productores con diferentes niveles de educación, la necesidad de seguir los códigos, protocolos y pautas, lo cual no es fácil. Para ello se requiere del desarrollo de capacidades tanto a nivel institucional como de acuicultores a través de la educación y la extensión.

iii) Implementación de sistemas de información  
Los países deben desarrollar e implementar sistemas de reportes y bases de datos efectivos sobre mecanismos de colecta y análisis de la información de las enfermedades y patógenos existentes en el país. Sin el conocimiento de las enfermedades con las que se enfrenta la acuicultura regional, así como de su distribución, prevalencia en las granjas y la biología del patógeno o parásito, es difícil llevar a cabo planes de monitoreo, vigilancia y contingencias por todas las instancias involucradas.

iv) Investigación y desarrollo tecnológico

Es necesario mejorar la tecnología a través de la investigación para desarrollar, estandarizar, armonizar y validar técnicas de diagnóstico sensibles, así como métodos terapéuticos libres de peligro y metodologías efectivas para el control de las enfermedades emergentes.

#### **4. El cambio climático y sus efectos en la acuicultura**

Los efectos del cambio climático sobre la acuicultura han ganado considerable interés debido a la significativa contribución del sector a la seguridad alimentaria, nutrición y medios de vida (Ahmed *et al.*, 2019, FAO 2020, Maulu *et al.*, 2021). El cambio climático afectará la pesca y la acuicultura por múltiples factores, ya sean positivos o negativos, como: la acidificación de los mares, cambios en la temperatura del mar y en los patrones de circulación, así como en la frecuencia y severidad de los eventos como huracanes, el aumento del nivel medio del mar, cambios en la salinidad de la superficie del mar, florecimiento de algas dañinas, cambios en los patrones de lluvia y la incertidumbre en el abastecimiento de insumos como los productos pesqueros (De Silva y Soto, 2009, De Young *et al.*, 2012, Maulu *et al.*, 2021). Lo anterior causará impactos directos e indirectos a la producción de alimentos,

a las cadenas alimenticias y altos costos a pescadores y acuicultores (Daw *et al.*, 2009, Badjeck *et al.*, 2010, Shelton 2014). Cerca de 200 millones de personas están directa e indirectamente empleadas en la industria acuícola a lo largo de la cadena de valor, desde la cosecha hasta la distribución (Vannuccini *et al.*, 2019, FAO 2020).

Se estima que una de las repercusiones indirectas más importantes se derivaría de la escasa disponibilidad de harina y aceite de pescado para los alimentos acuícolas (De Silva y Soto, 2009). Por su parte, los ecosistemas se verán fuertemente afectados y las especies tendrán que migrar hacia aguas más favorables, la mayoría hacia los polos (Shelton 2014). El aumento del nivel del mar, las tormentas e inundaciones causarán estragos devastadores en la infraestructura acuícola, tal como sucedió con el tsunami del sudeste asiático del 2004, en al menos 7 países (Indonesia, Malasia, Maldivas, Myanmar, Sri Lanka, Tailandia, Bangladesh). En Indonesia, por dar un ejemplo, se reportan pérdidas por infraestructura acuícola de alrededor de \$210,935,555 millones de dólares y en acuicultura de agua salobre, un área de 36,597 ha se perdieron totalmente, con una pérdida en la producción de \$480,821,782 millones de dólares. A estas pérdidas, falta sumar los costos millonarios de la reconstrucción (FAO 2005).

Por lo anterior, cada país debe prepararse para responder a los impactos del cambio climático a través de reducir su vulnerabilidad (De Younge *et al.*, 2012), puesto que ésta varía de región a región dependiendo de las zonas climáticas, áreas geográficas (tierra adentro o costeras), los tipos de sistemas acuícolas y las especies que se cultivan (Islam *et al.*, 2019). Por lo tanto, es un pre-requisito entender los efectos del cambio climático sobre las respuestas biológicas, recursos y economía en la acuicultura. Lo anterior propiciará el desarro-

llo de enfoques innovadores de adaptación y ayudará a elaborar planes estratégicos para definir las necesidades e investigaciones necesarias. Un aspecto importante a considerar, es la capacidad de la acuicultura para adaptarse al cambio climático, llevando a cabo cambios en el manejo o soluciones biotecnológicas y de ingeniería, para con ello adaptarse a un nuevo medio ambiente, lo cual es una ventaja que puede ser capitalizada (Reid *et al.*, 2019). Sin embargo, se requiere experiencia y conocimiento acerca de la vulnerabilidad de cada país, con el fin de optimizar las adaptaciones y reducir la incertidumbre a todos los niveles, comenzando con los procesos de los ecosistemas y apoyando todas las formas de pesca y producción acuícola, así como evaluar los factores socioeconómicos que pueden afectar la prioridad de esas adaptaciones (Bell *et al.*, 2013).

Para reducir dichas vulnerabilidades, se cuenta con el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO 1995), que demuestra los principios y estándares aplicables a la conservación, manejo y desarrollo de la pesca y la acuicultura así como prevenir la sobrepesca, minimizar los impactos negativos al ecosistema acuático y comunidades locales, la protección de los derechos humanos y asegurar medios de vida justos (De Young *et al.*, 2012). Hay muchas opciones para la adaptación de la acuicultura, desde cambios en la gestión hasta ingeniería compleja o soluciones biotecnológicas, y todo esto respaldado por la investigación a todos los niveles (academia, gobierno e industria) así como prueba y error de parte de los productores (Reid *et al.*, 2019). Los efectos del cambio climático han sido ampliamente estudiados y revisados tanto a nivel regional como a escala global. Sin embargo, los estudios derivan especialmente en los efectos negativos y no en los positivos los cuales son muy críticos para las estrategias de adaptación

(Maulu *et al.*, 2021). Ejemplo de casos positivos del cambio climático, es que se puede impulsar el desarrollo de la acuicultura de agua dulce, mientras se deteriora el de las aguas salobres y marinas (Bell *et al.*, 2013), siempre y cuando se cuente con las fuentes de agua libres de contaminación y en cantidad suficiente para otras actividades, incluyendo el agua para el consumo humano. Un aspecto que no se analiza frecuentemente son los cambios en las tasas de crecimiento de bacterias patógenas o la incidencia de parásitos y virus transmitidos por los alimentos. Tampoco se estudia la posibilidad del incremento en la virulencia de patógenos de los animales acuáticos y cambios en su susceptibilidad a patógenos e infecciones, por lo que planes de bioseguridad son esenciales (Vannuccini *et al.*, 2019). Desafortunadamente en México las instancias gubernamentales no han implementado ningún programa sobre la investigación de los efectos del cambio climático en la acuicultura.

## 5. Uso de pre- y probióticos en la nutrición acuícola

La implementación de estrategias de alimentación es otro de los retos del sector acuícola y debe estar enfocada a optimizar la inversión. La mortalidad causada principalmente por infecciones bacterianas y virales, es una variable importante a considerar, aunada al estrés causado por el mismo sistema de cultivo. El uso desmedido de antibióticos para mitigar infecciones es preocupante, puesto que puede ocasionar resistencia en los distintos patógenos presentes en peces y humanos. Una de las alternativas viables para aumentar la salud y desempeño de los peces en cultivo, es el uso de alimentos suplementados con prebióticos y probióticos.

Los prebióticos han sido definidos como sustratos que incrementan el crecimiento y la actividad benéfica de la microbiota intes-

tinal, y por lo tanto promueven la salud del hospedero (Gibson *et al.*, 2017). Se ha reportado que los prebióticos modulan el sistema inmunológico, disminuyen el estrés oxidativo y mejoran la morfología intestinal de los peces (Dimitroglou *et al.*, 2011, Merrifield y Ringo, 2014), así como incrementan el crecimiento, la eficiencia alimenticia, modulan la microbiota intestinal y la actividad de las enzimas digestivas (Guerreiro *et al.*, 2017). En la acuicultura los prebióticos más utilizados son la inulina (Mahious *et al.*, 2006, Hoseinifar *et al.*, 2015, Tiengtam *et al.*, 2015, Oliveira *et al.*, 2020), los  $\beta$ -glucanos (Vetvicka *et al.*, 2013, Ghaedi *et al.*, 2015, Cao *et al.*, 2019), los mananooligosacáridos (MOS) (Torrecillas *et al.*, 2007, Zhou *et al.*, 2010, Hoseinifar *et al.*, 2015, Hahor *et al.*, 2019) y la pared celular de *Saccharomyces cerevisiae* (Hoseinifar *et al.*, 2011, Abu-Elala *et al.*, 2013, 2018, Zhang *et al.*, 2020). Los distintos prebióticos pueden ser metabolizados por bacterias ácido lácticas como *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp., que se encuentran en el tracto digestivo del hospedero y forman ácidos grasos de cadena corta, que pueden ser absorbidos por el mismo, para utilizarse como fuentes de energía (Guerreiro *et al.*, 2017) o como activadores de diversas vías de señalización (He *et al.*, 2020).

Los probióticos son microorganismos vivos que en ciertas cantidades (al menos  $10^6$ - $10^9$  UFC/g) proporcionan beneficios al hospedero (FAO 2006, Behboudi-Jobbehdar *et al.*, 2013). Existen distintos efectos benéficos derivados de la aplicación de probióticos, tales como el incremento del crecimiento, el aumento de la producción de enzimas digestivas (amilasas, lipasas, proteasas) (Tovar-Ramírez *et al.*, 2002, 2004, Wang y Xu, 2006, Essa *et al.*, 2010, Wu *et al.*, 2012, Mohammadian *et al.*, 2017) y la estimulación de la respuesta inmune, que conlleva a la supresión de enfermeda-

des infecciosas (Akhter *et al.*, 2015), las cuales llegan a causar mortalidad masiva de peces y grandes pérdidas económicas en sistemas acuícolas.

Entre los probióticos más utilizados en la acuicultura, destacan las bacterias de los géneros *Lactobacillus* spp., *Lactococcus* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp. y *Streptococcus* spp., así como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Lara-Flores *et al.*, 2003, Mohapatra *et al.*, 2012, Ayyat *et al.*, 2014, Gao *et al.*, 2016, Munirasu *et al.*, 2017, Xia *et al.*, 2018, Akter *et al.*, 2019, Zhang *et al.*, 2019). La mayoría de estos probióticos se utilizan como aislados comerciales provenientes del tracto digestivo humano y otros provenientes de organismos acuáticos usados en la acuicultura. Sin embargo, existen probióticos (*Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. y *Carnobacterium* spp.) aislados de organismos silvestres (e.g. peces como *Salmo salar*, *Oncorhynchus mykiss*, *Cyprinus carpio*, *Oreochromis niloticus*, *Tor grypus*, *Colossoma macropomum* y *Labeo rohita*), utilizados como suplemento alimenticio de organismos acuáticos en cautiverio, con óptimos resultados, mejorando incluso la eficiencia de los probióticos comerciales (Robertson *et al.*, 2000, Kim y Austin, 2006, Wang y Xu, 2006, Essa *et al.*, 2010, Mohammadian *et al.*, 2017, Dias *et al.*, 2018, Mukherjee *et al.*, 2019).

En distintos trabajos se ha observado que géneros bacterianos y levaduras del género *Saccharomyces* sp., usados como probióticos, producen una variedad de nutrientes como ácidos grasos de cadena corta y aminoácidos. En el área acuícola se ha determinado que estos metabolitos están directamente relacionados con la mejora en el crecimiento, incremento del sistema inmune, inducción de la metamorfosis y la pigmentación así como la producción de hormonas importantes, que intervienen en el desarrollo adecuado de los organismos que consumen dichos metabolitos



TABLA 2. Probióticos, metabolitos que producen y ejemplos de sus efectos en peces.

Probiótico	Metabolito(s) producido(s)	Ejemplo de uso	Efecto en hospedero	Referencia
<i>Saccharomyces</i> spp. (Gong et al., 2013)	Butirato y propionato	Ciprinidos (ej. <i>Cyprinus carpio</i> ) <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Incremento crecimiento (hormona del crecimiento) y expresión de genes del sistema inmune	Hoseinifar et al., 2016
<i>Lactobacillus</i> spp. (Toe et al., 2019, Mutaguchi et al., 2018)	Alanina, arginina, fenilalanina, glicina, glutamato, isoleucina, leucina, lisina, metionina, serina, triptófano y valina	<i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Cirrhinus mrigala</i> <i>Solea senegalensis</i>	Incremento hormonas del páncreas, glucagón e insulina y crecimiento	Mommsen et al., 2001, Ahmed y Khan, 2006, Pinto et al., 2009
<i>Lactococcus</i> spp. (Hernandez-Valdes et al., 2020)	Glutamato, histidina, isoleucina, leucina, metionina y valina	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Incremento crecimiento	Wang et al., 2017
<i>Bacillus</i> spp. (Stahmann et al., 2000)	Vitaminas B	<i>Lutjanus guttatus</i>	Incremento crecimiento	Chávez-Sánchez et al., 2018
<i>Lactobacillus</i> spp. (Santos et al., 2008, LeBlanc et al., 2017)	Vitaminas B	<i>Oreochromis niloticus</i>	Incremento crecimiento	Sarker et al., 2012

(Tabla 2).

Una alternativa interesante en cuanto a la adición de suplementos, es el uso de los llamados sinbióticos (del inglés synbiotic; Cerezuela *et al.*, 2011) o sintróficos, que son combinaciones de al menos un microorganismo probiótico y una sustancia prebiótica. Se ha encontrado que la utilización de pre- y probióticos en conjunto inducen un incremento en los efectos benéficos, comparado con la utilización de los mismos de forma separada (Rodríguez-Estrada *et al.*, 2009, Hasan *et al.*, 2018, Lee *et al.*, 2018, Rahimnejad *et al.*, 2018).

La obtención de microorganismos autóctonos (específicos de cada especie) como probióticos será un objetivo básico para aumentar la producción acuícola. Pues uno de los retos limitantes en la acuicultura es encontrar los pre- y probióticos más eficientes para cada una de las especies acuáticas en particular, e incluirlos como parte de la dieta, además de los nutrientes esenciales, con el fin de llegar a tener formulaciones más eficientes y reducir los costos de los alimentos. Las investigaciones deberán estar enfocadas en el estudio de los microorganismos y los metabolitos aso-

ciados a la salud, que permitan el mejor crecimiento de las especies en cultivo.

## 6. Biología de sistemas en la acuicultura

La biología de sistemas es una rama multidisciplinaria de la ciencia que se basa en el estudio holístico de los organismos vivos que, a través de las ciencias “ómicas” (Figura 1), conducen a una mejor comprensión de cómo las propiedades biológicas emergen de las interacciones entre los componentes de los sistemas vivos (Horgan y Kenny, 2011). Las ciencias “ómicas” como la genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica, han venido a revolucionar el estudio, conocimiento y desarrollo de biotecnologías en el cultivo de las especies acuáticas más importantes a nivel mundial (Alfaro y Young, 2016, Rise *et al.*, 2019).

En la actualidad existen más de 1,000 genomas ensamblados de diferentes especies de peces en la plataforma del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI, por sus siglas en inglés), a partir de los cuales se pueden realizar un sin número de análisis, incluyendo, la identificación de genes, selección



de caracteres y mejoramiento genético, con el objetivo de predecir con precisión rasgos poligénicos complejos, como la resistencia a enfermedades, el aumento de las tasas de ganancia genética y minimizar la endogamia, así como los posibles efectos limitantes del genotipo por las interacciones ambientales (Zenger *et al.*, 2019).

Por otro lado, las últimas tecnologías, como la transcriptómica (secuenciación de ARNm de alto rendimiento, RNA-seq), han facilitado el entendimiento de la complejidad funcional de la expresión de genes de un organismo, en un principio, por la rápida identificación de genes clave involucrados en la reproducción, el crecimiento, estrés y enfermedades de es-

pecies de interés. Sin embargo, el potencial de estas aplicaciones hoy en día va dirigido además a generar recursos genéticos y lograr un entendimiento más completo, al identificar la expresión diferencial y correlacionada de genes, con las vías moleculares y de transducción de señales (Chandhini y Kumar, 2018, Heras 2020). Además, estas herramientas tendrán un papel importante para prever los efectos del cambio climático en la actividad acuícola, al poder, por ejemplo, evaluar genes de estrés en escenarios hipotéticos o actuales de incrementos de temperatura (Heras 2020, Natnan *et al.*, 2021).

De manera similar, la proteómica y metabolómica tienen aplicaciones

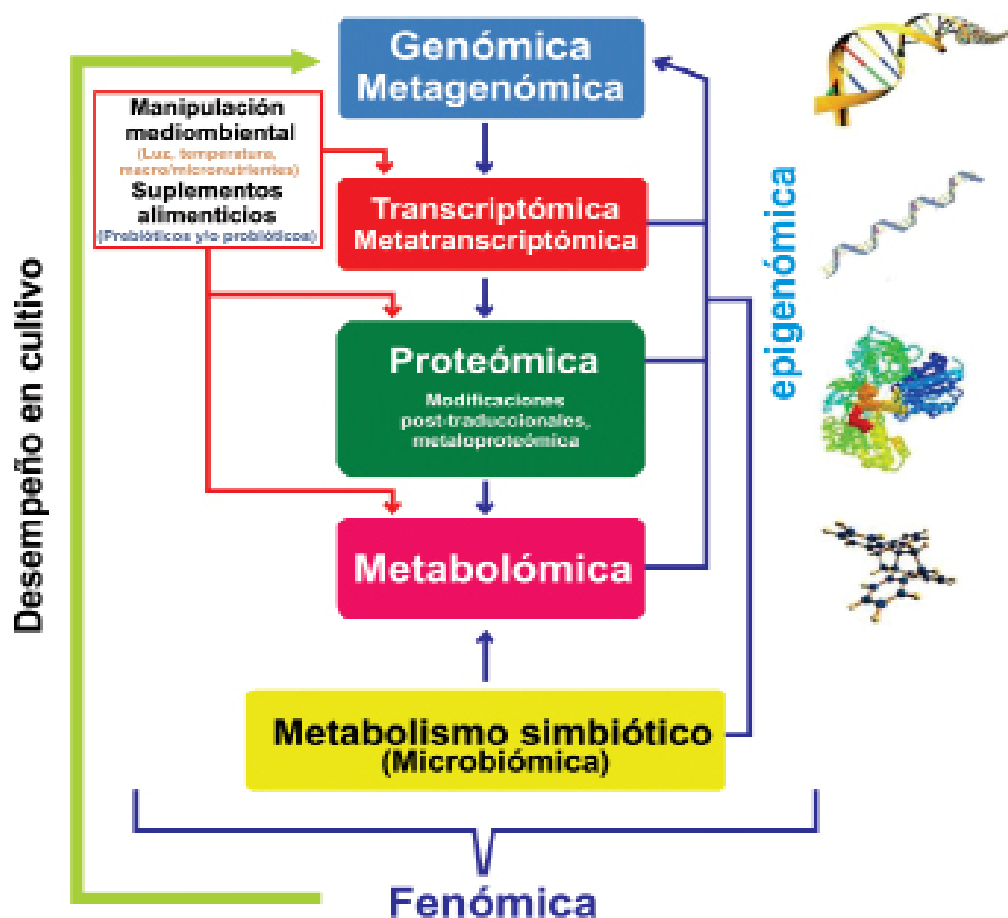


FIGURA 1. Ciencias ómicas y su interacción (Integrado y modificado de Dettmer *et al.*, 2007, Ramires-Ferreira *et al.*, 2010, Horgan y Kenny, 2011).

muy importantes para el sector acuícola. La proteómica por ejemplo, implica la extracción, separación y digestión de proteínas para con ello caracterizar los productos y subproductos acuícolas. Sin embargo, también se puede utilizar la proteómica dirigida a identificar proteínas específicas como alérgenos, o cualquier proteína asociada a la trazabilidad y calidad de los productos, por lo que esta ciencia tiene amplias aplicaciones en la acuicultura yendo desde la salud de los peces hasta la calidad y seguridad alimentaria de los productos (Nissa *et al.*, 2021). En este sentido, la metabolómica también ha sido utilizada para el estudio de aspectos medioambientales en peces, su salud y, especialmente, el estatus nutricional y la nutrición de peces en cultivo (Roque *et al.*, 2018, Alfaro y Young, 2016). Por ejemplo, recientemente, un análisis metabolómico encontró diferencias positivas de metabolitos del pez *Siniperca chuatsi* cultivados en un sistema de recirculación acuícola (RAS) contra peces cultivados en estanques tradicionales (Xiao *et al.*, 2020), abriendo una nueva línea de conocimiento y aplicación previamente inexplorada en la acuicultura.

En acuicultura actualmente se realizan un gran número de estudios integrales para comprender el vínculo entre nutrición, respuesta inmune y resistencia a enfermedades, por lo que el estudio del efecto de los nutrientes y el esquema alimenticio en el estado general de los organismos acuáticos en cultivo es de gran relevancia. Lo anterior es posible gracias a la nutrigenómica, la cual es otra ciencia ómica que integra a la biología de sistemas en la investigación nutricional, abordando el efecto de los nutrientes sobre el transcriptoma, proteoma, metaboloma, etcétera.

### 6.1 La nutrigenómica en la acuicultura

La industria de la acuicultura ha despertado especial interés en la nutrición de los peces

puesto que es necesario mejorar la producción de organismos acuáticos para obtener un crecimiento rápido y óptimo. Además, existe el desafío de formular alimentos balanceados adecuados para cada especie y buscar nuevas fuentes de ingredientes alimenticios, debido a que algunos de estos ingredientes actualmente provienen de fuentes que no serán sostenibles en el futuro.

La nutrigenómica se ha convertido en un área de investigación novedosa y multidisciplinaria, constituyendo una herramienta útil para evaluar las implicaciones asociadas o derivadas de una intervención alimentaria y sus componentes a nivel genómico (García-Cañas 2010, Ulloa *et al.*, 2011). Dicho en otras palabras, esta ciencia estudia a los nutrientes como señales químicas para incidir en la expresión genética y de esta forma modificar la síntesis de proteínas y el funcionamiento de las diversas rutas metabólicas (Coronado *et al.*, 2011).

El uso de la nutrigenómica en acuicultura es relativamente nuevo, sin embargo, es relevante identificar componentes dietéticos que ofrezcan un beneficio a los organismos acuáticos, también para el entendimiento de vías metabólicas específicas y así incrementar la producción de organismos, reduciendo pérdidas y teniendo poblaciones más saludables dentro de la acuicultura. La nutrigenómica utiliza diferentes herramientas como perfiles de expresión génica (transcriptoma, qPCR, microarreglos), biosíntesis de proteínas o cuantificación de metabolitos, que permiten detectar cambios fisiológicos sutiles, efectos nocivos y su impacto en el fenotipo por modificaciones dietéticas. Dentro de la acuicultura, los estudios de nutrigenómica van avanzando en un creciente número de especies acuícolas, gracias a las tecnologías de alto rendimiento y al desarrollo de los recursos genómicos (Martin *et al.*, 2016).

Se han realizado algunas investigaciones nutrigenómicas al realizar algunas modificaciones en la dietas para organismos acuáticos, como la sustitución de harina o aceite de pescado por ingredientes vegetales. En el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), se caracterizó el perfil nutrigenómico del estrés nutricional inducido por la inclusión de harina de soya; en el hígado se encontró una mayor expresión de genes involucrados con la digestión de proteínas, el metabolismo energético y las funciones inmunes en respuesta al estrés nutricional, mientras que en el tejido del intestino se encontraron genes específicos en respuesta a la enteritis (De Santis *et al.*, 2015). Con estos resultados se pudo demostrar que la inclusión de soya en la dieta conlleva a problemas en la salud de los organismos en cultivo, por lo tanto no es viable su utilización en esta especie.

En trucha arcoiris se realizó un análisis del estado nutricional después de un periodo de restricción alimenticia. Se observó una reducción en la expresión de genes asociados a la capacidad de síntesis de proteínas, al metabolismo y transporte de lípidos, a la respiración aeróbica, a las funciones sanguíneas y a la respuesta inmune. Este análisis nutrigenómico permitió concluir que la disminución general de la expresión génica, es una respuesta metabólica que permite conservar las reservas energéticas para mejorar la capacidad de supervivencia de los peces en ayuno (Salem *et al.*, 2007).

La nutrigenómica también ha sido muy útil para determinar la salud de los organismos, utilizando diferentes frecuencias alimenticias en las especies de cultivo. Por ejemplo, en el Bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*), a través de la expresión génica, fue posible determinar que la frecuencia de alimentación óptima para esta especie es 4 veces al día, en donde se obtuvo no sólo un mejor desempeño, sino también una mejora en la homeostasis li-

pídica, sin afectar el requerimiento energético de estos organismos (Zhang *et al.*, 2018).

Recientemente se ha determinado la relevancia de la nutrigenómica en una especie nativa de México, el pez blanco de Pátzcuaro. En este estudio se observó que larvas alimentadas con microdietas presentaron un bajo crecimiento respecto a aquellas que consumieron sólo alimento vivo, asimismo genes relacionados con el estrés, la inestabilidad del genoma y algunas marcas epigenéticas se encuentran sobre-expresadas, lo cual podría explicar el bajo rendimiento larvario observado con la microdieta. Por lo tanto, este enfoque nutrigenómico es una herramienta importante para evaluar el rendimiento de la dieta artificial en peces y la necesidad de modificar la formulación, tipo y proporción de los ingredientes en la elaboración de dietas para el pez blanco de Pátzcuaro (Juárez-Gutiérrez *et al.*, 2021).

Como ya se ha mencionado, el uso de probióticos en peces de cultivo ha ido incrementando debido a los buenos resultados en el desempeño de los organismos. Los estudios de evaluación del efecto de probióticos a nivel nutrigenómico en los peces son escasos y en la mayoría de ellos se han enfocado en la respuesta a nivel del sistema inmune, debido a los efectos encontrados por el uso de probióticos como el aumento de la inmunidad, la digestibilidad y la resistencia a enfermedades bacterianas patógenas infecciosas (Biswas *et al.*, 2013, Beck *et al.*, 2015, Nguyen *et al.*, 2017, Hasan *et al.*, 2018, 2019, Niu *et al.*, 2019).

De manera general, la suplementación probiótica aumenta los niveles de transcripción de genes que tienen que ver con procesos pro-inflamatorios, como las citocinas (Hasan *et al.*, 2018). El aumento en la expresión de citocinas pro-inflamatorias es asociado a un mejor estado inmunológico en peces y por lo tanto se presenta una mejor resistencia contra patógenos (Kim y Austin, 2006, Panigrahi *et*

*al.*, 2007, Pirarat *et al.*, 2011, Hasan *et al.*, 2018, 2019, Jang *et al.*, 2019).

Algunos probióticos, como las bacterias ácido lácticas, han sido estudiados de manera individual debido a que hay un incremento en las actividades enzimáticas del sistema digestivo, aumentan el crecimiento de los organismos y hay una mejor utilización del alimento, lo cual se ha correlacionado con la expresión de algunos genes puntuales (Jami *et al.*, 2019). Sin embargo, también se ha observado que la combinación de cepas probióticas presenta resultados relevantes e incluso mejores, a nivel de expresión génica, que al usar una sola cepa (Giri *et al.*, 2014, Beck *et al.*, 2015, Lazado *et al.*, 2015). Esto ha dado lugar al incremento en el uso de consorcios bacterianos para mejorar la salud de los peces en cultivo.

Aunque a la fecha se ha logrado analizar algunos de los efectos de la suplementación de probióticos en los peces, aún no está claro cómo es el mecanismo de acción dentro del organismo. Trabajos en donde se evalúe el transcriptoma de los organismos proporcionarán la información necesaria para un mejor entendimiento de la acción y resultados de los probióticos en los peces. Lo anterior para una mejor selección y funcionamiento de las cepas probióticas para un cultivo exitoso de diferentes especies de peces.

La interacción de las investigaciones entre la nutrición, el estado energético animal y la función inmunológica aún está lejos de ser clara en organismos acuáticos. En la acuicultura los alimentos formulados son significativamente diferentes de la dieta natural de los organismos cultivados, y actualmente se están buscando nuevas fuentes de nutrientes (proteínas y aceites) para la sustitución de los ingredientes de origen animal por materiales de origen vegetal (Jobling 2016). Además, ahora se incorporan aditivos funcionales, que mejoran la salud de los peces, reducen los brotes

de enfermedades y mejoran la capacidad de recuperación por infecciones. Usando nuevas tecnologías ómicas, como la nutrigenómica, los impactos de la nutrición en el sistema inmunológico se están volviendo más claros, puesto que es posible determinar alteraciones en la función inmunológica local y sistémica. Aunque se ha avanzado en la investigación para definir los cambios en la función inmune del huésped, los estudios acerca de la interacción entre la nutrición de los peces, el microbioma intestinal y el sistema inmunológico apenas están comenzando a emerger (Martin y Król, 2017).

## 6.2 La microbiómica en la acuicultura

En la actualidad los holo-estudios reconocen la asociación simbiótica y por lo tanto natural e imprescindible, de una especie animal con su microbiota endógena y su interacción con la microbiota ambiental (Limborg *et al.*, 2018). Las especies acuícolas, expuestas a una gran diversidad de bacterias y virus patógenos, no son la excepción y su microbiota se vislumbra como una barrera de defensa contra dichos patógenos (Chiu *et al.*, 2017).

Los peces nacen y mueren en un medio acuático que es muy denso en microorganismos ( $\sim 10^6$  bacteria y  $10^9$  virus por mL de agua, Whitman *et al.*, 1998), en comparación con el medio aéreo, aunque las condiciones ambientales suelen ser más estables en el medio acuático y por lo tanto también la carga y diversidad microbiana. Por consiguiente, el sistema inmune de los organismos acuáticos se desarrolla junto con esta alta densidad de microorganismos y concreta así una relación interdependiente entre el hospedero y su microbiota (Kogut *et al.*, 2020), que de hecho se co-regulan y co-evolucionan. El conocimiento de las reglas de interacción hospedero-huésped es aún incompleto, sin embargo algunos de los nichos que provee un organis-

mo complejo son colonizados densamente por microbiota endógena (Medzhitov 2007), al contrario de los sitios sistémicos que permanecen generalmente estériles. Uno de los sitios predilectos de colonización microbiana es el tracto digestivo tanto de vertebrados como de invertebrados. En la actualidad son amplios los estudios sobre caracterización de la microbiota intestinal de peces y otros organismos, que se llevan a cabo en todo el mundo, gracias al avance tecnológico que ha posibilitado realizar estudios “microbiómicos”, basados en los análisis ómicos de la microbiota, a partir del desarrollo de técnicas de secuenciación de DNA, RNA y proteínas, concretando en el entendimiento de la función que tiene la microbiota sobre los organismos acuáticos: digestión, homeostasis energética, síntesis de vitaminas, aminoácidos y ácidos grasos y la ya mencionada interacción directa con el sistema inmune.

Se sabe que un sistema inmune depende de una interrelación con microorganismos y sus moléculas, en consecuencia, en la actualidad se estudia el paradigma de crecer a los animales con un sistema inmune fortalecido gracias a la continua exposición a microorganismos, contrariamente a mantenerlos en un medio estéril y con un sistema inmune deprimido.

Hay muchos eventos microbiológicos de los cuales sacar partido con los análisis microbiómicos. Por un lado, se da la posibilidad de diferenciar las pérdidas de diversidad microbiana, ocasionadas por la domesticación de los organismos al comparar organismos silvestres contra cultivados. Por otro lado, en la actualidad se han realizado muchos estudios en diversas especies de peces alimentados con dietas adicionadas con suplementos prebióticos y/o probióticos con la finalidad de observar la influencia de éstos sobre el holobionte.

Finalmente, es interesante observar cómo la microbiota se torna en un “proxy” o mar-

cador tanto ambiental como de salud, es decir se empiezan a reconocer patrones y comunidades de la microbiota intestinal, de los biofiltros en los sistemas acuícolas de recirculación, de los flóculos microbianos en los sistemas biofloc y del agua como tal, que nos estarían indicando el estado de cada ambiente, mostrando por ejemplo una posible disbiosis en los organismos cultivados, causada por estrés o contaminación del sistema (Perry *et al.*, 2020).

## 7. La cultura del consumo del pescado

En el período 1961-2017, la tasa media de crecimiento anual del consumo total de pescado aumentó un 3.1%, superando la tasa de crecimiento anual de la población humana (1.6%). En valores *per cápita*, el consumo de pescado comestible aumentó de 9 kg (equivalente en peso vivo) en 1961 a 20.3 kg en 2017. Las estimaciones preliminares del consumo de pescado *per cápita* en 2018 se sitúan actualmente en 20.5 kg (FAO 2020). El aumento en la demanda de pescados y mariscos promueve la exportación e importación de productos pesqueros entre países. Es necesaria una trazabilidad para darle certeza al consumidor sobre el origen y manejo de los productos pesqueros y acuícolas. Sin embargo, debido al poco conocimiento y falta de cultura de consumo de pescados y mariscos en nuestro país, generalmente esto no se implementa. La falta de trazabilidad provoca diversos problemas, siendo el principal, el que el consumidor desconozca si el producto es de origen nacional o importado, acuícola o pesquero, si es inocuo, saludable y, en ocasiones, si es de origen marino o de agua dulce (Sterling y Chiasson, 2014, Goulding 2016).

En México a la falta de cultura gastronómica de pescados y mariscos, debe sumarse el poco interés por conocer lo que se consume. Por lo general se conoce con el nombre



“pescado” a todas las especies de peces disponibles en el mercado, dando por sentado que todas las especies son iguales en origen, manejo, calidad nutricional, etc., ignorando completamente su trazabilidad. Este desconocimiento por parte del consumidor, fomenta la sustitución de especies, provocando “estafas” por parte del comerciante, que sirve o vende al consumidor una especie exótica barata y de mala calidad, en lugar de la especie ofrecida, nativa y con alto valor comercial (Sameera *et al.*, 2021). Los pescados y mariscos en general, son propensos a prácticas ilegales en su captura y comercialización (Spink y Moyer, 2011). Esta sustitución de especies ocurre en todo el mundo pero desgraciadamente es una práctica común en México (Sarmiento-Camacho y Valdez-Moreno, 2018, OCEANA 2021).

Aunado a esto existe un problema más que aqueja el mercado de productos pesqueros: la práctica de la pesca ilegal no declarada y no reglamentada que también se realiza para satisfacer la creciente demanda de pescado y productos pesqueros (Sterling y Chiasson, 2014). Uno de los retos más importantes de México es evitar la entrada de productos no inocuos, sin trazabilidad, que comúnmente ocasionan una competencia desleal con especies mexicanas y un alto riesgo de enfermedades agudas y crónicas. Para ello, se requeriría de un monitoreo constante por parte de las autoridades de sanidad así como de certificados de inocuidad, calidad y buenas prácticas. Sin embargo, nada de lo anterior será posible mientras el consumidor no lo solicite, por lo que esfuerzos de divulgación y grupos como COMEPESCA (<http://comepesca.com/>) serán muy importantes en el futuro.

Desde el año 2014 la producción a través de la acuicultura de pescados y mariscos para consumo humano alcanzó a la producción obtenida a través de la pesca (FAO 2020), siendo un registro histórico por su importancia para

la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, la misma FAO, en un documento llamado “*Directrices técnicas para la certificación en acuicultura*”, menciona que se tienen huecos reglamentarios en aspectos relativos al bienestar de los animales, los asuntos ambientales y las cuestiones socioeconómicas, puesto que no han sido sometidos al cumplimiento o la certificación. La producción y el comercio de la acuicultura han aumentado, pero han surgido preocupaciones en relación con los posibles impactos negativos sobre el ambiente, las comunidades y los consumidores. Las soluciones a muchos de estos asuntos se han identificado y tratado. La aplicación de la certificación en la acuicultura se ve ahora como una herramienta basada en el mercado y con un gran potencial para minimizar los virtuales impactos negativos, aumentar los beneficios sociales y del consumidor, así como la confianza en el proceso productivo y de comercialización de la acuicultura.

## 8. Perspectivas y oportunidades regionales

La soberanía alimentaria de los países, especialmente aquellos en vías de desarrollo, en términos de la acuicultura, necesariamente deberá transitar hacia el cultivo de las especies nativas de importancia regional. Por ejemplo, en la región del Altiplano de México, las condiciones climatológicas limitan el desempeño en cultivo de varias de las especies exóticas cultivadas. Esto es, que las temperaturas del agua (típicamente entre los 17 y 24 °C) son subóptimas para el crecimiento de especies, como la trucha y la tilapia (altas para la primera y bajas para la segunda). Los productores comúnmente llaman a este intervalo “temperaturas incómodas” puesto que condiciona el rendimiento de estas especies y por tanto la rentabilidad de las granjas. Aunado a esto, se encuentra la baja escala de producción por



unidad acuícola, así como los precios y competencia de mercado de estas especies. Michoacán, por ejemplo, es el estado con mayor número de unidades dulceacuícolas; sin embargo, al igual que ocurre en gran parte del país, la actividad es considerada de subsistencia o de pequeña escala, debido a que un alto porcentaje de estas unidades producen menos de 5 toneladas por año. La gran competencia con productos iguales o similares importados a menor costo, necesariamente hace que la producción sea muy local o de autoconsumo. Por tanto, la mala selección de especies de cultivo, la baja escala de producción y los precios marginales, limitan el desarrollo y crecimiento de la actividad, dependiendo en muchos casos de otras actividades y apoyos gubernamentales para mantenerse.

Es aquí donde las especies nativas de peces entre ellas, los peces blancos, las acúmaras, mojarras nativas, robalos y pejelagartos, por mencionar a algunos, tienen un gran potencial para reactivar las cadenas de valor a través de su producción, generando mayores utilidades para los productores. Esto, sin embargo, no podrá realizarse sin el apoyo gubernamental y políticas públicas que promuevan la transferencia y el cultivo de estas especies así como se ha hecho para las especies exóticas. Se requieren además, extensionistas entrenados en las técnicas modernas de cultivo de peces, que apoyen a los productores y que no solo sometan proyectos, sino que les den seguimiento, para hacerlos exitosos.

Otra oportunidad de aplicación de la acuicultura de las especies nativas de peces, es el repoblamiento de embalses, especialmente a lo largo del Pacífico mexicano, en donde la construcción de presas sin escaleras para las especies migratorias han generado que varias de ellas (catádomas o anádromas), como los robalos, lisas, langostinos, hayan desaparecido de nuestros ríos.

Esta grave pérdida de especies ha generado lo que se denomina “violencia ambiental”, creando un desbalance ecológico, con implicaciones graves para las comunidades que anteriormente se nutrían y vivían de ellas. A pesar de que no existe ningún estudio al respecto de los impactos económicos, ecológicos y sociales, se prevé que estos efectos estén contribuyendo en gran medida a las actividades ilícitas y la migración, así como un aumento de pobreza y desnutrición de estas comunidades. Por lo anterior, el repoblamiento de embalses con algunas de estas especies, tendrían un impacto directo e inmediato, no sólo en el balance ecológico sino también en mantener la identidad y aumentar la salud y calidad de vida actual de los pobladores ribereños.

En México existe un uso indiscriminado e inapropiado de los recursos hídricos. Lo anterior, principalmente debido a que la producción agropecuaria se ha basado en monocultivos tradicionales, que no comparten recursos para hacer más eficiente su uso. Aunado a esto, se encuentra el hecho de que actualmente ya existe un déficit hídrico, lo cual limita los permisos y concesiones para su utilización, mientras que el agua disponible se encuentra en su mayoría contaminada. En este contexto, las alternativas de producción que reutilicen el agua, como los sistemas agroacuícolas integrados, serán fundamentales para ampliar la capacidad productiva y las necesidades de alimentación y, en medida de lo posible, el desarrollo de tecnologías para el cultivo de especies nativas bajas en la cadena trófica, ya sean marinas o dulceacuícolas.

## Referencias

- ABU-ELALA, N., MARZOUK, M., AND MOUSTAFA, M., 2013, USE OF DIFFERENT *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* BIOTIC FORMS AS IMMUNE-MODULATOR AND GROWTH PROMOTER FOR *OREOCHROMIS NILOTICUS* CHALLENGED WITH SOME FISH PATHOGENS, *INTERNATIONAL JOURNAL OF VETERINARY SCIENCE AND MEDICINE* [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.IJVSM.2013.05.001](http://dx.doi.org/10.1016/J.IJVSM.2013.05.001)

- ABU-ELALA, N.M., YOUNIS, N.A., ABUBAKR, H.O., RAGAA, N.M., BORGES, L.L., AND BONATO, M.A., 2018, EFFICACY OF DIETARY YEAST CELL WALL SUPPLEMENTATION ON THE NUTRITION AND IMMUNE RESPONSE OF NILE TILAPIA, *EGYPTIAN JOURNAL OF AQUATIC RESEARCH*, 44 (4), 333-341.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.EJAR.2018.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.001)
- AHMED, I., AND KHAN, M.A., 2006, DIETARY BRANCHED-CHAIN AMINO ACID VALINE, ISOLEUCINE AND LEUCINE REQUIREMENTS OF FINGERLING INDIAN MAJOR CARP, *CIRRHINUS MRIGALA* (HAMILTON), *BRITISH JOURNAL OF NUTRITION*, 96, 450-460. DOI: 10.1079/BJN20061845
- AHMED, N., THOMPSON, S., AND GLASER, M., 2019, GLOBAL AQUACULTURE PRODUCTIVITY, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, AND CLIMATE CHANGE ADAPTABILITY, *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 63, 159-172.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S00267-018-1117-3](https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3)
- AKHTER, N., WU, B., MAHMOOD-MEMON, A., AND MOHSIN, M., 2015, PROBIOTICS AND PREBIOTICS ASSOCIATED WITH AQUACULTURE: A REVIEW, *FISH & SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 45, 733-741.  
[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.FSI.2015.05.038](http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2015.05.038)
- AKTER, M.N., HASHIM, R., SUTRIANA, A., SITI-AZIZAH, M.N., AND ASADUZZAMAN, M., 2019, EFFECT OF *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS* SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCES, DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES AND GUT HISTOMORPHOLOGY OF STRIPED CATFISH (*PANGASIANODON HYPOPHTHALMUS* SAUVAGE, 1878) JUVENILES, *AQUACULTURE RESEARCH*, 1-12. DOI: 10.1111/ARE.13938
- ALFARO, A.C., AND YOUNG, T., 2016 SHOWCASING METABOLOMIC APPLICATIONS IN AQUACULTURE: A REVIEW, *REVIEWS IN AQUACULTURE*, 10(1), 135-152. DOI:10.1111/RAQ.12152
- ASSEFA, A., AND ABBUNA, F., 2018, MAINTENANCE OF FISH HEALTH IN AQUACULTURE: REVIEW OF EPIDEMIOLOGICAL APPROACHES FOR PREVENTION AND CONTROL OF INFECTIOUS DISEASES OF FISH, *HINDAWI VETERINARY MEDICINE INTERNATIONAL*, 1-10. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2018/5432497](https://doi.org/10.1155/2018/5432497)
- AYYAT, M.S., LABIB, H.M., AND MAHMOUD, H.K.A., 2014, PROBIOTIC COCKTAIL AS A GROWTH PROMOTER IN NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*), *JOURNAL OF APPLIED AQUACULTURE*, 26, 208-215. DOI: 10.1080/10454438.2014.934164
- BADJECK, M.-C., ALLISON, E., HALLS, A., AND DULVY, N., 2010, IMPACTS OF CLIMATE VARIABILITY AND CHANGE ON FISHERY BASED LIVELIHOODS, *MARINE POLICY*, 34, 375-383.
- BAGUM, N., MONIR, M.S., AND KHAN, M.H., 2013, PRESENT STATUS OF FISH DISEASES AND ECONOMIC LOSSES DUE TO INCIDENCE OF DISEASE IN RURAL FRESHWATER AQUACULTURE OF BANGLADESH, *JOURNAL OF INNOVATION AND DEVELOPMENT STRATEGY*, 7(3), 48-53. ISSN-1997-2571
- BECK, B.R., KIM, D., JEON, J., LEE, S.M., KIM, H.K., AND KIM, O.J., 2015, THE EFFECTS OF COMBINED DIETARY PROBIOTICS *LACTOCOCCUS LACTIS* BFE920 AND *LACTOBACILLUS PLANTARUM* FGL0001 ON INNATE IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE IN OLIVE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*), *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 42,177-183.
- BELL, J.D., GANACHAUD, A., GEHRKE, P.C., GRIFFITHS, S.P., HOBDAV, A.J., HOEGH-GULDBERG, O., JOHNSON, J.E., BORGNE, L.E., LEHODEY, P., LOUGH, J.M., MATEAR, R.J., PICKERING, T.D., PRATCHETT, M.S., GUPTA, A.S., SENINA, I., AND WAYCOTT, M., 2013, MIXED RESPONSES OF TROPICAL PACIFIC FISHERIES AND AQUACULTURE TO CLIMATE CHANGE, *NATURE CLIMATE CHANGE*, 3, 591-599.  
 DOI: 10.1038/NCLIMATE1838
- BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S., SOUKOULIS, C., YONEKURA, L., AND FISK, I., 2013, OPTIMIZATION OF SPRAY-DRYING PROCESS CONDITIONS FOR THE PRODUCTION OF MAXIMALLY VIABLE MICROENCAPSULATED *L. ACIDOPHILUS* NCIMB 701748, *DRYING TECHNOLOGY*, 31, 1274-1283.  
 DOI:10.1080/07373937.2013.788509
- BÉNÉ, C., BARANGE, M., SUBASINGHE, R., PINS-TRUP-ANDERSEN, P., MERINO, G., HEMRE, G.I., AND WILLIAMS, M., 2015, FEEDING 9 BILLION BY 2050-PUTTING FISH BACK ON THE MENU, *FOOD SECURITY*, 7, 261-274.
- BERNORTH, E.-M., CHAVEZ, C., CHINABUT S., AND MOHAN, C.V., 2008, "INTERNATIONAL TRADE IN AQUATIC ANIMALS - A RISK TO AQUATIC ANIMAL HEALTH STATUS?", BONDAD-REANTASO, M.G., MOHAN, C.V., CRUMLISH, M., AND SUBASINGHE, R.P., *DISEASES IN ASIAN AQUACULTURE VI*, MANILA, PHILIPPINES, FISH HEALTH SECTION, ASIAN FISHERIES, 2008, 53-70. ISBN 978-971-9
- BETANCOR, M.B., SPRAGUE, M., USHER, S., SAYANOVA, O., CAMPBELL, P.J., NAPIER, J.A., AND TOCHER, D.R., 2015, A NUTRITIONALLY-ENHANCED OIL FROM TRANSGENIC *CAMELINA SATIVA* EFFECTIVELY REPLACES FISH OIL AS A SOURCE OF EICOSAPENTAENOIC ACID FOR FISH, *SCIENTIFIC REPORTS*, 5(1), 1-10. DOI: 10.1038/srepo8104
- BIBUS, D.M., 2015, LONG-CHAIN OMEGA-3 FROM LOW-TROPHIC-LEVEL FISH PROVIDES VALUE TO

- FARMED SEAFOOD, *LIPID TECHNOLOGY*, 27(3), 55-58. [HTTP://DOI.ORG/10.1002/LITE.201500006](http://doi.org/10.1002/LITE.201500006)
- BISWAS G., KORENAGA, H., NAGAMINE, R., TAKAYAMA, H., KAWAHARA, S., AND TAKEDA, S., 2013, CYTOKINE RESPONSES IN THE JAPANESE PUFFERFISH (*TAKIFUGU RUBRIPES*) HEAD KIDNEY CELLS INDUCED WITH HEAT-KILLED PROBIOTICS ISOLATED FROM THE MONGOLIAN DAIRY PRODUCTS, *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 34, 1170-1177.
- BRIGGS, M., FUNGE-SMITH, S., SUBASINGHE, R., AND PHILLIPS, M., 2004, INTRODUCTION AND MOVEMENT OF *PENAEUS VANNAMEI* AND *PENAEUS STYLIROSTRIS* IN ASIA AND THE PACIFIC. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS REGIONAL OFFICE FOR ASIA AND THE PACIFIC BANGKOK. RAP PUBLICATION 2004/10
- CAO, H., YU, R., ZHANG, Y., HU, B., JIAN, S., WEN, C., KAJBAF, K., KUMAR, V., AND YANG, G., 2019, EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH  $\beta$ -GLUCAN AND *BACILLUS SUBTILIS* ON GROWTH, FILLET QUALITY, IMMUNE CAPACITY, AND ANTIOXIDANT STATUS OF PENGZE CRUCIAN CARP (*CARASSIUS AURATUS* VAR. *PENGZE*), *AQUACULTURE*, 508, 106-112. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.04.064](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.064)
- CEREZUELA, R., MESEGUER, J., AND ESTEBAN, M.A., 2011, CURRENT KNOWLEDGE IN SYMBIOTIC USE FOR FISH AQUACULTURE: A REVIEW, *JOURNAL OF AQUACULTURE RESEARCH & DEVELOPMENT*, 1, 1-7. [HTTPS://DOI.ORG/10.4172/2155-9546.S1-008](https://doi.org/10.4172/2155-9546.s1-008)
- CHÁVEZ-SÁNCHEZ, M.C., PIMENTEL-ACOSTA, C.A., OLIVERA-NOVOA, M.A., HERNÁNDEZ, C., DEL RÍO-ZARAGOZA, O.B., ABAD-ROSALES, S.M., AND MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, I., 2018, THE PANTOTHENIC ACID REQUIREMENT IN JUVENILE SPOTTED ROSE SNAPPER *LUTJANUS GUTTATUS* (STEINDACHNER, 1869), *LATIN AMERICAN JOURNAL OF AQUATIC RESEARCH* 46(5), 1001-1010. DOI: 10.3856/VOL46-ISSUE5-FULLTEXT-13
- CHANDHINI, S., AND REJISH-KUMAR, V.J., 2018, TRANSCRIPTOMICS IN AQUACULTURE: CURRENT STATUS AND APPLICATIONS, *REVIEWS IN AQUACULTURE*, 11, 1379-1397. DOI:10.1111/RAQ.12298
- CHIU, J.M.Y., LI, S., LI, A., PO, B., ZHANG, R., SHIN, P.K.S., AND QIU, J.-W., 2012, BACTERIA ASSOCIATED WITH SKELETAL TISSUE GROWTH ANOMALIES IN THE CORAL *PLATYGIRA CARNOSUS*, *FEMS MICROBIOLOGY ECOLOGY*, 79(2), 380-391. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1574-6941.2011.01225.X](https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01225.x)
- CONAPESCA 2011. COMISIÓN NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA. ANUARIO ESTADÍSTICO DE PESCA Y ACUICULTURA 2011. EDITORIAL COMISIÓN NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA. PRIMERA EDICIÓN, MAZATLÁN, MÉXICO. 305 PP.
- CORONADO, H.M., VEGA Y LEÓN, S., GUTIÉRREZ, T.R., PÉREZ, G.J., AND PELÁEZ, M.K., 2011, NUTRIGENÉTICA APLICADA: DIETA PERSONALIZADA Y FORMACIÓN ACADÉMICA PARA LA PRÁCTICA PROFESIONAL, *REVISTA CHILENA DE NUTRICIÓN*, 38(4), 492-500. [HTTPS://DOI.ORG/10.4067/S0717-75182011000400013](https://doi.org/10.4067/S0717-75182011000400013)
- DAW, T., ADGER, W.N., BROWN, K., AND BADJECK, M.-C., 2009, "CLIMATE CHANGE AND CAPTURE FISHERIES: POTENTIAL IMPACTS, ADAPTATION AND MITIGATION", IN: COCHRANE, K., DE YOUNG, C., SOTO, D., AND BAHRI, T., *CLIMATE CHANGE IMPLICATIONS FOR FISHERIES AND AQUACULTURE: OVERVIEW OF CURRENT SCIENTIFIC KNOWLEDGE*, ROME, ITALY, FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER No. 530., 2009, 107-150. [WWW.FAO.ORG/DOCREP/012/I0994E/I0994E00.HTM](http://www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e00.htm)
- DETTMER, K., ARONOV, P.A., AND HAMMOCK, B.D., 2007, Mass SPECTROMETRY-BASED METABOLOMICS, *MASS SPECTROMETRY REVIEWS*, 26(1), 51-78. DOI: 10.1002/MAS.20108.
- DE SANTIS, C., BARTIE, K.L., OLSEN, R.E., TAGGART, J.B., AND TOCHER, D.R., 2015, NUTRIGENOMIC PROFILING OF TRANSCRIPTIONAL PROCESSES AFFECTED IN LIVER AND DISTAL INTESTINE IN RESPONSE TO A SOYBEAN MEAL-INDUCED NUTRITIONAL STRESS IN ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR*), *COMPARATIVE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY PART D: GENOMICS AND PROTEOMICS*, 15, 1-11. [HTTP://DOI:10.1016/J.CBD.2015.04.001](http://doi:10.1016/j.cbd.2015.04.001)
- DE SILVA, S.S., AND SOTO, D., 2009, "EL CAMBIO Y LA ACUICULTURA: REPERCUSIONES POTENCIALES, ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN", COCHRANE, K., DE YOUNG, C., SOTO, D., AND BAHRI, T., *CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA PESCA Y LA ACUICULTURA: VISIÓN DE CONJUNTO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS*, ROME, ITALY, FAO DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA Y ACUICULTURA, No 530, 2009.
- DE YOUNG, C., SOTO, D., BAHRI, T., AND BROWN, D., 2012, "BUILDING RESILIENCE FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE FISHERIES AND AQUACULTURE SECTOR", MEYBECK, A., LANKOSKI, J., REDFERN, S., AZZU, N., AND GITZ, V., *BUILDING RESILIENCE FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE AGRICULTURE SECTOR: PROCEEDINGS OF A JOINT FAO/OECD WORKSHOP*, ROME, ITALY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2012, 23-24.

- RESILIENCE FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE AGRICULTURE SECTOR: PROCEEDINGS OF A JOINT FAO/OECD WORKSHOP, ROME, ITALY, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2012, 23–24.
- DIAS, J.A.R., ABE, H.A., SOUSA, N.C., COUTO, M.V.S., CORDEIRO, C.A.M., MENESES, J.O., CUNHA, F.S., MOURIÑO, J.L.P., MARTINS, M.L., BARBAS, L.A.L., CARNEIRO, P.C.F., MARIA, A.N., AND FUJIMOTO, R.Y., 2018, DIETARY SUPPLEMENTATION WITH AUTOCHTHONOUS *BACILLUS CEREUS* IMPROVES GROWTH PERFORMANCE AND SURVIVAL IN TAMBACUI *COLOSSOMA MACROPOMUM*, *AQUACULTURE RESEARCH*, 49, 3063–3070. DOI: 10.1111/ARE.13767
- DIMITROGLOU, A., MERRIFIELD, D.L., CARNEVALI, O., PICCHIETTI, S., AVELLA, M., DANIELS, C., GÜROY, D., AND DAVIES, S.J., 2011, MICROBIAL MANIPULATIONS TO IMPROVE FISH HEALTH AND PRODUCTION – A MEDITERRANEAN PERSPECTIVE, *FISH & SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 30, 1–16. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FSI.2010.08.009](https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.08.009)
- DUARTE, C.M., HOLMER, M., OLSEN, Y., SOTO, D., MARB, N., GUIU, J., BLACK, K., AND KARAKASSIS, I., 2009, WILL THE OCEANS HELP FEED HUMANITY? *BIOSCIENCE*, 59(11), 967–976. [HTTPS://DOI.ORG/10.1525/BIO.2009.59.11.8](https://doi.org/10.1525/BIO.2009.59.11.8)
- ESSA, M.A., EL-SERAFY, S.S., EL-EZABI, M.M., DABOOR, S.M., ESMAEL, S.M., AND LALL, S.P., 2010, EFFECT OF DIFFERENT DIETARY PROBIOTICS ON GROWTH, FEED UTILIZATION AND DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITIES OF NILE TILAPIA, *OREOCHROMIS NILOTICUS*, *JOURNAL OF THE ARABIAN AQUACULTURE SOCIETY*, 5, 143–162.
- ESPINAL, C.A., AND MATULIĆ, D., 2019, “RECIRCULATING AQUACULTURE TECHNOLOGIES”, GODDEK, K.S., JOYCE, A., KOTZEN, B., AND BURNELL, G.M., *AQUAPONICS FOOD PRODUCTION SYSTEMS. COMBINED AQUACULTURE AND HYDROPONIC PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE*, CHAM, SWITZERLAND, SPRINGER OPEN, 2019, 35–76. ISBN 978-3-030-15942-9
- FAO, 1995, “CÓDIGO DE CONDUCTA PARA LA PESCA RESPONSABLE. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN”, ROME, ITALY, P.53.
- FAO, 2005, “IMPACTS OF THE TSUNAMI ON FISHERIES, AQUACULTURE AND COASTAL LIVELIHOODS”, [HTTP://WWW.FAO.ORG/FISHERY/DOCS/DOCUMENT/TSUNAMIS\\_05/JAN\\_05\\_2005/TSUNAMI\\_5\\_1\\_05.PDF](http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/TSUNAMIS_05/JAN_05_2005/TSUNAMI_5_1_05.PDF)
- FAO, 2006, “PROBIOTICS IN FOOD HEALTH AND NUTRITIONAL PROPERTIES AND GUIDELINES FOR EVALUATION”, FAO FOOD AND NUTRITION PAPER NO. 85, FAO, ROME, ITALY. ISBN 92-5-105513-0.
- FAO, 2014, “THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE 2014”, ROME, ITALY, P. 223.
- FAO, 2020, “EL ESTADO MUNDIAL DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA 2020”, LA SOSTENIBILIDAD EN ACCIÓN”, ROME, ITALY, [HTTPS://DOI.ORG/10.4060/CA9229ES](https://doi.org/10.4060/CA9229ES)
- FUNGE-SMITH, S., AND PHILLIPS, M.J., 2001, “AQUACULTURE SYSTEMS AND SPECIES”, SUBASINGHE, R.P., BUENO, P., PHILLIPS, M.J., HOUGH, C., MCGLADDERY, S.E., AND ARTHUR, J.R., *AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM. TECHNICAL PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM*, BANGKOK, THAILAND, NACA, 2001, 129–135. ISBN: 9747313553 9789747313550
- GAO, Q., XIAO, C., MIN, M., ZHANG, C., PENG, S., AND SHI, Z., 2016, EFFECTS OF PROBIOTICS DIETARY SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCE, INNATE IMMUNITY AND DIGESTIVE ENZYMES OF SILVER POMFRET, *PAMPUS ARGENTEUS*, *INDIAN JOURNAL OF ANIMAL RESEARCH*, 50(6), 936–941. DOI:10.18805/IJAR.9640
- GARCÍA-CAÑAS, V., SIMÓ, C., LEÓN, C., AND CIFUENTES, A., 2010, ADVANCES IN NUTRIGENOMICS RESEARCH: NOVEL AND FUTURE ANALYTICAL APPROACHES TO INVESTIGATE THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF NATURAL COMPOUNDS AND FOOD FUNCTIONS, *JOURNAL OF PHARMACEUTICAL AND BIOMEDICAL ANALYSIS*, 51(2), 290–304. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JPBA.2009.04.019](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.04.019)
- GHAEDI, G., KEYVANSHOKOOL, S., AZARM, H.M., AND AKHLAGHI, M., 2015, EFFECTS OF DIETARY  $\beta$ -GLUCAN ON MATERNAL IMMUNITY AND FRY QUALITY OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*), *AQUACULTURE*, 441, 78–83. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.AQUACULTURE.2015.02.023](http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.023)
- GIBSON, G.R., HUTKINS, R., SANDERS, M.E., PRESCOTT, S.L., REIMER, R.A., SALMINEN, S.J., SCOTT, K., STANTON, C., SWANSON, K.S., CANI, P.D., VERBEKE, K., AND REID, G., 2017, EXPERT CONSENSUS DOCUMENT: THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR PROBIOTICS AND PREBIOTICS (ISAPP) CONSENSUS STATEMENT ON THE DEFINITION AND SCOPE OF PREBIOTICS, *NATURE REVIEWS GASTROENTEROLOGY & HEPATOLOGY*, 14, 491–502. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/NRGASTRO.2017.75](https://doi.org/10.1038/NRGASTRO.2017.75)
- GIRI, S.S., SUKUMARAN, V., SEN, S.S., AND JENA, P.K.,



- 2014, EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION OF POTENTIAL PROBIOTIC *BACILLUS SUBTILIS* VSG1 SINGULARLY OR IN COMBINATION WITH *LACTOBACILLUS PLANTARUM* VSG3 OR/AND *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* VSG2 ON THE GROWTH, IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE OF *LABEO ROHITA*, *AQUACULTURE NUTRITION*, 20, 163–171.
- GODDEK, S., JOYCE, A., KOTZEN, B., AND DOS-SANTOS, M., 2019, “ACUAPONICS AND GLOBAL FOOD CHALLENGES”, GODDEK, K.S., JOYCE, A., KOTZEN, B., AND BURNELL, G.M., *AQUAPONICS FOOD PRODUCTION SYSTEMS. COMBINED AQUACULTURE AND HYDROPONIC PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE*, CHAM, SWITZERLAND, SPRINGER OPEN, 2019, 3-17. ISBN 978-3-030-15942-9
- GONG, Y.L., LIAO, X.D., LIANG, J.B., JAHROMI, M.F., CAO, W.Z., AND WU, Y.B., 2013, SACCHAROMYCES CEREVISIAE LIVE CELLS DECREASED IN VITRO METHANE PRODUCTION IN INTESTINAL CONTENT OF PIGS, *ASIAN AUSTRALAS. JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE*, 26(6), 856-863. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.5713/AJAS.2012.12663](http://dx.doi.org/10.5713/AJAS.2012.12663)
- GOULDING, I.C., 2016, “MANUAL ON TRACEABILITY SYSTEMS FOR FISH AND FISHERY PRODUCTS”, CRFM SPECIAL PUBLICATION No.13, p. 17, ISBN: 978-976-8257-37-6.
- GRAFTON, R.Q., DAUGBJERG, C., AND QURESHI, M.E., 2015, TOWARDS FOOD SECURITY BY 2050, *FOOD SECURITY*, 7, 179-183. DOI 10.1007/s12571-015-0445-x
- GUERREIRO, I., OLIVA-TELES, A., AND ENES, P., 2017, PREBIOTICS AS FUNCTIONAL INGREDIENTS: FOCUS ON MEDITERRANEAN FISH AQUACULTURE, *REVIEWS IN AQUACULTURE*, 10, 800-832. DOI: 10.1111/RAQ.12201
- HAHOR, W., THONGPRAJUKAEW, K., AND SUANYUK, N., 2019, EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION OF OLIGOSACCHARIDES ON GROWTH PERFORMANCE, GUT HEALTH AND IMMUNE RESPONSE OF HYBRID CATFISH (*PANGASIANODON GIGAS* × *PANGASIANODON HYPOPHthalmus*), *AQUACULTURE*, 507, 97-107. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.010
- HASAN, M.T., JANG, W.J., KIM, H., LEE, B.J., KIM, K.W., HUR, S.W., LIM, S.G., BAI, S.C., AND KONG, I.S., 2018, SYNERGISTIC EFFECTS OF DIETARY *BACILLUS* SP. SJ-10 PLUS β-GLUCOOLIGOSACCHARIDES AS A SYMBIOTIC ON GROWTH PERFORMANCE, INNATE IMMUNITY AND STREPTOCOCCOSIS RESISTANCE IN OLIVE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*), *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 82, 544–553.
- HASAN, M.T., JANG, W.J., LEE, B.J., KIM, K.W., HUR, S.W., LIM, S.G., BAI, S.C., AND KONG, I.S., 2019, HEAT-KILLED *BACILLUS* SP. SJ-10 PROBIOTIC ACTS AS A GROWTH AND HUMORAL INNATE IMMUNITY RESPONSE ENHANCER IN OLIVE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*), *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 88, 424–431.
- HE, J., ZHANG, P., SHEN, L., NIU, L., TAN, Y., CHEN, L., ZHAO, Y., BAI, L., HAO, X., LI, X., ZHANG, S., AND ZHU, L., 2020, SHORT-CHAIN FATTY ACIDS AND THEIR ASSOCIATION WITH SIGNALLING PATHWAYS IN INFLAMMATION, GLUCOSE AND LIPID METABOLISM, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES*, 21, 1-16. DOI:10.3390/IJMS21176356.
- HERAS, J., 2020, FISH TRANSCRIPTOMICS: APPLIED TO OUR UNDERSTANDING OF AQUACULTURE. PREPRINTS 2020010332 DOI: 10.20944/PREPRINTS202001.0332.V1.
- HERNÁNDEZ-MANCIPE, L.E., LONDOÑO-VÉLEZ, J.I., HERNÁNDEZ-GARCÍA, K.A., AND TORRES-HERNÁNDEZ, L.C., 2019, LOS SISTEMAS BIOFLOC: UNA ESTRATEGIA EFICIENTE EN LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA, *CES MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA*, 14(1), 70-99.
- HERNANDEZ-VALDES, J.A., STEGGE, M. ANN DE, HERMANS, J., TEUNIS, J., TATENHOVE-PEL, R.J. VAN, TEUSINK, B., BACHMANN, H. AND KUIPERS, O.P., 2020, ENHANCEMENT OF AMINO ACID PRODUCTION AND SECRETION BY LACTOCOCCUS LACTIS USING A DROPLET-BASED BIOSENSING AND SELECTION SYSTEM, *METABOLIC ENGINEERING COMMUNICATIONS*, 11, 1-12. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.MEC.2020.E00133](https://doi.org/10.1016/j.mec.2020.E00133)
- HORGAN, R.P., AND KENNY, L.C., 2011, SAC REVIEW ‘OMIC’ TECHNOLOGIES: GENOMICS, TRANSCRIPTOMICS, PROTEOMICS AND METABOLOMICS, *THE OBSTETRICIAN & GYNAECOLOGIST*, 13,189–195. [HTTPS://DOI.ORG/10.1576/TOAG.13.3.189.27672](https://doi.org/10.1576/TOAG.13.3.189.27672)
- HOSEINIFAR, S.H., MIRVAGHEFI, A., MOJAZI-AMIRI, B., ROSTAMI, H.K., AND MERRIFIELD, D.L., 2011, THE EFFECTS OF OLIGOFRUCTOSE ON GROWTH PERFORMANCE, SURVIVAL AND AUTOCHTHONOUS INTESTINAL MICROBIOTA OF BELUGA (*HUSO HUSO*) JUVENILES, *AQUACULTURE NUTRITION*, 17, 498-504. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1365-2095.2010.00828.X](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00828.x)
- HOSEINIFAR, S.H., ESTEBAN, M.A., CUESTA, A., AND SUN, Y.-Z., 2015, PREBIOTICS AND FISH IMMUNE RESPONSE: A REVIEW OF CURRENT KNOWLEDGE AND FUTURE PERSPECTIVES, *REVIEWS IN FISHERIES SCIENCE & AQUACULTURE*, 23, 315-328. DOI: 10.1080/23308249.2015.1052365

- HOSEINIFAR, S.H., RINGØ, E., MASOULEH, A.S., ESTEBAN, M.A., 2016, PROBIOTIC, PREBIOTIC AND SYMBIOTIC SUPPLEMENTS IN STURGEON AQUACULTURE: A REVIEW, *REVIEWS IN AQUACULTURE*, 8, 89-102. DOI: 10.1111/RAQ.12082
- ISLAM, M.M., BARMANB, A., KUNDUC, G.K., KABIRB, M.A., AND PAULB, B., 2019, VULNERABILITY OF inland AND COASTAL AQUACULTURE TO CLIMATE CHANGE: EVIDENCE FROM A DEVELOPING COUNTRY, *AQUACULTURE AND FISHERIES*, 4, 183-189. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AAF.2019.02.007](https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.02.007)
- JAMI, M.J., KENARI, A.A., PAKNEJAD, H., AND MOHSENI, M., 2019, EFFECTS OF DIETARY B-GLUCAN, MANNAN OLIGOSACCHARIDE, LACTOBACILLUS PLANTARUM AND THEIR COMBINATIONS ON GROWTH PERFORMANCE, IMMUNITY AND IMMUNE RELATED GENE EXPRESSION OF CASPIAN TROUT, *SALMO TRUTTA CASPIUS* (KESSLER, 1877), *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 91, 202-208. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FSI.2019.05.024](https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.024).
- JANG, W.J., LEE, J.M., HASAN, M.T., LEE, B.J., LIM, S.G., AND KONG, I.S., 2019, EFFECTS OF PROBIOTIC SUPPLEMENTATION OF A PLANT-BASED PROTEIN DIET ON INTESTINAL MICROBIAL DIVERSITY, DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY, INTESTINAL STRUCTURE, AND IMMUNITY IN OLIVE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*), *FISH & SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 92, 719-727.
- JOBLING, M., 2016, FISH NUTRITION RESEARCH: PAST, PRESENT AND FUTURE, *AQUACULTURE INTERNATIONAL*, 24, 767-786.
- JOYCE, A., GODDEK, S., KOTZEN, B., AND WUERTZ, S., 2019, "AQUAPONICS: CLOSING THE CYCLE ON LIMITED WATER, LAND AND NUTRIENT RESOURCES", GODDEK, K.S., JOYCE, A., KOTZEN, B., AND BURNELL, G.M., *AQUAPONICS FOOD PRODUCTION SYSTEMS. COMBINED AQUACULTURE AND HYDROPONIC PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE*, CHAM, SWITZERLAND, SPRINGER OPEN, 2019, 19-34. ISBN 978-3-030-15942-9
- JUÁREZ-GUTIÉRREZ, M.E., NAVARRETE-RAMÍREZ, P., MONROY DE LA PEÑA, F.A., LLERA-HERRERA, R.A., MARTÍNEZ-CHÁVEZ, C.C., RÍOS-DURÁN, M.G., PALOMERA-SANCHEZ, Z., RAGGI, L., LOZANO-OLVERA, R., PEDROZA-ISLAS, R., AND MARTÍNEZ-PALACIOS, C.A., 2021, USING NUTRIGENOMICS TO EVALUATE MICRODIET PERFORMANCE IN PIKE SILVERSIDE LARVAE, *AQUACULTURE NUTRITION*, 00, 1-12. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/ANU.13305](https://doi.org/10.1111/ANU.13305)
- KIM, D., AND AUSTIN, B., 2006A, INNATE IMMUNE RESPONSES IN RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*, WALBAUM) INDUCED BY PROBIOTICS, *FISH & SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 21, 513-524. DOI:10.1016/J.FSI.2006.02.007
- KIM, D.H., AND AUSTIN, B., 2006B, CYTOKINE EXPRESSION IN LEUKOCYTES AND GUT CELLS OF RAINBOW TROUT, *ONCORHYNCHUS MYKISS* WALBAUM, INDUCED BY PROBIOTICS, *VETERINARY IMMUNOLOGY AND IMMUNOPATHOLOGY*, 114, 297-304.
- KOGUT, M.H., LEE, A., AND SANTIN, E., 2020, MICROBIOME AND PATHOGEN INTERACTION WITH THE IMMUNE SYSTEM, *POULTRY SCIENCE*, 99(4), 1906-1913. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PSJ.2019.12.011](https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.011)
- KRKOŠEK, M., 2017, POPULATION BIOLOGY OF INFECTIOUS DISEASES SHARED BY WILD AND FARMED FISH, *CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES* ISSN: 0706-652X. DOI: 10.1139/CJFAS-2016-0379
- LARA-FLORES, M., OLVERA-NOVOA, M.A., GUZMÁN-MÉNDEZ, B.E., AND LÓPEZ-MADRID, W., 2003, USE OF THE BACTERIA *STREPTOCOCCUS FAECIUM* AND *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS*, AND THE YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* AS GROWTH PROMOTERS IN NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*), *AQUACULTURE*, 216, 193-201.
- LAZADO, C.C., CAIPANG, C.A.A., AND ESTANTE, E.G., 2015, PROSPECTS OF HOST-ASSOCIATED MICROORGANISMS IN FISH AND PENAEIDS AS PROBIOTICS WITH IMMUNOMODULATORY FUNCTIONS, *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 45: 2-12.
- LEBLANC, J.G., CHAIN, F., MARTÍN, R., BERMÚDEZ-HUMARÁN, L.G., COURAU, S. AND LANGELLA, P., 2017, BENEFICIAL EFFECTS ON HOST ENERGY METABOLISM OF SHORT-CHAIN FATTY ACIDS AND VITAMINS PRODUCED BY COMMENSAL AND PROBIOTIC BACTERIA, *MICROBIAL CELL FACTORIES*, 16 (79), 1-10. DOI 10.1186/s12934-017-0691-z
- LEE, S., KATYA, K., HAMIDOGHLI, A., HONG, J., KIM, D.-J., AND BAI S.C., 2018, SYNERGISTIC EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION OF *BACILLUS SUBTILIS* WB60 AND MANNANOLIGOSACCHARIDE (MOS) ON GROWTH PERFORMANCE, IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE IN JAPANESE EEL, *ANGUILLA JAPONICA*, *FISH AND SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 83, 283-291. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FSI.2018.09.031](https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.031)
- LENNARD, W., AND GODDEK, S., 2019, "AQUAPONICS: THE BASICS", GODDEK, K.S., JOYCE, A., KOTZEN, B., AND BURNELL, G.M., *AQUAPONICS FOOD PRODUCTION SYSTEMS. COMBINED AQUACULTURE AND HYDROPONIC PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR THE FUTURE*, CHAM, SWITZERLAND, SPRINGER OPEN, 2019, 113-143. ISBN 978-3-030-15942-9



- LEUNG, T.L.F., AND BATES, A.E., 2013, MORE RAPID AND SEVERE DISEASE OUTBREAKS FOR AQUACULTURE AT THE TROPICS: IMPLICATIONS FOR FOOD SECURITY, *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY*, 50(1), 215–222.
- LIGHTNER, D.V., REDMAN, R.M., PANTOJA, C.R., NOBLE, B.L., NUNAN, L.M., AND TRAN, L., 2013, “DOCUMENTATION OF AN EMERGING DISEASE (EARLY MORTALITY SYNDROME) IN SE ASIA & MEXICO”, [HTTP://WWW.ENACA.ORG/PUBLICATIONS/HEALTH/AHPNS-TERMINALWORKSHOP/PRESENTATION%2002\\_LIGHTNER\\_DIAGNOSTIC%20STUDIES.PDF](http://www.enaca.org/publications/health/ahpns-terminalworkshop/presentation%2002_LIGHTNER_DIAGNOSTIC%20STUDIES.PDF), [CONSULTADO EL 21 DE MARZO DE 2016].
- LIMBORG, M.T., ALBERDI, A., KODAMA, M., ROGGENBUCK, M., KRISTIANSEN, K., AND GILBERT, M.T.P., 2018, APPLIED HOLOGENOMICS: FEASIBILITY AND POTENTIAL IN AQUACULTURE, *TRENDS IN BIOTECHNOLOGY*, 36(3), 252–264. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TIBTECH.2017.12.006](https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.12.006)
- MAHIOUS, A.S., GATESOUE, F.J., HERVI, M., METAILLER, R., AND OLLEVIER, F., 2006, EFFECT OF DIETARY INULIN AND OLIGOSACCHARIDES AS PREBIOTICS FOR WEANING TURBOT, *PSETTA MAXIMA* (LINNAEUS, C. 1758), *AQUACULTURE INTERNATIONAL*, 14, 219–229. DOI 10.1007/s10499-005-9003-4
- MARDONES, F.O., PEREZ, A.M., AND CARPENTER, T.E., 2009, EPIDEMIOLOGIC INVESTIGATION OF THE RE-EMERGENCE OF INFECTIOUS SALMON ANEMIA VIRUS IN CHILE, *DISEASES OF AQUATIC ORGANISMS*, 84, 105–114. DOI: 10.3354/dao02040
- MARDONES, F.O., PEREZ, A.M., VALDES-DONOSO, P., AND CARPENTER, T.E., 2011, FARM-LEVEL REPRODUCTION NUMBER DURING AN EPIDEMIC OF INFECTIOUS SALMON ANEMIA VIRUS IN SOUTHERN CHILE IN 2007–2009, *PREVENTIVE VETERINARY MEDICINE*, 102, 175–84. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2011.07.005
- MARTIN, S.A.M., DEHLER, C.E., AND KRÓL, E., 2016, TRANSCRIPTOMIC RESPONSES IN THE FISH INTESTINE, DEVELOPMENTAL & COMPARATIVE IMMUNOLOGY, 64, 103–117. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.DCI.2016.03.014](https://doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.014)
- MARTIN, S.A.M., AND KRÓL, E., 2017, NUTRIGENOMICS AND IMMUNE FUNCTION IN FISH: NEW INSIGHTS FROM OMICS TECHNOLOGIES, *DEVELOPMENTAL & COMPARATIVE IMMUNOLOGY*, 75, 86–98.
- MAULU, S., HASIMUNA, O.J., HAAMBIYA, L.H., MONDE, C., MUSUKA, C.G., MAKORWA, T.H., MUNGANGA, B.P., PHIRI, K.J., AND NSEKANABO, J.D., 2021, CLIMATE CHANGE EFFECTS ON AQUACULTURE PRODUCTION: SUSTAINABILITY IMPLICATIONS, MITIGATION, AND ADAPTATIONS, *FRONTIERS IN SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS*, 5, 609097. DOI: 10.3389/FSUFS.2021.609097
- MEDZHITOV, R., 2007, RECOGNITION OF MICROORGANISMS AND ACTIVATION OF THE IMMUNE RESPONSE, *NATURE*, 449, 819–826. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/NATURE06246](https://doi.org/10.1038/NATURE06246)
- MERRIFIELD, D., AND RINGO, E., 2014, AQUACULTURE NUTRITION: GUT HEALTH, PROBIOTICS, AND PREBIOTICS: *CHICHESTER: JOHN WILEY & SONS*, p. 465. ISBN: 978-0-470-67271-6
- MISHRA, S.S., DAS, R., DHIMAN, M., CHOUDHARY, P., AND DEBBARMA, J., 2017, PRESENT STATUS OF FISH DISEASE MANAGEMENT IN FRESHWATER AQUACULTURE IN INDIA: STATE-OF-THE-ART-REVIEW, *JOURNAL OF AQUACULTURE & FISHERIES* DOI:10.24966/AAF-5523/100003
- MOHAMMADIAN, T., ALISHAHI, M., TABANDEH, M.R., GHORBANPOOR, M., AND GHARIBI, D., 2017, EFFECT OF *LACTOBACILLUS PLANTARUM* AND *LACTOBACILLUS DELBRUECKII* SUBSP. *BULGARICUS* ON GROWTH PERFORMANCE, GUT MICROBIAL FLORA AND DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITIES IN *TOR GRYPUS* (KARAMAN, 1971), *IRANIAN JOURNAL OF FISHERIES SCIENCES*, 16, 296–317.
- MOHAPATRA, S., CHAKRABORTY, T., PRUSTY, A.K., DAS, P., PANIPRASAD, K., AND MOHANTA, K.N., 2012, USE OF DIFFERENT MICROBIAL PROBIOTICS IN THE DIET OF ROHU, *LABEO ROHITA* FINGERLINGS: EFFECTS ON GROWTH, NUTRIENT DIGESTIBILITY AND RETENTION, DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES AND INTESTINAL MICROFLORA, *AQUACULTURE NUTRITION*, 18, 1–11. DOI: 10.1111/J.1365-2095.2011.00866.X
- MOMMSEN, T.P., MOON, T.W., AND PLISETSKAYA, E.M., 2001, EFFECTS OF ARGININE ON PANCREATIC HORMONES AND HEPATIC METABOLISM IN RAINBOW TROUT, *PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ZOOLOGY*, 74 (5), 668–678.
- MUKHERJEE, A., CHANDRA, G., AND GHOSH, K., 2019, SINGLE OR CONJOINT APPLICATION OF AUTOCHTHONOUS BACILLUS STRAINS AS POTENTIAL PROBIOTICS: EFFECTS ON GROWTH, FEED UTILIZATION, IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE IN ROHU, *LABEO ROHITA* (HAMILTON), *AQUACULTURE*, 512, 1–15. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734302](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734302)
- MUNIRASU, S., RAMASUBRAMANIAN, V., AND ARUNKUMAR, P., 2017, EFFECT OF PROBIOTICS DIET ON GROWTH AND BIOCHEMICAL PERFORMANCE OF FRESHWATER FISH *LABEO ROHITA* FINGERLINGS, *JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND ZOOLOGY STUDY*

- MURRAY, A.G., AND PEELER, E.J., 2005. A FRAMEWORK FOR UNDERSTANDING THE POTENTIAL FOR EMERGING DISEASES IN AQUACULTURE, *PREVENTIVE VETERINARY MEDICINE*, 67(2-3), 223-235.
- MUTAGUCHI, Y., KASUGA, K., AND KOJIMA, I., 2018, PRODUCTION OF D-BRANCHED-CHAIN AMINO ACIDS BY LACTIC ACID BACTERIA CARRYING HOMOLOGS TO ISOLEUCINE 2-EPIMERASE OF *LACTOBACILLUS BUCHNERI*, *FRONTIERS IN MICROBIOLOGY*, 9, 1-8. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01540
- NACA/FAO, 2000, "AQUACULTURE DEVELOPMENT BEYOND 2000: THE BANGKOK DECLARATION AND STRATEGY", BANGKOK AND FAO, *CONFERENCE ON AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM*, BANGKOK, THAILAND, NACA, 2000, P. 27.
- NATNAN, M.E., CHEN-FEI, L., CHOU-MIN, C., HAMIDUN, B., AND BAHARUM, S.N., 2021, INTEGRATION OF OMICS TOOLS FOR UNDERSTANDING THE FISH IMMUNE RESPONSE DUE TO MICROBIAL CHALLENGE, *FRONTIERS IN MARINE SCIENCE*, 8, 1-17. DOI=10.3389/fmars.2021.668771 URL=HTTPS://WWW.FRONTIERSIN.ORG/ARTICLE/10.3389/fmars.2021.668771
- NGUYEN, T.L., PARK, C.I., AND KIM, D.H., 2017, IMPROVED GROWTH RATE AND DISEASE RESISTANCE IN OLIVE FLOUNDER, *PARALICHTHYS OLIVACEUS*, BY PROBIOTIC *LACTOCOCCUS LACTIS* WFLU12 ISOLATED FROM WILD MARINE FISH, *AQUACULTURE*, 471, 113-120.
- NIU, K.M., KHOSRAVI, S., KOTHARI, D., LEE, W.D., LIM, J.M., LEE, B.J., KIM, K.W., LIM, S.G., LEE, S.M., AND KIM, S.K., 2019, EFFECTS OF DIETARY MULTI-STRAIN PROBIOTICS SUPPLEMENTATION IN A LOW FISH-MEAL DIET ON GROWTH PERFORMANCE, NUTRIENT UTILIZATION, PROXIMATE COMPOSITION, IMMUNE PARAMETERS, AND GUT MICROBIOTA OF JUVENILE OLIVE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*), *FISH SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 93, 258-268.
- NUNAN, L., LIGHTNER, D.V., PANTOJA, C.R., AND GOMEZ-JIMENEZ, S., 2014. DETECTION OF ACUTE HEPATOPANCREATIC NECROSIS DISEASE (AHPND) IN MEXICO, *DISEASES OF AQUATIC ORGANISMS*, 111, 81-86. DOI:10.3354/dao02776
- OCEANA, 2021, GATO X LIEBRE 2.0: DIME QUÉ PESCA DO COMES Y TE DIRÉ CÓMO TE ENGAÑARON, P.31 DOI: 10.5281/ZENODO.4592494
- OLIVEIRA, F., DICHOFF-KASAI, R.Y., EURICO-FERNANDES, C., SOUZA, W., AND MELDAU DE CAMPOS, C., 2020, PROBIOTIC, PREBIOTIC AND SYMBIOTICS SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCE AND INTESTINAL HISTOMORPHOMETRY *PSEUDOPLATYSTOMA RETICULATUM* LARVAE, *JOURNAL OF APPLIED AQUACULTURE*, 1-15. DOI: 10.1080/10454438.2020.1841060
- PANIGRAHI A., KIRON, V., SATOH, S., HIRONO, I., KOBAYASHI, T., SUGITA, H., PUANGKAEW, J., AND AOKI, T., 2007, IMMUNE MODULATION AND EXPRESSION OF CYTOKINE GENES IN RAINBOW TROUT *ONCORHYNCHUS MYKISS* UPON PROBIOTIC FEEDING, *DEVELOPMENTAL & COMPARATIVE IMMUNOLOGY*, 31, 372-382.
- PERRY, W.B., LINDSAY, E., PAYNE, C.J., BRODIE, C., AND KAZLAUSKAITE, R., 2020, THE ROLE OF THE GUT MICROBIOME IN SUSTAINABLE TELEOST AQUACULTURE, *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B: BIOLOGICAL SCIENCES*, 287: 1-10. HTTPS://DOI.ORG/10.1098/RSPB.2020.0184
- PETTERSEN, J.M., RICH, K.M., JENSEN B.B., AND AUNSMO, A., 2015, THE ECONOMIC BENEFITS OF DISEASE TRIGGERED EARLY HARVEST: A CASE STUDY OF PANCREAS DISEASE IN FARMED ATLANTIC SALMON FROM NORWAY, *PREVENTIVE VETERINARY MEDICINE*, 1(3-4), 314-24. DOI: 10.1016/J.PREVETMED.2015.08.003.
- PINTO, W., FIGUEIRA, L., DINIS, M.T., AND ARA-GAO, C., 2009, HOW DOES FISH METAMORPHOSIS AFFECT AROMATIC AMINO ACID METABOLISM?, *AMINO ACIDS*, 36, 177-183. DOI 10.1007/s00726-008-0045-6
- PIRARAT, N., PINPIMAI, K., ENDO, M., KATAGIRI, T., PONPORNPIST, A., CHANSUE, N., AND MAITA, M., 2011, MODULATION OF INTESTINAL MORPHOLOGY AND IMMUNITY IN NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) BY *LACTOBACILLUS RHAMNOSUS* GG, *RESEARCH IN VETERINARY SCIENCE*, 91, 92-97.
- RAHIMNEJAD, S., GUARDIOLA, F.A., LECLERCQ, E., ESTEBAN, M.A., CASTEX, M., SOTOUDEH, E., LEE, S.-M., 2018, EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH *PEDIOCOCCUS ACIDILACTICI* MA18/5M, GALACTOOLIGOSACCHARIDE AND THEIR SYMBIOTIC ON GROWTH, INNATE IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE OF ROCKFISH (*SEBASTES SCHLEGELI*), *AQUACULTURE*, 482, 36-44. DOI: 10.1016/J.AQUACULTURE.2017.09.020
- RAMIRES-FERREIRA, C., GUIMARÃES LO TURCO, E., SARAIVA, S.A., PIMENTA-BERTOLLA, R., PERECIN, F., MARTINS-FERREIRA-SOUZA, G.H., MURGU, M., GARCIA, J.S., SANCHES-CORTEZZI, S., VIEIRA-MEIRELLES, F., FERNANDO-KLITZKE, C., CABRAL, E.C., MIGLINO, M.A., MARAFON-PORCIUNCULA, P., VERDE-LEAL, C.L., BORGES JR., E., DOS SANTOS MARTINS, D., AMBRÓSIO, C.E., D'ALEXANDRI,

- 591-603.
- REID, G.K., GURNEY-SMITH, H.J., FLAHERTY, M., GARBER, A.F., FORSTER, I., BREWER-DALTON, K., KNOWLER, D., MARCOGLIESE, D.J., CHOPIN, T., MOCCIA, R.D., SMITH, C.T., AND DE SILVA, S., 2019, CLIMATE CHANGE AND AQUACULTURE: CONSIDERING ADAPTATION POTENTIAL, *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, 11, 603-624. [HT-TPS://DOI.ORG/10.3354/AEI00333](https://doi.org/10.3354/AEI00333)
- RISE, M.L., MARTYNIUK, C.J., AND CHEN, M., 2019, COMPARATIVE PHYSIOLOGY AND AQUACULTURE: TOWARD OMICS-ENABLED IMPROVEMENT OF AQUATIC ANIMAL HEALTH AND SUSTAINABLE PRODUCTION, *COMPARATIVE BIOCHEMISTRY AND PHYSIOLOGY PART D: GENOMICS AND PROTEOMICS*, 100603. DOI:10.1016/J.CBD.2019.100603
- ROBERTSON, P., O'DOWD, C., BURRELLS, C., WILLIAMS, P., AND AUSTIN, B., 2000, USE OF *CARNOBACTERIUM* SP. AS A PROBIOTIC FOR ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR* L.) AND RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*, WALBAUM), *AQUACULTURE*, 185, 235-243.
- RODRÍGUEZ-ESTRADA, U., SATOH, S., HAGA, Y., AND FUSHIMI, H.J.S., 2009, EFFECTS OF SINGLE AND COMBINED SUPPLEMENTATION OF *ENTEROCOCCUS FAECALIS*, MANNAN OLIGOSACCHARIDE AND POLYHYDROXYBUTYRATE ACID ON GROWTH PERFORMANCE AND IMMUNE RESPONSE OF RAINBOW TROUT *ONCORHYNCHUS MYKISS*, *AQUACULTURE SCIENCE*, 57, 609-617. [HTTPS://DOI.ORG/10.11233/AQUACULTURESCI.57.609](https://doi.org/10.11233/AQUACULTURESCI.57.609)
- ROQUES S., DEBORDE, C., RICHARD, N., SKIBA-CASSY, S., AND MOING, A., 2018 METABOLOMICS AND FISH NUTRITION: A REVIEW IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE FEED DEVELOPMENT, *REVIEWS IN AQUACULTURE*, 112(1): 261-282. DOI: 10.1111/RAQ.12316
- SAMEERA, S., JOSE, D., HARIKRISHNAN, M., AND RAMACHANDRAN, A., 2021, SPECIES SUBSTITUTIONS REVEALED THROUGH GENOTYPING: IMPLICATIONS OF TRACEABILITY LIMITATIONS AND UNREGULATED FISHING, *FOOD CONTROL*, 123, 107779. [HT-TPS://DOI.ORG/10.1016/J.FOODCONT.2020.107779](https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2020.107779)
- SALEM, M., SILVERSTEIN, J., REXROAD, C.E., AND YAO, J., 2007, EFFECT OF STARVATION ON GLOBAL GENE EXPRESSION AND PROTEOLYSIS IN RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*), *BMC GENOMICS*, 8(1), 1-16. [HTTP://DOI: 10.1186/1471-2164-8-328](http://doi:10.1186/1471-2164-8-328)
- SANTOS, F., WEGKAMP, A., DE VOS, W.M., SMID, E.J., AND HUGENHOLTZ, J., 2008, HIGH-LEVEL FOLATE PRODUCTION IN FERMENTED FOODS BY THE B12 PRODUCER *LACTOBACILLUS REUTERI* JCM1112, *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 74(10), 3291-3294. DOI:10.1128/AEM.02719-07
- SARKER, P.K., YOSSA, R., KARANTH, S., EKKER, M., AND VANDENBERG G.W., 2012, INFLUENCES OF DIETARY BIOTIN AND AVIDIN ON GROWTH, SURVIVAL, DEFICIENCY SYNDROME AND HEPATIC GENE EXPRESSION OF JUVENILE NILE TILAPIA *OREOCHROMIS NILOTICUS*, *FISH PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 38, 1183-1193. DOI 10.1007/s10695-012-9604-6
- SARMIENTO-CAMACHO, S., AND VALDEZ-MORENO, M., 2018, DNA BARCODE IDENTIFICATION OF COMMERCIAL FISH SOLD IN MEXICAN MARKETS, *GENOME*, 61(6), 457-466. DOI: 10.1139/GEN-2017-0222
- SHELTON, C., 2014, "CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN FISHERIES AND AQUACULTURE - COMPILATION OF INITIAL EXAMPLES", FAO FISHERIES AND AQUACULTURE CIRCULAR No. 1088, ROME, ITALY, FAO, P. 34.
- SHINN, A.P., PRATOOMYOT, J., BRON, J.E., PALADINI, G., BROOKER, E.E. AND BROOKER, A.J., 2014, SPECIAL ISSUE ARTICLE. ECONOMIC COSTS OF PROTISTAN AND METAZOAN PARASITES TO GLOBAL MARICULTURE, *PARASITOLOGY*, 142, 196-270. DOI:10.1017/S0031182014001437
- SOTO-RODRIGUEZ, S.A., GOMEZ-GIL, B., LOZANO-OLVERA, R., BETANCOURT-LOZANO, M., AND MORALES-COVARRUBIAS, M.S., 2015, FIELD AND EXPERIMENTAL EVIDENCE OF *VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS* AS THE CAUSATIVE AGENT OF ACUTE HEPATOPANCREATIC NECROSIS DISEASE OF CULTURED SHRIMP (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) IN NORTHWESTERN MEXICO, *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 81 (5), 1689-1699
- SPINK, J., AND MOYER, D.C., 2011, DEFINING THE PUBLIC HEALTH THREAT OF FOOD FRAUD, *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, 76(9), 157-163. DOI: 10.1111/J.1750-3841.2011.02417.X
- STAHMANN, K.-P., REVUELTA, J.L., AND SEULBERGER, H., 2000, THREE BIOTECHNICAL PROCESSES USING *ASHBYA GOSSYPIL*, *CANDIDA FAMATA*, OR *BACILLUS SUBTILIS* COMPETE WITH CHEMICAL RIBOFLAVIN PRODUCTION, *APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY*, 53, 509-516.
- STENTIFORD, G.D., NEIL, D.M., PEELER, E.J., SHIELDS, J.D., SMALL, H.J., FLEGEL, T.W., VLAK, J.M., JONES, B., MORADO, F., MOSS, S., LOTZ, J., BARTHOLOMAY, L., BEHRINGER, D.C., HAUTON, C., AND LIGHTNER, D.V., 2012, DISEASE WILL LIMIT FUTURE FOOD SUPPLY FROM GLOBAL CRUSTACEAN FISHERY AND AQUACULTURE SECTORS, *JOURNAL OF INVERTEBRATE PATHOLOGY*, 110, 141-147. DOI: 10.1016/J.

- JIP.2012.03.013
- STERLING, B., AND CHIASSON, M., 2014, ENHANCING SEAFOOD TRACEABILITY ISSUES BRIEF, *GLOBAL FOOD TRACEABILITY CENTER*, DOI: 10.13140/2.1.1884.3526
- SUBASINGHE, R.P., BUENO, P.B., PHILLIPS, M.J., HOUGH, C., MCGLADDERY, S.E., AND ARTHUR, J.R., 2000, AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM, AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM: *BANGKOK, THAILAND: NACA*, p. 25. ISBN 974-7313-55-3.
- SUBASINGHE, R.P., MCGLADDERY, S.E. AND HILL, B.J., 2004, SURVEILLANCE AND ZONING FOR AQUATIC ANIMAL DISEASES: *ROME, ITALY: FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER No. 451*, p. 73.
- TIENGAM, N., KHEMPAKA, S., PAENGKOU, P., AND BOONANUNTANASARN, S., 2015, EFFECTS OF INULIN AND JERUSALEM ARTICHOKE (*HELIANTHUS TUBEROSUS*) AS PREBIOTIC INGREDIENTS IN THE DIET OF JUVENILE NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*), *ANIMAL FEED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2015.05.008](http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.008)
- TIMMONS, M.B., AND EBELING, J.M., 2010, RECIRCULATING AQUACULTURE: *ITHACA, NY: NRAC: CAYUGA AQUA VENTURES*, p. 948.
- TOE, C.J., FOO, H.L., LOH, T.C., MOHAMAD, R., RAHIM, R.A., AND IDRUS, Z., 2019, EXTRACELLULAR PROTEOLYTIC ACTIVITY AND AMINO ACID PRODUCTION BY LACTIC ACID BACTERIA ISOLATED FROM MALAYSIAN FOODS, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES*, 20,1-22. DOI:10.3390/IJMS20071777
- TORRECILLAS, S., MAKOL, A., CABALLERO, M.J., MONTERO, D., ROBAINA, L., REAL, F., SWEETMAN, J., TORT, L. AND IZQUIERDO, M.S., 2007, IMMUNE STIMULATION AND IMPROVED INFECTION RESISTANCE IN EUROPEAN SEA BASS (*DICENTRARCHUS LABRAX*) FED MANNAN OLIGOSACCHARIDES, *FISH & SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 23, 969-981. DOI:10.1016/J.FSI.2007.03.007
- TOVAR-RAMÍREZ, D., ZAMBONINO, J., CAHU, C., GATESOUBE, F.J., VÁZQUEZ-JUÁREZ, R., AND LÉSEL, R., 2002, EFFECT OF LIVE YEAST INCORPORATION IN COMPOUND DIET ON DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY IN SEA BASS (*DICENTRARCHUS LABRAX*) LARVAE, *AQUACULTURE*, 204, 113-123.
- TOVAR-RAMÍREZ, D., ZAMBONINO-INFANTE, J., CAHU, C., GATESOUBE, F.J., AND VÁZQUEZ-JUÁREZ, R., 2004, INFLUENCE OF DIETARY LIVE YEAST ON EUROPEAN SEA BASS (*DICENTRARCHUS LABRAX*) LARVAL DEVELOPMENT, *AQUACULTURE*, 234, 415-427. DOI:10.1016/J.AQUACULTURE.2004.01.028
- ULLOA, P.E., ITURRA, P., NEIRA, R., AND ARANEDA, C., 2011, ZEBRAFISH AS A MODEL ORGANISM FOR NUTRITION AND GROWTH: TOWARDS COMPARATIVE STUDIES OF NUTRITIONAL GENOMICS APPLIED TO AQUACULTURED FISHES, *REVIEWS IN FISH BIOLOGY AND FISHERIES*, 21(4), 649-666. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S11160-011-9203-0](https://doi.org/10.1007/s11160-011-9203-0)
- VANNUCCINI, S., KAVALLARI, A., BELLÙ, L.G., MÜLLER, M., AND WISSER, D., 2019, "UNDERSTANDING THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE FOR FISHERIES AND AQUACULTURE: GLOBAL AND REGIONAL SUPPLY AND DEMAND TRENDS AND PROSPECTS", BARANGE, M., BAHRI, T., AND BEVERIDGE, M.C.M., *IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON FISHERIES AND AQUACULTURE. SYNTHESIS OF CURRENT KNOWLEDGE, ADAPTATION AND MITIGATION OPTIONS*, *ROME, ITALY, FAO FISHERIES AND AQUACULTURE DEPARTMENT*, 2019, p. 654.
- VELA, S., AND OJEDA, J., 2007, ACUICULTURA: LA REVOLUCIÓN AZUL, OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA; CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS; MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DEL OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA. MADRID, p. 364.
- VETVICKA, V., VANNUCCI, L., AND SIMA, P., 2013, THE EFFECTS OF B-GLUCAN ON FISH IMMUNITY, *NORTH AMERICAN JOURNAL OF MEDICAL SCIENCES*, 5(10), DOI:10.4103/1947-2714.120792
- WANG, Y., AND XU, Z., 2006, EFFECT OF PROBIOTICS FOR COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*) BASED ON GROWTH PERFORMANCE AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES, *ANIMAL FEED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 127, 283-292. DOI:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2005.09.003
- WANG, L., HAN, Y., JIANG, Z., SUN, M., SI, B., CHEN, F., AND BAO, N., 2017, INTERACTIVE EFFECTS OF DIETARY LEUCINE AND ISOLEUCINE ON GROWTH, BLOOD PARAMETERS, AND AMINO ACID PROFILE OF JAPANESE FLOUNDER *PARALICHTHYS OLIVACEUS*, *FISH PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 43, 1265-1278. DOI: 10.1007/s10695-017-0370-3
- WHITMAN, W.B., COLEMAN, D.C., AND WIEBE, W.J., 1998, PROKARYOTES: THE UNSEEN MAJORITY, *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, 95(12), 6578-6583. [HTTPS://DOI.ORG/10.1073/PNAS.95.12.6578](https://doi.org/10.1073/pnas.95.12.6578)
- WU, Z.X., FENG, X., XIE, L.L., PENG, X.Y., YUAN, J., AND CHEN, X.X., 2012, EFFECT OF PROBIOTIC *BACILLUS SUBTILIS* CH9 FOR GRASS CARP, *CTE-*

- NOPHARYNGODON IDELLA* (VALENCIENNES, 1844), ON GROWTH PERFORMANCE, DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES AND INTESTINAL MICROFLORA, *JOURNAL OF APPLIED ICHTHYOLOGY*, 28, 721–727. DOI: 10.1111/J.1439-0426.2012.01968.X
- XIA, Y., LU, M., CHEN, G., CAO, J., GAO, F., WANG, F., LIU, Z., ZHU, H., AND YI, M., 2018, EFFECTS OF DIETARY *LACTOBACILLUS RHAMNOSUS* JCM1136 AND *LACTOCOCCUS LACTIS* SUBSP. *LACTIS* JCM5805 ON THE GROWTH, INTESTINAL MICROBIOTA, MORPHOLOGY, IMMUNE RESPONSE AND DISEASE RESISTANCE OF JUVENILE NILE TILAPIA, *OREOCHROMIS NILOTICUS*, *FISH AND SHELLFISH IMMUNOLOGY*, 76, 368–379. DOI: 10.1016/J.FSI.2018.03.020.
- XIAO, M., QIAN, K., WANG, Y., AND BAO F., 2020. GC-MS METABOLOMICS REVEALS METABOLIC DIFFERENCES OF THE FARMED MANDARIN FISH *SINIPERCA CHUATSI* IN RECIRCULATING PONDS AQUACULTURE SYSTEM AND POND, *SCIENTIFIC REPORTS* 10, DOI.ORG/10.1038/S41598-020-63252-9
- ZENGER, K.R., KHATKAR, M.S., JONES, D.B., KHALILISAMANI, N., JERRY, D.R., AND RAADSMA H.W., 2019, GENOMIC SELECTION IN AQUACULTURE: APPLICATION, LIMITATIONS AND OPPORTUNITIES WITH SPECIAL REFERENCE TO MARINE SHRIMP AND PEARL OYSTERS, *FRONTIERS IN GENETICS*, 9, 1–19. DOI: 10.3389/FGENE.2018.00693
- ZHANG, M., HOU, C., LI, M., QIAN, Y., XU, W., MENG, F., AND WANG, R., 2018, MODULATION OF LIPID METABOLISM IN JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*) AS AFFECTED BY FEEDING FREQUENCY AND ENVIRONMENTAL AMMONIA, *FISH PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 45, 115–122. HT-TPS://DOI.ORG/10.1007/S10695-018-0540-Y
- ZHANG, C., ZHANG, J., FAN, W., HUANG, M., AND LIU, M., 2019, EFFECTS OF DIETARY *LACTOBACILLUS DELBRUECKII* ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION, DIGESTIVE AND ABSORPTIVE CAPACITY, AND GENE EXPRESSION OF COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO* HUANGHE VAR), *AQUACULTURE NUTRITION*, 25, 166–175. DOI: 10.1111/ANU.12840
- ZHANG, P., YANG, F., HU, J., HAN, D., LIU, H., JIN, J., YANG, Y., YI, J., ZHU, X., AND XIE, S., 2020, OPTIMAL FORM OF YEAST CELL WALL PROMOTES GROWTH, IMMUNITY AND DISEASE RESISTANCE IN GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*), *AQUACULTURE REPORTS*, 18, 1–7. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AQREP.2020.100465
- ZHOU, Q.C., BUENTELLO, J.A., AND GATLIN, D.M., 2010, EFFECTS OF DIETARY PREBIOTICS ON GROWTH PERFORMANCE, IMMUNE RESPONSE AND INTESTI-  
NAL MORPHOLOGY OF RED DRUM (*SCIAENOPS OCELLATUS*), *AQUACULTURE*, 309, 253–257. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AQUACULTURE.2010.09.003