



## Perspectiva

# Seguridad alimentaria: retos y desafíos de la acuicultura en México

## Food security: challenges of aquaculture in Mexico

**Darío García-Medel**   
Dg Ciencia y Acuicultura

**Recibido:** 01-07-2022

**Aceptado:** 29-07-2022

### Resumen

La población mundial continúa en aumento y ello implica que se incrementa también la demanda de alimentos, por lo que las tendencias mundiales se enfocan en desarrollar e implementar sistemas agroalimentarios que sean sumamente eficientes, sostenibles y cuyo impacto hacia el ambiente sea menor, como la acuicultura. En México, la acuicultura es el sector productivo que ha presentado la mayor tasa de crecimiento anual promedio (10.29%) en los últimos 10 años, a diferencia de la ganadería (2.6%) y la agricultura (1.4%). En el presente trabajo se busca contextualizar los principales factores que afectan al sector acuícola en México, así como poner de manifiesto los principales retos que enfrenta el sector en la búsqueda de su consolidación y con miras a alcanzar la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** seguridad alimentaria, acuicultura, nutrición

### Abstract

The world population continues to increase and this implies that the demand for food is also increasing, which is why world trends focus on developing and implementing agri-food systems that are highly efficient, sustainable and whose impact on the environment is lower, such as aquaculture. In Mexico, aquaculture is the productive sector that has presented the highest average annual growth rate (10.29%) in the last 10 years, unlike livestock (2.6%) and agriculture (1.4%). This paper seeks to contextualize the main factors that affect the aquaculture sector in Mexico, as well as to highlight the main challenges faced by the sector in the search for its consolidation, towards the goal of achieving food security.

**Keywords:** food security, aquaculture, nutrition

## Introducción

La Organización de las Naciones Unidas reportó en 2022 una población mundial de 7.9 mil millones de habitantes y se estima que la población crezca a 8.5 y 9.7 mil millones de habitantes en el 2030 y 2050, respectivamente (UN-DESA, 2022), por lo cual, uno de los principales retos que enfrentarán los gobiernos de todos los países es incrementar la producción de alimentos para sustentar a dicha población en el futuro y lograr alcanzar la seguridad alimentaria o el “hambre cero”, uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (UN, 2015). Es importante señalar que el incremento en la producción de alimentos se deberá realizar a través de la adopción de sistemas agroalimentarios más eficientes y sostenibles, buscando en todo momento emplear las mejores prácticas productivas disponibles y manteniendo la inocuidad y calidad de los productos a lo largo de toda la cadena productiva. El reto no solo consiste en producir más alimentos; estos deben, además, estar disponibles, asequibles y ser de muy buena calidad, para asegurar que la población esté consumiendo los nutrientes adecuados, suficientes y con la constancia necesaria para lograr garantizar un completo desarrollo físico y mental de una persona durante todas sus etapas de vida.

Cabe indicar que el camino hacia la seguridad alimentaria se encuentra enmarcado dentro de un contexto de degradación de ecosistemas (*e.g.*, cada minuto desaparece un área de bosque equivalente a 27 campos de fútbol), pérdida de biodiversidad (*e.g.*, las poblaciones de especies de vertebrados han disminuido un 68%) y cambio climático (*e.g.*, en 2021, diez países empataron o rompieron su récord de temperatura nacional más alto, destacando Furnace Creek, en E.E.U.U., que alcanzó los 54.4°C) (Almond et al., 2020; FAO, 2022; van der Zee, 2022). Bajo este panorama complicado y desolador, las naciones han puesto su mira en impulsar la producción de alimentos mediante la acuicultura, pero ¿a qué nos referimos cuando decimos acuicultura? ¿nos referimos solo a la cría de pescados y mariscos? La respuesta es no, la acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos, incluidos los peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas; es un sistema productivo que, además de ser altamente rentable, eficiente y sostenible, produce proteína animal de excelente calidad a muy bajo costo; representa la mejor opción para satisfacer la demanda de alimentos hacia el futuro y, además, es el sector de

producción de alimentos con mejor tasa de crecimiento anual (TCA) (Garlock et al., 2020) en las últimas tres décadas (1990-2020), consiguiendo un crecimiento anual promedio de 6.7% y alcanzando en 2020, 214 millones de toneladas (FAO, 2022). Ahora bien, dentro de este contexto mundial ¿Cómo se encuentra México? El presente trabajo pretende dar un panorama general de los retos y desafíos que presenta la acuicultura mexicana para su consolidación y ser un pilar fundamental en el camino por alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar las condiciones de vida de las personas de nuestro país.

## El caso de México

En el 2020, México registró una población de 126 mil millones de habitantes, de los cuales 55.7 millones de personas (*i.e.*, 43.9% de la población) presentan algún tipo de situación de pobreza (extrema o moderada) y 28.6 millones de personas (*i.e.*, 22.5%) presentan carencias por acceso a alimentación nutritiva y de calidad (CONEVAL, 2022).

Estimaciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (2018) señalan que para 2030 y 2050, la población rondará los 138 y 148 mil millones de habitantes, es decir, 11 mil y 22 mil millones más respecto al 2020, pero la tasa de crecimiento poblacional disminuirá de 0.94% en 2020 a 0.62% y 0.1% para el 2030 y 2050 respectivamente. Satisfacer a una población en aumento, requerirá que los sistemas agroalimentarios mexicanos crezcan, además de hacerlo de forma sostenible, a un ritmo más acelerado de lo que han venido realizando en los últimos años, donde la acuicultura ha tenido un crecimiento muy importante en las últimas décadas, y lo podemos ver en la Tabla 1, donde se observa como la acuicultura presenta la mayor tasa de crecimiento anual de los sistemas agroalimentarios, pasando muy por encima de la agricultura y ganadería.

## La acuicultura en México

La Carta Nacional Acuícola (2021) señala que en México se cultivan 21 especies, nueve de acuicultura comercial, 10 de acuicultura de fomento y dos especies con potencial acuícola. Dentro de dicho listado, destacan en importancia por volumen y valor de la producción, el atún aleta azul (*Thunnus orientalis*, Temminck y Schlegel 1844), el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931), el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*, Rafinesque 1818), la carpa

**Tabla 1.** Volumen de producción (toneladas) del sector acuícola, ganadero y agrícola de 2010-2020 en México.

Sistema de Producción	2010-2011			2011-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020		2010-2020
	Volumen 2010 (t)	Volumen 2011 (t)	TCA %	Volumen 2012 (t)	TCA %	Volumen 2013 (t)	TCA %	Volumen 2014 (t)	TCA %	Volumen 2015 (t)	TCA %	Volumen 2016 (t)	TCA %	Volumen 2017 (t)	TCA %	Volumen 2018 (t)	TCA %	Volumen 2019 (t)	TCA %	Volumen 2020 (t)	TCA %	TCA %
Acuicola <sup>1</sup>	126,238	137,128	8.6%	143,747	4.8%	111,500	-22.4%	194,230	74.2%	211,622	9.0%	221,327	4.6%	243,307	9.9%	247,222	1.6%	251,242	1.6%	278,694	10.9%	10.29%
Ganadero <sup>2</sup>	5,828,422	6,001,019	3.0%	6,079,220	1.3%	6,122,134	0.7%	6,220,856	1.6%	6,351,721	2.1%	6,552,127	3.2%	6,801,088	3.8%	7,044,313	3.6%	7,328,186	4.0%	7,536,757	2.8%	2.6%
Agrícola <sup>3</sup>	119,971,407	112,799,387	-6.0%	121,394,313	7.6%	132,445,718	9.1%	132,610,844	0.1%	130,585,911	-1.5%	138,076,279	5.7%	140,090,633	1.5%	140,296,704	0.1%	142,160,625	1.3%	137,631,711	-3.2%	1.4%

TCA= Tasa de crecimiento anual. 1. Incluye peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas; 2. Incluye ganado bovino, porcino, ovino, caprino, equino, aves de corral y otros; 3. Incluye los principales cultivos. Elaboración propia con datos de FAO FishStatj y FAO STAT, 2022.

(*Cyprinus* spp.), el ostión japonés (*Crassostrea gigas*, Thunberg 1793), la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758), y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) (Tabla 2). El volumen de la producción acuícola en México en 2019 fue de 251,232 toneladas, con un valor de producción de más de 21 mil millones de pesos (1,047,660 mil dólares) y se espera que crezca a 296 toneladas para el 2030 (FAO, 2022). En cuanto al número de acuicultores, datos del Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (2022) indican que existen un total de 56,250 personas que se dedican a la acuicultura en un total de 9,443 instalaciones acuícolas registradas.

Para poder comprender los retos y desafíos que enfrenta la acuicultura, a continuación, expondremos brevemente el contexto de los principales factores que afectan a la acuicultura y destacaremos la importancia de consumir pescados y mariscos en la nutrición humana.

**Tabla 2.** Producción acuícola en México de las especies más relevantes en volumen y valor de la producción. Elaboración propia con datos de SIAP 2018.

Especie	Volumen (t)	Valor de la producción (miles)
<b>Atún de aleta azul</b>	10,763	\$587,116.00
<b>Camaron blanco del Pacífico</b>	167,834	\$12,724,322.00
<b>Bagre de Canal</b>	3,465	\$132,498.00
<b>Carpa</b>	26,885	\$291,800.00
<b>Ostión Japonés</b>	27,551.47	\$195,398.00
<b>Tilapia</b>	125,937	\$2,414,134.00
<b>Trucha arcoíris</b>	10,440	\$722,239.00

**Estatus del recurso hídrico en México**

México, además de ser un país que cuenta con una enorme biodiversidad, es un país rico en recursos hídricos ya que alberga 320 cuencas hidrográficas, 51 ríos principales (*i.e.*, ríos por donde fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cubren el 65% de la superficie territorial del país) y siete lagos principales (*i.e.*, Chapala con 1,116 km<sup>2</sup>; Cuitzeo, 306 km<sup>2</sup>; Pátzcuaro 97 km<sup>2</sup>, Yuridia 80 km<sup>2</sup>, Catemaco 75 km<sup>2</sup>, Nabor Carrillo 10 km<sup>2</sup> y Tequesquitengo 8 km<sup>2</sup> de área). Todos estos acuíferos se encuentran dentro de 1.964 millones de kilómetros cuadrados de superficie (Agua, 2018; CONABIO, 2022). Además de ello, México cuenta con 451,585 hm<sup>3</sup> anuales de agua renovable (*i.e.*, el agua que es factible de explotar de manera sustentable de una región). Las cuencas de nuestro país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (Figura 1), las cuales se administran en 13 regiones hidrológicas (Figura 2).



**Figura 1.** Regiones hidrológicas. Tomado de Agua, 2018.



**Figura 2.** Regiones hidrológicas administrativas. Tomado de Agua, 2018.

A pesar de esta abundancia hídrica, de los 653 acuíferos de aguas subterráneas, 105 se encuentran sobreexplotados, 32 con presencia de suelos salinos y agua subterráneas salobres, así como 18 con intrusión marina. La región hidrológica administrativa XIII Aguas del Valle de México es la que presenta peor calidad de agua, mostrando los porcentajes de sitios de muestreos más altos de acuerdo al indicador de Demanda Biológica de Oxígeno (*i.e.*, DBO, indica la materia orgánica biodegradable), Demanda Química de Oxígeno (*i.e.*, DQO, indica la cantidad de materia orgánica) y Coliformes Fecales (*i.e.*, CF, indica las bacterias del tracto intestinal humano), y la región VII Cuencas Centrales del Norte es la que presenta el mayor porcentaje de sitios de muestreos de acuerdo al indicador de Sólidos Suspendidos Totales (*i.e.*, SST, indica los sólidos y materia orgánica en suspensión) como se observa en la Tabla 3. Es por ello que el 70% de los cuerpos de agua en México presentan algún tipo de contaminación.

**Tabla 3.** Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológico-administrativa, de acuerdo a los indicadores Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF). Número de sitios de monitoreo reportados: DBO = 2812, DQO = 2,813, SST = 3752 y CF= 3751. Tomado de Agua, 2018.

Región Hidrológica Administrativa	Excelente				Buena Calidad				Aceptable				Contaminada				Fuertemente Contaminada			
	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF
I Península de Baja California	53.6	34.0	81.1	67.3	13.4	12.4	16.7	3.1	23.7	17.5	0.9	10.6	8.2	34.0	1.3	11.5	1.1	2.1	0.0	7.5
II Noroeste	73.4	21.0	52.9	32.7	10.6	22.1	29.4	7.2	10.6	29.5	8.5	13.1	3.2	23.2	6.5	26.1	2.2	4.2	2.7	20.9
III Pacífico Norte	82.5	24.7	58.9	13.0	10.3	28.7	28.8	6.0	4.0	29.6	7.6	19.9	3.2	14.8	4.7	44.9	0.0	2.2	0.0	16.2
IV Balsas	45.2	10.9	52.3	8.4	9.4	13.0	20.1	2.0	23.6	32.6	10.5	7.8	13.9	29.6	12.2	19.2	7.9	13.9	4.9	62.6
V Pacífico sur	82.9	10.5	56.4	43.9	5.3	17.1	24.5	3.8	3.3	49.3	9.3	9.0	3.9	16.4	6.8	26.7	4.6	6.7	3.0	16.6
VI Río Bravo	64.1	31.7	56.1	25.6	17.2	26.5	28.4	6.9	13.1	19.4	11.5	23.5	4.9	21.3	3.6	27.4	0.7	1.1	0.4	16.6
VII Cuencas Centrales del Norte	74.5	38.2	70.9	18.1	16.4	20.0	20.0	5.5	5.5	23.6	3.6	30.9	1.8	14.5	0.0	36.4	1.8	3.7	5.5	9.1
VIII Lerma Santiago Pacífico	37.5	9.2	48.5	12.5	13.3	11.2	32.6	5.3	34.3	25.8	13.3	10.6	9.6	44.8	4.1	26.2	5.3	9.0	1.5	45.4
IX Golfo Norte	76.4	48.3	57.5	21.3	5.3	17.1	34.8	4.5	13.3	16.7	5.4	17.2	2.3	15.2	1.6	29.6	2.7	2.7	0.7	27.4
X Golfo Centro	66.4	10.2	78.4	11.6	7.7	15.3	17.0	2.7	18.6	40.9	3.6	11.0	5.8	29.6	0.6	37.5	1.5	4.0	0.4	37.2
XI Frontera Sur	28.5	13.4	52.4	29.3	30.1	39.8	42.2	6.0	39.8	37.1	5.4	24.5	1.2	9.3	0.0	29.9	0.4	0.4	0.0	10.3
XII Península de Yucatán	4.1	4.1	73.3	57.1	37.5	39.6	23.6	11.5	56.3	29.2	2.6	21.5	2.1	27.1	0.5	9.4	0.0	0.0	0.0	0.5
XIII Aguas del Valle de México	1.4	0.0	25.4	8.5	4.2	5.6	54.9	0.0	52.1	18.3	18.3	8.5	28.2	50.7	1.4	12.6	14.1	25.4	0.0	70.4
Nacional	53.6	18.5	58.1	24.9	12.9	19.1	28.4	5.0	23.0	28.9	8.3	14.7	7.0	27.5	3.9	27.0	3.5	6.0	1.3	28.4

### Plantas de tratamiento de aguas residuales

Es un hecho que conforme avanza el tiempo, hay un incremento en la población y en los sectores agropecuarios, industriales y de servicios, lo que conlleva a un aumento en la generación de aguas residuales, por lo que las plantas de tratamiento de aguas juegan un papel fundamental para lograr la seguridad alimentaria, combatir la pobreza y mejorar las condiciones de vida de la población. Para el sector acuícola, donde los organismos cultivados ocupan como medio de vida el agua, resulta de vital importancia contar con agua de excelente calidad (*e.g.*, contenido de oxígeno disuelto en el agua >5mg/l, amonio < 0.5mg/l); sin contaminantes (*e.g.*, libre de pesticidas, plaguicidas, residuos de fármacos, etc.); así como en cantidades suficientes para poder realizar los recambios de agua que requiere el cultivo dependiendo del tipo de sistema empleado. Es por esto que debemos contextualizar el estado en que se encuentran las plantas de tratamiento en nuestro país para comprender la problemática que afecta al sector acuícola. Hasta diciembre del 2020, México tenía registradas un total de 3,359 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales se encuentran en operación el 82.9%, es decir, 2,786 plantas, con una capacidad instalada de 196,749.51 l/s y un caudal tratado de 144,710.0 l/s, alcanzando una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 67.2%. En cuanto al número de plantas por proceso destacan las lagunas de estabilización (827) y plantas de lodos activados (795), seguidos de los reactores anaerobios de flujo ascendente (364), humedales (230), tanques sépticos (144), filtros biológicos (105) y otros (321) (CONAGUA, 2020).

### Electricidad

La energía, sobre todo la electricidad, es otro punto medular para consolidar el sector acuícola en México, ya que para intensificar los cultivos e incrementar los volúmenes de producción, se requiere de energía eléctrica para implementar diferentes tecnologías como sistemas de aireación, alimentación, recirculación y tratamiento de aguas, plantas de procesamiento y sistemas de refrigeración y congelación. En ese sentido, es importante conocer cómo se ha venido desarrollando la generación de energía eléctrica en México en los últimos años. Datos del CENACE indican que México creció un 3.1% al pasar de 302.8 terawatts-hora (TWh) en 2017 a 312.2 en 2020, crecimiento que se atribuye al incremento de energías limpias renovables (sobre todo la eólica y solar fotovoltaica). Durante dicho periodo, la energía limpia se incrementó un 55% y la energía convencional se redujo un 5.7% (IMCO, 2021). Si bien es cierto que datos del 2020 muestran que en México el 99.12% de la población tiene acceso a cobertura de energía eléctrica, es necesario que se vaya impulsando y consolidando la implementación del uso de energías limpias para que día con día se ocupen menos los combustibles fósiles, los cuales además de ser finitos, tienen una huella de carbono más alta, es decir, contaminan más.

### Normatividad acuícola

A partir de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el principal instrumento de política pública que regula la actividad acuícola en México es la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 2007 y su última reforma del 24 de abril del 2018. Los principales objetivos de la ley son de

ordenar, fomentar, impulsar y regular el manejo integral del aprovechamiento acuícola y pesquero considerando aspectos sociales, tecnológicos, productivos, biológicos y ambientales. Cabe señalar que dicha ley no cuenta con Reglamento, por lo que tenemos una ley que nos dice qué se va a permitir, ordenar o sancionar, pero no se dice el “cómo” se va a aplicar. Esto representa un enorme hueco que ha venido afectando al desarrollo del sector acuícola, sobre todo porque la ley fue pensada para regular la industria del camarón, una industria muy grande, la cual es totalmente diferente a la mayoría de las granjas acuícolas que existen en el país, tanto en intensidad, como en tecnología y valor de la producción. Además de la LGPAS, debemos señalar el Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024), el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo rural (2020-2024), el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura (PNPA 2020-2024), así como otras leyes que se vinculan directa o indirectamente con el sector acuícola como la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; la Ley General de Bienes Nacionales; la Ley Agraria; la Ley de Energía para el Campo y su Reglamento; la Ley de Desarrollo Rural Sustentable; la Ley Federal de Aguas Nacionales; la Ley Federal de Salud Animal; la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento; la Ley General de Cambio Climático; la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar; el Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Rural; el Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; y el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **Retos y desafíos que enfrenta el sector acuícola**

A pesar de que en los últimos años se ha buscado por diferentes medios transitar de un modelo de desarrollo capitalista, basado en el uso indiscriminado de los recursos, hacia un desarrollo sostenible, en nuestro país aún quedan muchas áreas de oportunidad y vacíos que requiere el sector acuícola para consolidarse y ser un eje rector para alcanzar la seguridad alimentaria. A continuación, mencionaremos los principales retos.

#### **Calidad y cantidad de agua**

Para que crezca la acuicultura en México vamos a necesitar de revertir las tendencias del uso, consumo y contaminación de aguas que existen en nuestro país. Necesitamos lograr que todas las plantas de tratamiento de aguas que estén instaladas funcionen, además de instalar más plantas de tratamiento que utilicen energías limpias. Además de ello, se deben generar campañas mensuales de recolección de residuos por todas las zonas riparias y que involucren tanto a la sociedad como a los diversos sectores productivos. También se deben impulsar programas de reforestación y restauración en las zonas de recarga de acuíferos, evitando así la erosión, el cambio climático y propiciando la recuperación de los cuerpos de agua.

### **Desarrollo de personal altamente capacitado y especializado**

Este punto es de los más cruciales durante el camino hacia la consolidación del sector acuícola. Es urgente que se vayan formando profesionales altamente especializados y competitivos en áreas como ingeniería, nutrición, genética, inmunología, biotecnología y sanidad e inocuidad acuícola, así como en cultivos intensivos, superintensivos, e hiperintensivos (IPRS: *In Pond Raceway System*), recirculación acuícola y Biofloc, administración, impacto ambiental y extensionismo. Dicho personal deberá ser el encargado de brindar una asistencia técnica integral enfocada a transformar la mentalidad de los productores e impulsar y motivar la implementación de innovación y transferencia de tecnología de frontera enfocada a incrementar la producción acuícola utilizando las mejores prácticas de producción disponibles.

En este sentido, se debe buscar reforzar, actualizar y modificar los programas de estudio de las principales carreras que abarquen el área de la acuicultura como la ingeniería acuícola, biología, biología marina, medicina veterinaria: cada uno de los programas deberá incluir una enorme vinculación del estudiante tanto con la academia como con el gobierno y sobre todo, tener un mayor acercamiento con el sector productivo; esto con la finalidad de que el estudiante pueda vivir en carne propia las diferentes realidades que sufre el sector acuícola, para que pueda experimentar las problemáticas que atraviesa cada región, a fin de encontrar soluciones ajustadas a cada contexto en particular.

### **Productores con responsabilidad social**

Como hemos mencionado, la idea de contar con profesionales acuícolas altamente capacitados y especializados, es empezar a formar productores acuícolas que estén a favor de la responsabilidad social y tengan una mentalidad libre de egoísmo. El productor con responsabilidad social deberá ser sumamente consciente del cuidado que merece el ambiente y darle una gran importancia a mejorar el entorno donde vive, es decir, si yo estoy utilizando el agua como recursos para la producción, mi responsabilidad como ciudadano y como miembro de un ecosistema, del cual me estoy beneficiando, es retribuirle al medio una mejoría. Una propuesta interesante de implementar sería que de cada kilo que produzca un acuicultor, devuelva cuando menos un 2% de los ingresos de sus ventas, con la finalidad de mejorar el entorno en donde vive. Esta devolución no necesariamente debe ser en forma monetaria, si no que puede ser a través de acciones como donación y siembra de árboles, jornadas de recolección de residuos y limpieza de zonas riparias, mejoras a los caminos, donación de desayunos escolares, entre otras acciones. Además de ello, cada productor acuícola debería tener como responsabilidad informar, capacitar y permear a las personas que los rodeen, con respecto a la importancia de cuidar el medio, la reducción de residuos sólidos urbanos, reducir la huella hídrica y de carbono, entre otros aspectos. La idea es que las granjas acuícolas sean un importante brazo de capacitación y divulgación de la ciencia. Ante esto, el lector se puede

preguntar ¿Entonces qué hará el gobierno? O ¿por qué darle la responsabilidad de la divulgación de la ciencia y el cuidado del ambiente a los productores acuícolas? No se trata de quitarle la responsabilidad a nadie, se trata de sumar a un guerrero más ante la falta de brazos por parte del gobierno.

### **Consolidar los organismos auxiliares del SENASICA**

La Sanidad Acuícola en México está a cargo del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) quien, a través de sus organismos auxiliares, mejor conocidos como “Comités de Sanidad Acuícola”, vela por la Sanidad e Inocuidad Acuícola y Pesquera del País. Cabe mencionar que los Comités de Sanidad Acuícola están formados por productores y son organizaciones de la sociedad civil que trabajan sin fines de lucro. Los Comités de Sanidad Acuícola reciben recursos anuales por parte de SENASICA para llevar a cabo programas de Sanidad, Inocuidad y de Vigilancia Epidemiológica. Una de las mayores virtudes y fortalezas de los comités es que los conforman las personas que están más en contacto con los productores y quienes ven de manera más clara las diferentes problemáticas que enfrentan los productores acuícolas. Sin embargo, como en todos lados existen debilidades y áreas de oportunidad que se pueden identificar, entre las cuales podemos mencionar las siguientes.

#### **Debilidades**

*Liberación tardía de recursos.* Los recursos anuales que reciben los Comités de Sanidad Acuícola se realizan generalmente a partir de mayo (pocas ocasiones en abril), es decir, prácticamente tienen a todo su personal técnico operativo trabajando en las granjas sin percibir recursos económicos y teniendo que hacer gestiones operativas milagrosas para poder cumplir en tiempo y forma con los compromisos de su programa de trabajo.

*Fuga de técnicos.* Los técnicos operativos o profesionales de campo, después de varios años sin tener una estabilidad económica, buscan otro empleo que pueda brindarles una mayor seguridad y se produce la fuga de técnicos. Cuando un técnico renuncia, se pierde la experiencia adquirida en campo; así como todo el conocimiento que ha obtenido por los cursos de capacitación recibidos durante su estancia en el comité. Otro punto importante es que no solo hay fuga de personal, también hay técnicos que ante dicha situación de no estar recibiendo un sueldo, pueden optar por tener otro trabajo u otro medio de subsistencia que, a la larga, puede restarles tiempo y atención de su principal función como profesional de campo. Esto puede ocasionar que la calidad y el compromiso del trabajo decaiga a niveles críticos, donde incluso, cuando son detectados, se pueden ocasionar despidos.

*Falta de Médicos Veterinarios.* Un punto muy preocupante es que en la gran mayoría de los Comités de Sanidad Acuícola hay escasez de médicos veterinarios, y en su lugar hay biólogos, biólogos marinos, biotecnólogos,

oceanólogos, ingenieros pesqueros, agrónomos, ingenieros en alimentos y otras carreras afines que, ante la necesidad de dar un tratamiento por alguna enfermedad y previa autorización por parte del mismo SENASICA y de los Comités, recetan medicamentos. Lo anterior no debería ocurrir ya que a pesar de que puedan tener ciertos conocimientos en cuestiones de sanidad acuícola y farmacología, no están facultados para recetar medicamentos, ya que legalmente, el único profesional autorizado para recetarlos es el médico veterinario zootecnista (MVZ). Esto ha generado una confusión hacia los productores, ya que al no tener una figura como tal bien representada y respetada para dar un tratamiento, pueden pensar que cualquiera puede recetar medicamentos y si estos se usan indiscriminadamente se puede generar un grave problema de resistencia a los antimicrobianos (RAM) (Lulijwa et al., 2020; Prena et al., 2020).

#### **Áreas de oportunidad**

*Mejorar las prestaciones laborales.* Es imprescindible que los profesionales de campo tengan todas las prestaciones laborales para obtener una mejor estabilidad económica, sobre todo que puedan contar con un seguro médico de gastos mayores, ya que, al estar en campo, los profesionales están mayormente expuestos a siniestros de diferente índole. Al contar con mejores prestaciones se busca evitar la fuga de talentos, y se dejará de invertir tiempo y recursos en capacitar y enseñar al nuevo personal, así como en conocer y ubicar las unidades de producción acuícola, los productores, la variabilidad de los sistemas productivos y sus principales problemáticas; con ello se logrará optimizar tiempos y recursos generando economías que puedan ser destinadas para alcanzar una mayor cobertura, es decir, asesorar a más productores, impulsando así una mayor productividad acuícola en el país.

*Elevar y homologar el nivel profesional del personal de todos los Comités.* Es necesario generar y crear esquemas de capacitación anuales a nivel básico, intermedio y avanzado a todo el personal y específicos para cada programa y área en particular. Esto es con la finalidad de brindarles a todos los profesionales operativos las herramientas y fundamentos básicos que les permitan realizar sus actividades de la mejor manera posible. Dicha capacitación deberá ser integral, con una visión holística y deberá incluir temas de liderazgo, seguridad laboral, trabajo en equipo, derechos humanos, equidad y violencia de género.

*Realizar actividades de divulgación de la ciencia.* Es imperante que los Comités de Sanidad Acuícola tengan una mayor presencia y participación en espacios de comunicación hacia la sociedad como escuelas y municipios, así como en redes sociales. Esto con la finalidad de tener una sociedad más informada con respecto de la importancia de las actividades que realiza el Comité, así como en otros temas vinculantes en el sector como la nutrición humana, cuidado del agua y sanidad e inocuidad. Con ello se pretende, por un lado, que las personas puedan exigir productos acuícolas de mejor calidad, que

diferencien los productos nacionales de los extranjeros y que se fomente el consumo de pescados y mariscos como parte de una nutrición adecuada que pueda garantizar el óptimo desarrollo y crecimiento de las personas, coadyuvando así a la seguridad alimentaria del país.

*Generar ingresos económicos.* Es fundamental que los Comités de Sanidad Acuícola tengan ingresos propios y no dependan al 100% de las aportaciones de los Gobiernos Estatales o Federales. En ese sentido, la estructura de los comités debería integrar un área destinada a generar ingresos a través de diversas actividades como rifas, carreras deportivas, concursos de fotografía y video, así como generar un esquema de aportaciones voluntarias de los productores que sea acorde a su nivel socioeconómico.

### **Vigilancia y regulación del uso de antibióticos**

Intensificar los cultivos acuícolas conlleva a que los peces se encuentren en condiciones de hacinamiento muy fuertes que puede ocasionar que su sistema inmune se vea comprometido, por lo cual existirá un mayor riesgo de aparición de enfermedades (Santos y Ramos, 2018). Para controlar las enfermedades normalmente se utilizan antimicrobianos, sin embargo, su mal uso y uso desmedido han ocasionado problemas de resistencia a los antimicrobianos (Reverter et al., 2014), por lo que es fundamental que se empiece a establecer un marco regulatorio más estricto con respecto a su venta, prescripción y uso (Cabello et al., 2013; Lulijwa et al., 2014; Preena et al., 2020). En México, a pesar de que el reglamento de la Ley Federal de Salud Animal estipula que “*la prescripción, dosificación y administración de biológicos, químicos o fármacos con fines preventivos, o terapéuticos para uso en animales, deberá realizarse siempre por un médico veterinario*” (LFSA, 2012), las veterinarias venden medicamentos sin restricción alguna y sin necesidad de receta. Los acuicultores pueden aplicar diversos antibióticos y medicamentos por “recomendación” de otro productor o por alguna persona de otra profesión sin que necesariamente sea médico veterinario y aplicarlo sin tampoco contar con un diagnóstico de laboratorio y un antibiograma. Es necesario que se fortalezca la vigilancia con respecto al uso indiscriminado de los antibióticos, y se deben empezar a aplicar multas a los productores y poner una mayor restricción para la venta y comercialización de los productos veterinarios tanto en el comercio formal, como informal. Además de ello, se le debe de dar un mayor peso a todas las medidas de bioseguridad y estrategias de prevención de enfermedades (Henriksson et al., 2018) para reducir al mínimo el uso de antibióticos y, en caso de ser necesario, que venga sustentado con un diagnóstico de laboratorio y un antibiograma que justifique su uso racional.

Por otro lado, es importante que se establezca un programa de monitoreo continuo de los genes de resistencia a los antimicrobianos (GRAM) (Hemamalini et al., 2022), sobre todo en los centros de reproducción acuícola para poder tener un mapa de la presencia y distribución de los GRAM que presentan las diferentes especies que se cultivan en todo el país. En ese sentido, se puede evaluar la factibilidad y viabilidad de añadir

como requisito para los certificados de sanidad acuícola, movilización e inocuidad, que los individuos estén libres de genes de RAM, con lo cual se pretende reducir la diseminación de los mismos. Cabe señalar que además de monitorear los GRAM en peces de cultivo, se deben realizar muestreos en peces ferales, sitios de descarga de aguas residuales y cuerpos de agua contaminados, con el fin de poder diseñar estrategias de manejo integrales (Borella et al., 2020; Hemamalini et al., 2022).

La RAM es un problema muy grave que conforme pasa el tiempo se va acrecentando pese a los esfuerzos que se han venido realizando para generar una mayor concientización acerca de sus consecuencias negativas y de la importancia del uso racional de los antibióticos tanto para la salud humana, animal y en los cultivos (OMS, 2015; OIE, 2016; DOF, 2018; FAO, 2021).

### **Fortalecer la investigación acuícola**

Incrementar la producción acuícola requiere que se empiece a desarrollar la industria a través de la innovación científica y transferencia de tecnología. Eso implica que se debe invertir y fomentar la investigación básica, pero sobre todo aplicada y que se busque atacar los principales problemas que aquejan al sector.

Entre las principales líneas de investigación se proponen:

- Creación de líneas genéticas resistentes al hacinamiento, a condiciones de mala calidad de agua (*e.g.*, bajo oxígeno y amonio alto), resistencia a enfermedades y con mejor tasa de crecimiento.
- La obtención de productos fitoquímicos a partir de subproductos agroindustriales y que posean actividades inmunoestimulantes.
- Investigación y desarrollo biotecnológico de especies acuícolas endémicas de agua dulce y marinas que tengan una buena aceptación para el consumo humano.
- Elaborar dietas artificiales para peces, crustáceos y moluscos a partir de ingredientes naturales, cuya producción se logre dar a gran escala y de forma sustentable.
- Avanzar en el conocimiento de la microbiota intestinal de los organismos acuáticos y el impacto en su crecimiento, fisiología y resistencia a enfermedades.
- Identificar e investigar el uso de bacteriófagos como alternativa al tratamiento de enfermedades en organismos acuáticos.
- Avanzar en el entendimiento de la biología y epidemiología de las enfermedades endémicas de mayor importancia en el país.
- Desarrollo de vacunas.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de monitoreo automatizado de parámetros de calidad de agua.
- Innovación en técnicas de diagnóstico presuntivo y definitivo.
- Mejorar la vida de anaquel de los productos congelados y envasados.
- Identificar las zonas con potencial acuícola tanto en tierra como en el mar.

Además de estas líneas de investigación, es necesario que se consoliden los centros de investigación en acuicultura que hay en el país y que se empiece a dar un mayor auge a la creación de *clusters* biotecnológicos

cuyo modelo sea de quintuple hélice y que integren los sectores productivos, académicos, gubernamentales, sociedad civil y el medio ambiente. Para ello será necesario incrementar el número de científicos en el país, por lo cual se deberán impulsar los diferentes posgrados existentes, así como promover acuerdos de colaboración entre instituciones científicas del extranjero para buscar consolidar la formación profesional de los nuevos investigadores.

### Financiamiento

Lograr transformar el sistema acuícola para que sea el pilar rector hacia la seguridad alimentaria requiere de innovación tecnológica y ello implica que se generen esquemas de financiamiento que ayuden a la adopción de tecnologías más eficientes y sustentables para el sector, como son los sistemas de recirculación acuícola (Ebeling y Timmons, 2012), Biofloc (Browdy et al., 2021) y la tecnología IPRS (Maser, 2012), así como la adopción e implementación de sistemas de aireación que utilicen energías renovables como la eólica y solar.

En este sentido, se requiere adquirir tanto equipo como capacitación especializada, la cual tiene un costo. Es por ello que se deben generar esquemas de financiamiento con tasas de interés muy bajas que permitan capitalizar y consolidar los proyectos acuícolas y que dichos esquemas funcionen como un sistema revolving en el cual, al término de pagar dicho crédito, se pueda volver a solicitarlo. Todos estos esquemas de financiamiento pueden salir tanto del gobierno como de la iniciativa privada, en donde se busque en todo momento apoyar al productor, pero considerando que haya un beneficio mutuo con el empresario que aporte el recurso.

### Resaltar la importancia del consumo de pescados y mariscos en la nutrición humana

Es de vital trascendencia que logremos transitar hacia una población más informada y consciente con respecto a los beneficios nutrimentales y de salud humana que se obtienen por consumir regularmente pescados y mariscos. Diversos estudios han indicado que estos alimentos son fuentes de proteínas, bajos en grasas, ricos en vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales (Chen et al., 2020; Troell et al., 2019) y que además poseen propiedades antioxidantes (Chi et al., 2015; Wang et al., 2004; Zheng et al., 2018), antiinflamatorias (Ahn et al., 2015; Bhattacharya et al., 2007; Chen et al., 2019b; Chen et al., 2021), antimicrobianas (Huang et al., 2007; Kang, et al., 2015), cicatrizantes (Chen et al., 2019a), hepatoprotectoras (Salama et al., 2013; Yang et al., 2017), cardioprotectoras (Bonaccio et al., 2017; Lee et al., 2014; Mohan et al., 2021) y neuroprotectoras (Denny Joseph y Muralidhara, 2015; Lopes et al., 2017; Xu et al., 2015). Debido a estos beneficios, es importante generar campañas de difusión orientadas a destacar todas las ventajas nutrimentales del consumo de pescados y mariscos y se deben realizar e implantar principalmente en el kínder y en escuelas primarias para generar improntas que permitan desarrollar nuevos consumidores que tengan siempre presente el consumo de pescados y mariscos, sobre todo nacionales y que cuenten con una certificación sanitaria y de

calidad. Finamente mencionar que todas las campañas y estrategias para fomentar el consumo de pescados y mariscos deben considerar la asequibilidad, la educación en términos de salud, nutrición y habilidades culinarias (Govzman et al., 2021).

### Conclusiones

Después de haber expuesto los principales retos que enfrenta la acuicultura en México hacia su consolidación buscando alcanzar la seguridad alimentaria, es un hecho que el camino es sumamente difícil y complicado, pero debemos ir generando una ruta crítica que permita ir avanzando en todos los frentes, aunque sea a pasos lentos. Lo que se debe priorizar en muchos aspectos es la voluntad política para poder destinar los recursos económicos que requiere el sector y ello implica que podamos contar con tomadores de decisión mejor informados, conscientes y que cuenten con un perfil académico que les permita ver todas las áreas de oportunidad del sector acuícola, así como sus principales limitantes y posibles soluciones. Es así que la seguridad alimentaria en México es verdaderamente alcanzable siempre y cuando se prioricen los temas de Una Salud (Stentiford et al., 2020), sustentabilidad y equidad social.

### Referencias

- Ahn, C. B., Cho, Y. S., y Je, J. Y. (2015). Purification and anti-inflammatory action of tripeptide from salmon pectoral fin byproduct protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 168, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.112>
- Agua, C. D. (2018). Estadísticas del agua en México. [https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Almond, R. E., Grooten, M., y Peterson, T. (2020). *Living Planet Report 2020-Bending the curve of biodiversity loss*. World Wildlife Fund. <https://www.zsl.org/sites/default/files/LPR%202020%20Full%20report.pdf>
- Assembly, G. UN. (2015). Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the UNGA on 25 September 2015 (A/RES/70/1). [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S)
- Bernstein, A. S., Oken, E., de Ferranti, S., Lowry, J. A., Ahdoot, S., Baum, C. R., ... y Schwarzenberg, S. J. (2019). Fish, shellfish, and children's health: an assessment of benefits, risks, and sustainability. *Pediatrics*, 143(6). <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0999>
- Bhattacharya, A., Sun, D., Rahman, M., y Fernandes, G. (2007). Different ratios of eicosapentaenoic and docosahexaenoic omega-3 fatty acids in commercial fish oils differentially alter pro-inflammatory cytokines in peritoneal macrophages from C57BL/6 female mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.02.005>
- Borella, L., Salogni, C., Vitale, N., Scali, F., Moretti, V. M., Pasquali, P., y Alborali, G. L. (2020). Motile aeromonads from farmed and wild freshwater fish in northern Italy: An evaluation of antimicrobial activity and multidrug resistance during 2013 and 2016. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 62(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s13028-020-0504-y>
- Browdy, C. L., Ray, A. J., Leffler, J. W., y Avnimelech, Y. (2012). Biofloc-based aquaculture systems. *Aquaculture Production Systems*, 278, 307. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch12>

- Chen, J., Jayachandran, M., Xu, B., y Yu, Z. (2019a). Sea bass (*Lateolabrax maculatus*) accelerates wound healing: A transition from inflammation to proliferation. *Journal of Ethnopharmacology*, 236, 263-276. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.03.012>
- Chen, J., Jayachandran, M., Zhang, W., Chen, L., Du, B., Yu, Z., y Xu, B. (2019b). Dietary supplementation with sea bass (*Lateolabrax maculatus*) ameliorates ulcerative colitis and inflammation in macrophages through inhibiting Toll-like receptor 4-linked pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 2907. <https://doi.org/10.3390/ijms20122907>
- Chen, J., Bai, W., Cai, D., Yu, Z., y Xu, B. (2021). Characterization and identification of novel anti-inflammatory peptides from Baijiao sea bass (*Lateolabrax maculatus*). *LWT*, 147, 111521. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111521>
- Chen, J., Jayachandran, M., Bai, W., y Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874>
- Chi, C. F., Hu, F. Y., Wang, B., Li, Z. R., y Luo, H. Y. (2015). Influence of amino acid compositions and peptide profiles on antioxidant capacities of two protein hydrolysates from skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) dark muscle. *Marine Drugs*, 13(5), 2580-2601. <https://doi.org/10.3390/md13052580>
- CONAGUA, S. (2020). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-2-22-a.pdf>
- Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2022). Ríos y Lagos. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex/rios-y-lagos>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Cuadernillos/33\\_Republica\\_Mexicana/33\\_RMEX.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Cuadernillos/33_Republica_Mexicana/33_RMEX.pdf)
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social CONEVAL. (2022). Medición Multidimensional de la Pobreza. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP\\_2018\\_2020/Pobreza\\_multidimensional\\_2016\\_2020\\_CONEVAL.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Pobreza_multidimensional_2016_2020_CONEVAL.pdf)
- Denny Joseph, K. M., y Muralidhara. (2015). Combined oral supplementation of fish oil and quercetin enhances neuroprotection in a chronic rotenone rat model: relevance to Parkinson's disease. *Neurochemical Research*, 40(5), 894-905. <https://doi.org/10.1007/s11064-015-1542-0>
- Ebeling, J. M., y Timmons, M. B. (2012). Recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Production Systems*, 1, 245-277. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch11>
- FAO. (2021). El Plan de Acción de la FAO sobre la resistencia a los antimicrobianos 2021-2025. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb5545es>
- FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M.D., y Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Govzman, S., Looby, S., Wang, X., Butler, F., Gibney, E. R., y Timon, C. M. (2021). A systematic review of the determinants of seafood consumption. *British Journal of Nutrition*, 126(1), 66-80. <https://doi.org/10.1017/S0007114520003773>
- Hambrey, J. (2017). The 2030 agenda and the sustainable development goals: the challenge for aquaculture development and management. FAO Fisheries and Aquaculture Circular, (C1141). <https://www.fao.org/3/i7808e/i7808e.pdf>
- Hemamalini, N., Shanmugam, S. A., Kathirvelpandian, A., Deepak, A., Kaliyamurthi, V., y Suresh, E. (2022). A critical review on the antimicrobial resistance, antibiotic residue and metagenomics-assisted antimicrobial resistance gene detection in freshwater aquaculture environment. *Aquaculture Research*, 53(2), 344-366. <https://doi.org/10.1111/are.15601>
- Henriksson, P. J., Rico, A., Troell, M., Klinger, D. H., Buschmann, A. H., Saksida, S., ... y Zhang, W. (2018). Unpacking factors influencing antimicrobial use in global aquaculture and their implication for management: a review from a systems perspective. *Sustainability Science*, 13(4), 1105-1120. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0511-8>
- Huang, P. H., Chen, J. Y., y Kuo, C. M. (2007). Three different hepcidins from tilapia, *Oreochromis mossambicus*: analysis of their expressions and biological functions. *Molecular Immunology*, 44(8), 1922-1934. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2006.09.031>
- Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO). (2021). Discurso y realidad: el despacho eléctrico en México durante la actual administración. [https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2021/05/24052021\\_Discurso-y-realidad-del-despacho-ele%CC%81ctrico-en-Me%CC%81xico-en-la-actual-administracio%CC%81n\\_Documento.pdf](https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2021/05/24052021_Discurso-y-realidad-del-despacho-ele%CC%81ctrico-en-Me%CC%81xico-en-la-actual-administracio%CC%81n_Documento.pdf)
- Kang, H. K., Seo, C. H., y Park, Y. (2015). Marine peptides and their anti-infective activities. *Marine Drugs*, 13(1), 618-654. <https://doi.org/10.3390/md13010618>
- Lee, J. K., Jeon, J. K., y Byun, H. G. (2014). Antihypertensive effect of novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin in spontaneously hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*, 7, 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.021>
- Lopes, P. A., Bandarra, N. M., Martins, S. V., Martinho, J., Alfaia, C. M., Madeira, M. S., ... y Prates, J. A. (2017). Markers of neuroprotection of combined EPA and DHA provided by fish oil are higher than those of EPA (*Nannochloropsis*) and DHA (*Schizochytrium*) from microalgae oils in Wistar rats. *Nutrition & Metabolism*, 14(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0218-y>
- Lulijwa, R., Rupia, E. J., y Alfaro, A. C. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 640-663. <https://doi.org/10.1111/raq.12344>
- Masser, M. P. (2012). In-pond raceways. En J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 387-394). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch15>
- Mohan, D., Mente, A., Dehghan, M., Rangarajan, S., O'Donnell, M., Hu, W., ... y Yusuf, S. (2021). Associations of fish consumption with risk of cardiovascular disease and mortality among individuals with or without vascular disease from 58 countries. *JAMA Internal Medicine*, 181(5), 631-649. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2021.0036>
- Preena, P. G., Swaminathan, T. R., Kumar, V. J. R., y Singh, I. S. B. (2020). Antimicrobial resistance in aquaculture: A crisis for

- concern. *Biologia*, 75(9), 1497-1517. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00456-4>
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., y Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
- Salama, M. F., Abbas, A., Darweish, M. M., El-Hawwary, A. A., y Al-Gayyar, M. M. (2013). Hepatoprotective effects of cod liver oil against sodium nitrite toxicity in rats. *Pharmaceutical Biology*, 51(11), 1435-1443. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.796564>
- Santos, L., y Ramos, F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010>
- Stentford, G. D., Bateman, I. J., Hinchliffe, S. J., Bass, D., Hartnell, R., Santos, E. M., ... y Tyler, C. R. (2020). Sustainable aquaculture through the One Health lens. *Nature Food*, 1(8), 468-474. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0127-5>
- Tigchelaar, M., Leape, J., Micheli, F., Allison, E. H., Basurto, X., Bennett, A., ... y Wabnitz, C. C. (2022). The vital roles of blue foods in the global food system. *Global Food Security*, 33, 100637. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100637>
- Troell, M., Jonell, M., y Crona, B. (2019). The role of seafood in sustainable and healthy diets. The EAT-Lancet Commission report through a blue lens. [https://eatforum.org/content/uploads/2019/11/Seafood\\_Scoping\\_Report\\_EAT-Lancet.pdf](https://eatforum.org/content/uploads/2019/11/Seafood_Scoping_Report_EAT-Lancet.pdf)
- United Nations. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015 (A/70/L. 1). [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf)
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Ten Key Messages. [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_key\\_messages.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_key_messages.pdf)
- van der Zee, B. (2022). More than 400 weather stations beat heat records in 2021. <https://www.theguardian.com/world/2022/jan/07/heat-records-broken-all-around-the-world-in-2021-says-climatologist>
- Wang, H. H., Hung, T. M., Wei, J., y Chiang, A. N. (2004). Fish oil increases antioxidant enzyme activities in macrophages and reduces atherosclerotic lesions in apoE-knockout mice. *Cardiovascular Research*, 61(1), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2003.11.002>
- World Health Organization. (2019). Taking a multisectoral one health approach: a tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/ca2942en/CA2942EN.pdf>
- Xu, L., Dong, W., Zhao, J., y Xu, Y. (2015). Effect of marine collagen peptides on physiological and neurobehavioral development of male rats with perinatal asphyxia. *Marine Drugs*, 13(6), 3653-3671. <https://doi.org/10.3390/md13063653>
- Yang, S. Y., Lee, S., Pyo, M. C., Jeon, H., Kim, Y., y Lee, K. W. (2017). Improved physicochemical properties and hepatic protection of Maillard reaction products derived from fish protein hydrolysates and ribose. *Food Chemistry*, 221, 1979-1988. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.145>
- Zheng, L., Yu, H., Wei, H., Xing, Q., Zou, Y., Zhou, Y., y Peng, J. (2018). Antioxidative peptides of hydrolysate prepared from fish skin gelatin using ginger protease activate antioxidant response element-mediated gene transcription in IPEC-J2 cells. *Journal of Functional Foods*, 51, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.08.033>