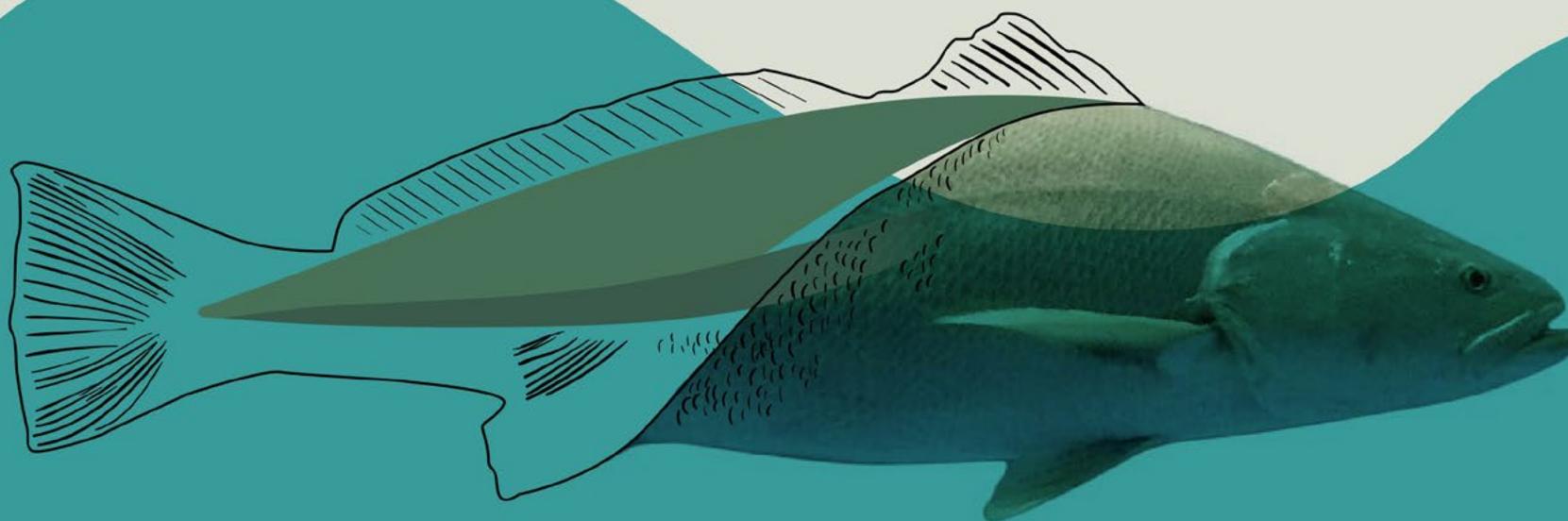




FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.

FMCN

INSTITUCIÓN PRIVADA



Diagnóstico de la **acuacultura en México**

Diagnóstico de la acuicultura en México Este documento fue sometido a un proceso de revisión y lecturas especializadas de expertos, a fin de cumplir criterios editoriales de Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., (FMCN). FMCN promueve el uso justo de esta publicación. Se solicita que sea citada apropiadamente cuando corresponda. También está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional: www.fmcn.org.mx

Coordinación general

Leonardo Vázquez-Vera
Consultor independiente

Paula Chávez Carreño
Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C.

Revisión editorial y corrección de estilo

Bárbara Castellanos Rafful

Diseño gráfico y editorial

Ingrid León Lucero
Vasti Ángel Apolinar

Créditos fotográficos

Daniel Vázquez-Arce, Leonardo Vázquez-Vera y Arturo Hernández Velasco.

Agradecemos a la Fundación David y Lucile Packard por el financiamiento del proyecto que dio como resultado esta publicación. Impreso y hecho en México.

Forma recomendada de citar este documento:

Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). Diagnóstico de la acuicultura en México. ISBN: 978-607-99061-5-3
Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México.

Diagnóstico de la acuicultura en México

Siglas y acrónimos

AMEXCAP	Asociación Mexicana de Capital Privado
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
CIBNOR	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC
COMEPESCA	Consejo Mexicano de Promoción de los Productos Pesqueros y Acuícolas, AC
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca
CONAPO	Consejo Nacional de Población
DOF	Diario Oficial de la Federación
EBITDA	Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FND	Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero
FOCIR	Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INAES	Instituto Nacional de Economía Social
INAPESCA	Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGPAS	Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables
NOM	Norma Oficial Mexicana
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSC	Organizaciones de la sociedad civil
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
RNPA	Registro Nacional de Pesca y Acuicultura
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SUBNARGENA	Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos
TOC	Tiempo óptimo de cosecha
TSM / SST	Temperatura superficial del mar
UE	Unidades económicas
WACC	Weighted average cost of capital

En esta publicación, “pesos” se refiere a pesos mexicanos y “dólares” a dólares estadounidenses.

La presentación de la información en esta investigación no implica una postura u opinión por parte de FMCN sobre el estado legal o de desarrollo de la acuicultura nacional. La mención de empresas específicas o productos de fabricantes, estén o no patentados, no implica que hayan sido respaldados o recomendados por FMCN con preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las designaciones empleadas y la presentación del material en los mapas no implican la expresión de ninguna opinión de FMCN sobre el estatus legal o constitucional de cualquier parte del país o zona marítima, o en relación con la delimitación de fronteras. Las opiniones expresadas en este producto de información son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones o las políticas de FMCN.

ISBN 978-607-99061-5-3

Primera edición junio de 2022.

Colaboradores (as):

Nombre

Ana Lucía Pozas Franco
Anaid Velasco Ramírez
Antonio Garza de Yta
Daniel Peñalosa Martinell
Daniel Vázquez Arce
José A. Fraire Cervantes
José Alberto Zepeda Domínguez
Juan Francisco Torres Origel
María Inés Pérez Centeno
Marian Rodríguez Fuentes
Roberto Ascencio Mitchel
Úrsula Garzón Aragón
Fernando Aranceta Garza
Francisco J. Vergara-Solana
Germán Ponce Díaz
Héctor Reyes Bonilla.
Humberto Villarreal Colmenares
Isidro Montelongo Alfaro
José Alberto Torres Martínez
Luis Mariano Sánchez Avelar
Mariana Walther Mendoza
Mario Sánchez Castro.
Paula Chávez Carreño
Ruth Sarahí Gómez Villada

Institución

The University of British Columbia
Centro Mexicano de Derecho Ambiental
World Aquaculture Society - México
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN
Kampachi Farms México
Blue You - Impact Blue Project
Universidad Autónoma de Baja California
The Nature Conservancy
Centro Mexicano de Derecho Ambiental
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN
Centro Mexicano de Derecho Ambiental
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Universidad Tecnológica del Mar Tamaulipas Bicentenario
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de Biodiversidad
The Nature Conservancy
Centro Mexicano de Derecho Ambiental
Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.
Centro Mexicano de Derecho Ambiental

CONTENIDO

Presentación	10
■ I. SITUACIÓN DE LA ACUACULTURA EN MÉXICO	14
1. La acuicultura en el mundo	15
2. Evolución histórica de la actividad acuícola en México:	17
3. Descripción del sector acuícola	22
4. Tipos de cultivo e infraestructura acuícola	25
5. Volumen y valor de las producciones acuícolas y pesqueras	29
7. Especies que se cultivan en México y su relevancia	35
8. Buenas prácticas y certificaciones	43
9. Conclusiones	45
10. Referencias.....	47
■ II. FINANCIAMIENTO Y SISTEMA DE SEGUROS PARA LA ACUACULTURA EN MÉXICO.....	60
1. Estructuración financiera de proyectos acuícolas	61
1.2. Bases conceptuales de las finanzas empresariales	64
2. Estructuración financiera y fuentes de capital para la acuicultura	67
2.1 Banca comercial e institucional.....	69
2.2 Banca comercial.....	70
2.3 Banca institucional	71
2.4 Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura	72
2.5 Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero	74
2.6 Capital de riesgo	74
2.6.1 Aplicación del capital de riesgo en la acuicultura	77
2.7 La inversión de impacto: estrategia para fomentar la acuicultura	80
2.8 Instrumentos flexibles	82
2.9 Donaciones y programas públicos	83
3. Seguros financieros	87
3.1 Tipos de cobertura y especies.	88
3.2 Productores sin acceso a seguros financieros	89
3.3 Productores agrícolas, pecuarios, pesqueros y acuícolas con acceso a seguros financieros	89

3.4	Condiciones para acceder al aseguramiento de biomasa.....	90
4.	Perspectiva a futuro de los seguros en México.....	92
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	93
6.	Referencias.....	94
■	III. ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS Y LA LEGISLACIÓN DE LA ACUACULTURA EN MÉXICO.....	99
1.	Estructura gubernamental para la administración y el manejo de la acuicultura.....	100
2.	Políticas y legislación actual.....	109
2.1	Plan Nacional de Desarrollo y Programas Sectoriales.....	110
2.2	Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables.....	111
2.3	Derechos de acceso: títulos y concesiones acuícolas.....	113
2.3.1	Concesión acuícola.....	115
2.3.2	Permiso.....	115
2.3.3	Unidades de Manejo Acuícola y Unidades Económicas.....	115
2.3.4	Normas Oficiales Mexicanas.....	116
2.3.5	Vinculación con otras leyes y reglamentos.....	118
3.	Alineación de la actividad acuícola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	120
3.1	Hambre cero.....	121
3.2	Trabajo decente y crecimiento económico.....	121
3.3	Producción y consumo responsables.....	122
3.4	Vida submarina.....	123
4.	Vacíos y necesidades de fortalecimiento en la legislación.....	124
5.	Oportunidades para desarrollar una estrategia.....	129
6.	Conclusiones.....	131
7.	Referencias.....	133
■	IV. ACUACULTURA COMO OPCIÓN DE DESARROLLO. ESTRATEGIAS Y PLANEACIÓN.....	150
1.	Introducción.....	151
2.	Distintos tipos de acuicultura.....	152
3.	Estrategias en políticas públicas.....	153
4.	Planeación.....	156
5.	Conclusiones.....	158
6.	Referencias.....	159

■	V. IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA ACUACULTURA	163
	1. Contexto internacional y nacional del desarrollo acuícola	164
	2. La acuicultura y el medio ambiente	166
	3. La acuicultura para la restauración y conservación	168
	4. La dependencia de la acuicultura sobre las pesquerías de reducción, cada vez menor	170
	5. El uso de semillas o individuos del medio natural para engorda	172
	6. Impactos negativos en la conservación genética y la biodiversidad	173
	7. La acuicultura y el cambio climático	174
	8. Resumen de impactos ambientales	175
	9. Impactos socioeconómicos	178
	10. El camino a la sustentabilidad	182
	11. Conclusiones y recomendaciones	184
	12. Referencias	186
■	VI. RELACIÓN DE LA ACUACULTURA Y LA PESCA EN MÉXICO	196
	1. Análisis de las tendencias de producción por pesca y acuicultura	197
	2. Proyecciones para México	202
	3. Interacciones entre la acuicultura y la pesca	205
	4. Conclusiones	209
	5. Referencias	211
■	VII. CAMBIO CLIMÁTICO Y EFECTO EN EL DESARROLLO DE LA ACUACULTURA	215
	1. Cambio climático y efectos en el desarrollo de la acuicultura	216
	2. Descripción de las variables forzantes principales relacionadas con el cambio climático y su efecto en organismos de interés acuícola	217
	3. Cambio climático y la acuicultura en México	222
	4. Vulnerabilidad del sector acuícola mexicano	226
	5. Impactos negativos de la actividad acuícola relacionados con el cambio climático y la sustentabilidad	228
	6. Mitigación de impactos de la actividad y de los efectos negativos del cambio climático	231

7.	Mecanismos y estrategias de adaptación al cambio climático	239
8.	Marco legal y políticas públicas en relación con el cambio climático en México	243
9.	Estudios de caso	246
10.	Conclusiones y recomendaciones de manejo para la adaptación al cambio climático	262
11.	Referencias	266
■	VIII. VOZ DE LOS ACTORES EN EL SECTOR ACUÍCOLA	297
1.	Introducción	298
2.	Necesidades en ciencia y tecnología	302
3.	Buenas prácticas e impactos ambientales de la acuicultura	306
4.	Marco legal	309
5.	Relación de la acuicultura con la pesca	312
6.	Cambio climático	315
7.	Fondos destinados a la acuicultura y seguros financieros	317
8.	Impacto del COVID-19	320
9.	Retos	322
10.	Conclusiones	325
11.	Referencias	327
■	IX. RECOMENDACIONES FINALES	330
1.	La acuicultura en México	331
2.	Retos y oportunidades	333
3.	Cambio climático: oportunidades ante la incertidumbre climática	339
4.	Referencias	341



Presentación

La producción de alimentos es un tema que define la sociedad humana desde hace más de diez mil años, con los primeros cultivos de plantas comestibles. La transformación de la tierra, el uso del agua y la generación de energía para intensificar la producción de alimentos y satisfacer la demanda mundial han contribuido significativamente a modificar el clima del planeta aún más que todos los eventos que se hayan documentado en la historia previa.

En el siglo XXI, hemos convertido 50% de la tierra habitable en áreas de cultivo, usamos 70% del agua disponible para riego, 90% de los recursos acuáticos están a su máxima capacidad de explotación y más de cincuenta millones de personas se dedican a obtener proteína acuática, ya sea por captura o cultivo, para una población de casi ocho mil millones de personas. El nivel de uso de los recursos y sus efectos en el medio ambiente es resultado de un proceso de ensayo y error durante cientos de generaciones, sin tecnología para planear el desarrollo, asociarse y anticipar que las emisiones provocadas por el uso de combustibles fósiles para impulsar el desarrollo mundial y la producción de alimentos provocarían un escenario adverso para las generaciones futuras e incluso para continuar operando en el presente.

11

La acuicultura es identificada internacionalmente como una de las mejores alternativas para producir alimentos de alta calidad con un impacto ambiental bajo en comparación con otras actividades agroalimentarias. Es una actividad dependiente de un nivel tecnológico relativamente elevado, por lo que su auge coincide con la etapa de mayores avances científicos de la humanidad y es el momento ideal para seguirla impulsando.

En México, de acuerdo con registros oficiales, la producción acuícola ha crecido a una tasa de 6% anual (2016-2018), emplea a más de cincuenta mil personas en las entidades federativas que realizan el cultivo de más de 70 especies en todos los tipos de ambiente acuático (marino, salobre y agua dulce), genera 230,000 toneladas anuales en promedio (2013-2018) de crustáceos y peces, con un valor de 15,000 millones de pesos anuales. La producción combinada (captura y cultivo) de camarón posiciona a México como el séptimo

productor a nivel mundial; 70% proviene del cultivo. En la actualidad, un kilogramo de producto acuícola nacional tiene un precio entre cinco y seis veces mayor al de un kilogramo de producto originado por la captura. La producción total de pescados y mariscos a nivel nacional tiene un valor de casi cuarenta mil millones de pesos, de los cuales la acuicultura aporta 40%.

El estímulo de la actividad acuícola en México está en la agenda del gobierno en curso para garantizar la seguridad alimentaria e impulsar el desarrollo del sector rural conforme al Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectoriales (2019-2024). A finales de 2020, el gobierno federal emitió el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura en el que la acuicultura es reconocida como proyecto prioritario para la autosuficiencia alimentarias y, además, desarrolla una estrategia nacional para incrementar en un 20% la producción acuícola en los próximos tres años. Existen múltiples obstáculos para lograr el objetivo, a la vez que se respeta el derecho de la sociedad a un medio ambiente sano. Por ello, es muy importante contar con las herramientas adecuadas y actualizadas (políticas, legales, sociales, financieras, tecnológicas), con la finalidad de evitar los errores históricos del desarrollo sin planeación integral. La participación de todos es crucial para contribuir a un desarrollo justo con el medio ambiente y construir una sociedad resiliente.

12

Con ese propósito, FMCN coordinó, junto con un consultor independiente, una investigación sobre el estado de la acuicultura en México mediante la colaboración con diferentes expertos. Como resultado, este documento contiene la revisión del estado actual de la acuicultura nacional y los retos a futuro, estructurado en nueve capítulos, en colaboración con veinticuatro expertos de trece instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil organizada

El capítulo I expone un resumen histórico de la acuicultura mexicana desde las culturas prehispánicas hasta la actualidad, la descripción del sector, el volumen, el valor de los productos acuícolas y las tendencias actuales.

Para emprender en la acuicultura es necesario contar con un plan financiero robusto que integre fondos variados de inversión, muchas veces desconocidos para el productor promedio en México. En el capítulo II, se examinan las fuentes y las alternativas de financiamiento para que el productor mexicano pueda ser competitivo.

El estado de desarrollo de la acuicultura en México está profundamente ligado al marco institucional y legal en el que operan los empresarios. Los retos, los vacíos y las oportunidades en términos de la legislación vigente son analizados en el capítulo III. En el capítulo IV, se plantean las estrategias para impulsar la acuicultura como una opción de desarrollo. En el capítulo V, se evalúan los impactos ambientales, sociales y económicos, tema que se profundiza en el capítulo VI mediante la revisión de casos documentados en la literatura científica internacional, considerando las interacciones con el sector pesquero y los escenarios que conviene evitar.

En el capítulo VII, se estudian a profundidad los impactos del cambio climático en la acuicultura a nivel internacional y se sintetizan los resultados de los modelos bioeconómicos para el cultivo de camarón blanco y ostión nacional, respectivamente. En el capítulo VIII, se detalla la opinión de expertos en el tema, incluyendo productores acuícolas, académicos, representantes de gobierno y de la sociedad civil organizada sobre la percepción de los retos que enfrenta la acuicultura del país, de acuerdo con los resultados de un estudio que constó de un taller, diversas entrevistas y una encuesta, que se llevó a cabo con ese objetivo.

13

Finalmente, en el capítulo IX, se enlista una serie de recomendaciones con base en los hallazgos y las opiniones recogidas en el estudio referido, identificando acciones factibles de los sectores público y privado que pueden contribuir de manera significativa a crear las condiciones y definir los principios necesarios para que producir alimentos para una población futura no comprometa los derechos humanos y sea la alternativa que representa a nivel mundial, garantizando la seguridad alimentaria, impulsando la economía y siendo la actividad de menor impacto ecológico para la producción de proteína.

Ana Laura Barillas

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C.

I. Situación de la acuacultura en México

Leonardo Vázquez-Vera, Antonio Garza de Yta,^a Ana Lucía Pozas Franco,^b Juan Francisco Torres Origel,^c Mariana Walther Mendoza^c e Isidro Montelongo Alfaro^d

^a Presidente electo de la Sociedad Mundial de Acuacultura (World Aquaculture Society).

^b British Columbia University, Canadá.

^c The Nature Conservancy, La Paz, Baja California Sur, México.

^d Universidad Tecnológica del Mar de Tamaulipas Bicentenario

1. La acuicultura en el mundo

El objetivo fundamental de la pesca y la acuicultura en el mundo ha sido proveer de proteína al ser humano. La pesca y la acuicultura han sido actividades clave para la evolución y la distribución del humano (Gartside y Kirkegaard, 2011; Sahrhage y Lundbeck, 1992), así como para su desarrollo tecnológico. Hallazgos de artes de pesca (anzuelos) y de restos de peces pelágicos sugieren habilidades de navegación y avances tecnológicos para la pesca en altamar desde hace más de cuarenta mil años (O'Connor *et al.*, 2011). Por otro lado, la acuicultura surge en una etapa de mayor avance tecnológico que promueve la vida sedentaria de las primeras civilizaciones. La modificación de costas para incrementar la producción de almejas hace más de once mil años, es una de las evidencias más antiguas relacionadas con el maricultivo en el continente americano (Canadá) (Groesbeck *et al.*, 2014). La FAO define la acuicultura como el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos, algas y plantas. La actividad acuícola implica la intervención humana para incrementar la producción, ya sea para concentrar poblaciones de peces, alimentarlas o protegerlas de los depredadores. El concepto asume que quien cultiva es propietario de los organismos (FAO, 1988). La acuicultura es uno de los sectores productivos de mayor tasa de crecimiento en el mundo. En promedio, ha crecido a una tasa de 5.3% anual durante el periodo 2001-2018 y ha sido una actividad rampante desde 1990 (Fig. 1). Según el reporte estadístico anual de la FAO (2020), en el año 2018, se tuvo otro registro histórico de producción acuícola: 114.5 millones de toneladas, con un

15

¿Acuicultura o acuicultura?

En México y en algunos países de latinoamérica (Ecuador, Argentina, Perú, Puerto Rico y Venezuela) es válido usar ambos términos de acuerdo con la Real Academia Española. En la Ley General de Pesca y Acuicultura, se define el término Acuicultura como el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, pre-engorda y engorda de especies de la fauna y flora, realizadas en instalaciones ubicadas en aguas dulces, marinas o salobres, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamental o recreativa (Art 4, LGPA, 2018).

valor estimado de 263,600 millones de dólares. El volumen total de la producción está compuesto por 82.1 millones de toneladas de animales acuáticos (peces, moluscos, crustáceos, etc.), 32.4 millones de toneladas de algas y 26,000 toneladas de especies ornamentales (e.g. especies de acuario). Actualmente, la actividad acuícola provee empleo a 20.5 millones de personas a nivel mundial y su expansión en todas las regiones es un hecho indiscutible. Si bien se espera que la actividad acuícola contribuya significativamente a alimentar a la población del futuro, hacerlo de manera sustentable y minimizando los impactos ambientales es un gran reto.

16

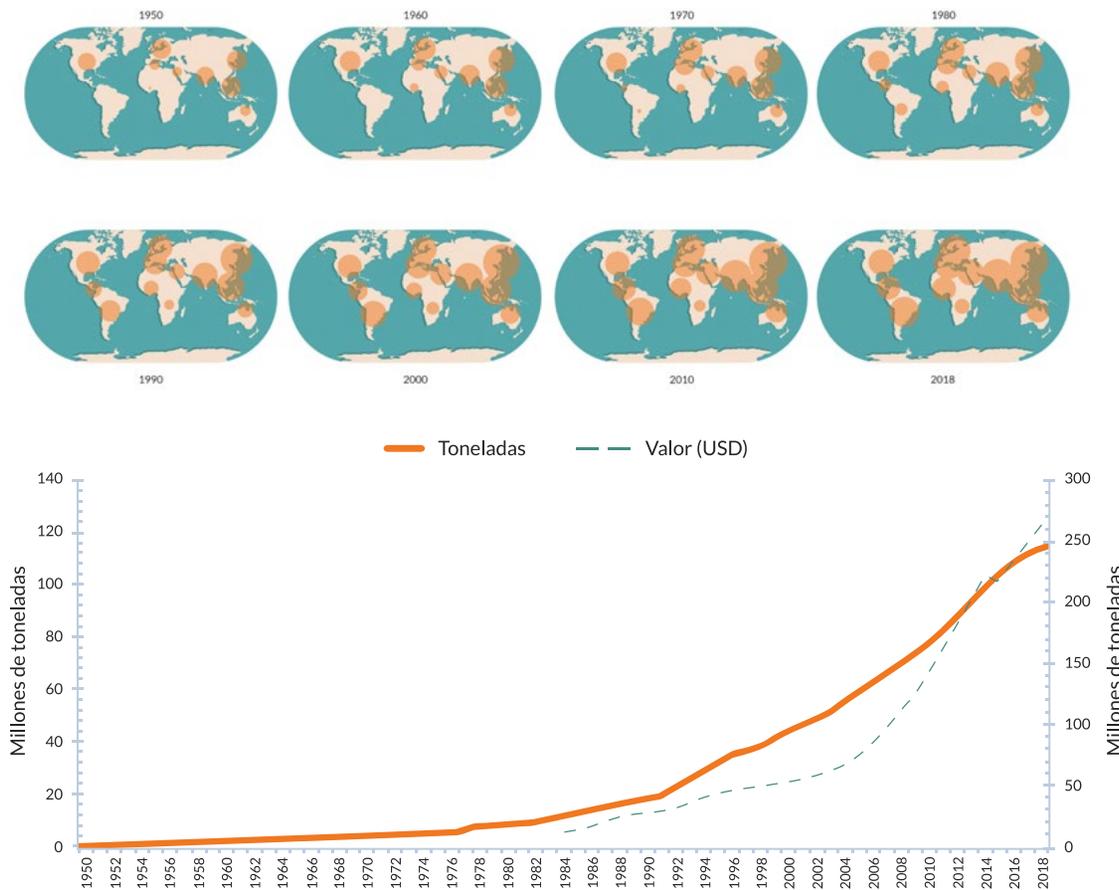


Figura 1. Crecimiento mundial de la acuicultura de 1950 a 2018.

Nota: En la gráfica se muestra el volumen (millones de toneladas) y el valor (millones de dólares) históricos. Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020; Isabella y Hunt, 2020.

2. Evolución histórica de la actividad acuícola en México:

La importancia del consumo de peces y organismos acuáticos en el territorio que hoy es México es manifiesta desde las expresiones de los primeros pobladores (hace más de once mil años), como se plasmó en las pinturas rupestres, que muestran actividades de caza y pesca, y en la elaboración de artefactos. La evidencia de la actividad acuícola es menos antigua; se sabe con certeza que, desde tiempos previos a la conquista española, diferentes culturas, como la mexica, la olmeca, la maya y la chichimeca, aprovecharon peces de agua dulce y de agua marina, primero con fines ornamentales y religiosos, posteriormente, con fines de engorda y consumo (Gutiérrez Yurrita, 1999; VanDerwarker, 2006; CEDRSSA, 2015). Después de la colonización, las actividades acuícolas se redujeron y pasaron inadvertidas hasta después de la independencia, cuando se otorgó la primera concesión para el cultivo de peces. A finales del siglo XIX, se reconoce la necesidad de invertir en la acuicultura y la pesca, considerando el crecimiento de la población (Gutiérrez Yurrita, 1999). Pocas veces registrado en la literatura especializada en acuicultura, pero ampliamente reconocido por historiadores, se ubica el trabajo de repoblamiento y cultivo realizado por Gastón J. Vives, de 1900 a 1914, para restaurar y aprovechar los bancos de madreperla (*Pinctada mazatlanica*) en Isla Espíritu Santo, ubicada en el Golfo de California (Fig. 2). Esta experiencia es considerada como uno de los primeros cultivos en la historia de la acuicultura mexicana. Los vestigios de la estación perlera aún subsisten en Bahía de San Gabriel. La estación llegó a emplear a 400 personas, que habitaban Isla Espíritu Santo de manera permanente, y contaba con canales de piedra que fueron usados para criar a los organismos y luego sembrarlos. (Cariño, 2003; Cariño y Monteforte, 2008; Santa Ana *et al.*, 2014). La empresa ostrícola Compañía Criadora de Concha y Perla de la Baja California, S. A., fundada en 1903, fue muy exitosa en desarrollar la tecnología necesaria para el aprovechamiento de las perlas y la repoblación de la especie, ya que la pesca excesiva había deteriorado los bancos naturales y estaba sometiéndola a una categoría especial de protección. Para 1914, la compañía había sembrado cuatro millones de organismos (Cariño y Monteforte, 2018). Fue hasta el año 1923 que México definió la acuicultura como “el aprovechamiento de las aguas y riberas para la cría y reproducción de animales” (INAES, 2018) y se invirtieron fondos en la creación

de centros acuícolas. En esa época, fue emitido el primer reglamento de pesca; la acuicultura era considerada una actividad de pesca con fines de aprovechamiento y repoblamiento. El repoblamiento de organismos sigue siendo una actividad ligada a la pesca, pues se considera que no hay una posesión de los organismos y de las poblaciones. Sin embargo, existe un marco legal que garantiza el derecho exclusivo para el aprovechamiento de ciertas especies concesionadas, que promueve la producción de larvas y el cultivo de juveniles para repoblar los bancos. Uno de los ejemplos a nivel nacional es el cultivo de abulón en el Pacífico Norte, ya que después de dos décadas ha logrado producir abulón de cultivo en 2020, para su comercialización (CONAPESCA, 2018a; Searcy-Bernal et al., 2010; Daniel Aguilar, Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera El Progreso, comunicación personal, marzo de 2020).

18

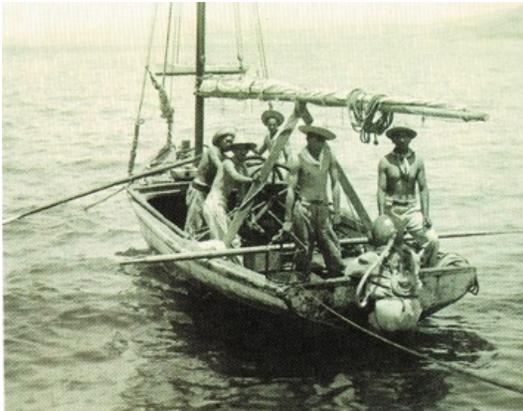
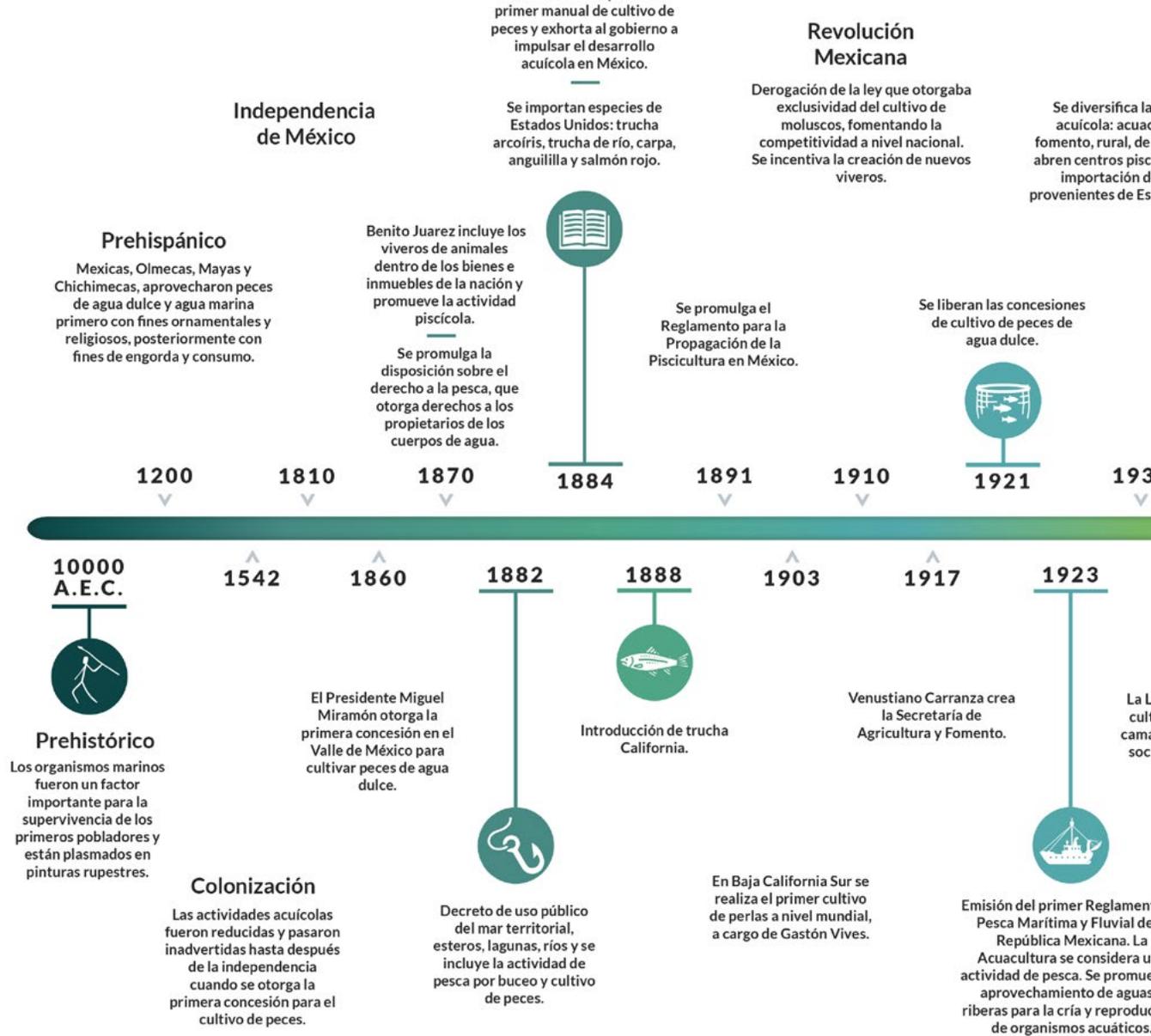


Figura 2. Izquierda: Pescadores de perlas en el Golfo de California. Derecha: Vestigios de la estación perlera de cultivo y procesamiento en Isla Espíritu Santo, Baja California Sur.

Entre 1930 y 1976, empezaban a diversificarse las prácticas acuícolas, con el apoyo de infraestructura, inversión y leyes que facilitaban su crecimiento. El cultivo de peces y moluscos fue asignado en diferentes categorías de acceso, otorgándose concesiones y permisos, primero a personas de confianza y posteriormente a ciudadanos interesados (Gutiérrez Yurrita, 2000; CEDRSSA, 2015). El cultivo de truchas fue un paso crítico para seguir importando semillas de otras especies, como el bagre y la tilapia. Pero, al depender principalmente de las semillas provenientes de Estados Unidos, el crecimiento de la actividad no fue el esperado y la inversión en ciencia para la producción de semillas no pudo cubrir la demanda. En la década de 1980, se tuvo la intención de impulsar la acuicultura. Se proyectó una producción de 650,000 toneladas de diversos productos

para 1982, la cual se pretendía alcanzar con los 17 centros acuícolas existentes y la construcción de 24 nuevos. Cambios administrativos cancelaron estas proyecciones. En 1982, se lanza el Programa Nacional del Sistema Alimentario Mexicano y se creó una importante infraestructura, integrada por 54 centros acuícolas, seis de los cuales estaban orientados a la producción de semillas, post-larvas y juveniles de organismos marinos y de aguas salobres; sin embargo, 44% de dichas instalaciones no estaban terminadas y, por lo tanto, no operaban. En 1985, en coordinación con el Centro de Investigación Científica y Técnica de la Universidad de Sonora, se instrumentó de manera comercial el cultivo de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*), en Puerto Peñasco, Sonora. Uno de los resultados de la modificación a la Ley de Pesca fue que se creó un mecanismo para que los inversionistas del sector privado pudieran establecer convenios con cooperativas con fines como la camaronicultura. Durante el periodo 1983-1989, se presentó un crecimiento promedio anual de la acuicultura de 8.6%, al pasar de 122,148 a 181,697 toneladas anuales (DeWalt *et al.*, 2002). A principios de 1990, las especies predominantes siguieron siendo la mojarra, el ostión y la carpa, pero los cambios normativos impulsaron el cultivo de camarón, al eliminar la exclusividad de aprovechamiento, extender las concesiones acuícolas de 20 a 50 años y otorgar permisos para el cultivo. Estas acciones fueron determinantes para el gran crecimiento que se registró durante esa década, donde alcanzó un máximo de 15,867 toneladas en 1995, aunque enfrentó una caída en 1996 (13,315 toneladas) debido a los problemas originados por la presencia de enfermedades. A partir de 1993, el cultivo de camarón, que representaba 8% de la producción acuícola nacional, tuvo un incremento anual de 2.4% hasta llegar a contribuir con 47% en el año 2009 (Martínez-Córdova *et al.*, 2009). En la última década, el desarrollo de la actividad acuícola ha sido impulsado desde los sectores privado y público; no obstante, prevalece una etapa de subdesarrollo, considerando el potencial de producción. Las principales producciones enfrentan diferentes retos. En el caso del camarón, el impacto periódico de enfermedades; y en el caso de la tilapia, la alta demanda, sumada a una baja capacidad para agregar valor en el manejo, la presentación y la comercialización. El cultivo de peces marinos sigue subdesarrollado aunque ha conseguido éxitos importantes al aplicar tecnologías de vanguardia, lograr certificaciones internacionales y posicionarse en el mercado.

2.1 Línea del tiempo de la actividad acuícola



Fuente: Elaboración propia con datos de Celaya y Almaraz, 2018; Cuéllar-Lugo et al., 2018.

actividad
cultura de
consumo. Se
ícolas para la
e huevos
tados Unidos.

Creación del Instituto Nacional
de Investigaciones Biológico -
Pesqueras como el órgano de
gobierno encargado de dar
asistencia científica y técnica
para el desarrollo de la pesca y
acuicultura.

Se establece la Zona Económica
Exclusiva de México

Desaparece SEPESCA y el INP
queda como parte de la
SEMARNAP.

A nivel mundial y nacional,
la acuicultura supera en
volumen de producción a la
actividad de pesca.

Última edición de la carta
nacional acuícola

El INAPESCA cambia de
denominación y se convierte
en el Instituto Mexicano de
Investigación para la Pesca y
Acuicultura Sustentable.



Ley de Pesca reserva el
cultivo de abulón, ostión,
camarón, cabrilla y almeja a
comunidades cooperativas.

La legislación reconoce la
superficie de aguas
interiores para el cultivo y
aprovechamiento.

Se modifica la Ley de Pesca, lo
cual detona el cultivo de camarón
y atrae la inversión.

Comienza el cultivo de camarón;
en Baja California Sur el cultivo
de peces marinos como el
Pámpano (*Trachinotus paitiensis*).

Se publica la nueva Ley General de
Pesca y Acuicultura Sustentables
(LGPAS) en el Diario Oficial de la
Federación el día 24 de julio de
2007, en la que se establece que
corresponde a la SAGARPA, a
propuesta del INAPESCA, aprobar,
expedir y publicar la Carta
Nacional Acuícola.

Ampliación de los apoyos
para el sector acuícola y
diversificación del número
de especies, incluyendo
algas marinas, peces,
moluscos marinos y de
agua dulce y reptiles.

2020. El Programa
Nacional de Acuicultura y
Pesca identifican la
acuicultura como
actividad prioritaria para
cumplir metas del Plan
Nacional de Desarrollo (e.g.
soberanía alimentaria y
reducir la pobreza).

Se comienza a cultivar de
manera rural la tilapia.

5,000 t de tilapia,
780 t de trucha arcoíris,
7,600 t de carpa común,
600 t de bagre y 4,371 t
de camarón blanco del
Pacífico (*Litopenaeus
vannamei*).

Actualización de la Carta
Nacional Acuícola.

to de
la
na
ve el
y
ción

3. Descripción del sector acuícola

México cuenta con una población de 126 millones de habitantes, una superficie terrestre de 1,960,189 km² y una zona económica exclusiva de 3,149,920 km², incluyendo mar territorial e islas (Fig. 3). Esta extensión territorial alberga una gran diversidad de ecosistemas, especies y recursos naturales, que se traduce en un gran potencial para el desarrollo del sector acuícola, que resulta evidente si consideramos que las actividades de acuicultura se realizan en casi todas las entidades federativas, con y sin litoral. El sector acuícola incluye a 56,250 personas, quienes trabajan directamente en el cultivo de más de sesenta especies de peces, plantas, algas, anfibios y moluscos en el país (DOF, 2013; CONAPESCA, 2018a). De acuerdo con los censos económicos del INEGI, se estima que alrededor del 8% de la población ocupada son mujeres y el 92% son hombres (CONAPESCA, 2020; INEGI, 2019). De acuerdo a la Encuesta Nacional en el sector pesquero y acuícola existe un 25% de instalaciones acuícolas que están fuera del Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (SAGARPA-IICA 2019); por lo tanto, es factible que el sector acuícola este integrado por aproximadamente 100,000 personas. El sector pesquero, integrado por 295,033 personas, incluye a los acuicultores y separa en una categoría especial a los productores que se dedican a la explotación pesquera en embalses epicontinentales¹. La clasificación generó controversia, debido a que, por definición, la actividad está ligada a la pesca más que a la acuicultura. La pesca en embalses ha tenido un gran impulso en parte por el interés de los gobiernos estatales e instituciones federales de fomentar la actividad. Aún cuando suele agregarse la producción de estas pesquerías al volumen total de la producción acuícola, el dato no se reporta ni es aceptado internacionalmente,

22

¹Comprenden la explotación pesquera en embalses epicontinentales, donde se practica la pesca comercial sustentada tanto en las siembras sistemáticas de crías de especies tales como carpa, tilapia, bagre y lobina, producidas por los centros acuícolas dependientes de los gobiernos estatales y federal, así como en las derivadas del manejo de existencias silvestres de crías de peces, post-larvas de langostino, renacuajos y similares.

ámbito en el que solo se considera la producción en estanques, tinas o sistemas controlados (FAO, 2020; CONAPESCA, 2018b)². Por otro lado, hay acuicultores registrados en sociedades agrícolas con actividades acuícolas cuyas UE están consideradas entre las 25,477 UE del RNPA; no queda claro si son incluidos en la cifra de personas dedicadas al sector acuícola que ya se mencionó (CONAPESCA, 2020). La mayor parte de la población que se dedica a la acuicultura se encuentra en el litoral del Pacífico (Sinaloa, Sonora, Baja California Sur, Baja California, Colima, Jalisco, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán). Sinaloa es la entidad federativa con mayor número de acuicultores (figs. 4A y 4B) y, en conjunto con Sonora, contribuye a más de 60% de la producción acuícola nacional en sistemas controlados.

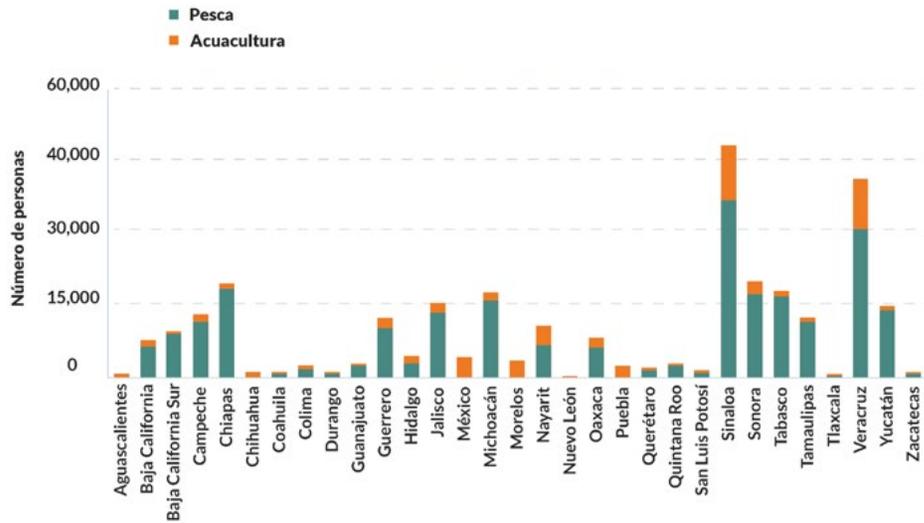


Figura 3. El territorio mexicano cuenta con 11,122 km de litoral, de los cuales 7,828 km corresponden al Pacífico y 3,294 km al Golfo de México y el Caribe (INEGI, s. f.).

²Sistemas controlados: cubren la producción generada en instalaciones creadas para el cultivo de especies acuícolas mediante la aplicación de un modelo tecnológico que descansa en el ejercicio de diversas rutinas de trabajo (bombeo de agua, alimentación de animales, fertilización, control de densidades, entre otras). Fuente: CONAPESCA, 2017.

Es notable que la población dedicada a la actividad acuícola en el resto del país es similar entre los estados con litoral y sin litoral, lo cual indica la importancia del cultivo de especies de agua dulce. En la región del Golfo de México, Veracruz es la entidad federativa con mayor número de personas registradas con actividad acuícola; de los estados sin litoral, destacan el Estado de México y Morelos (CONAPESCA, 2018a).

A



B

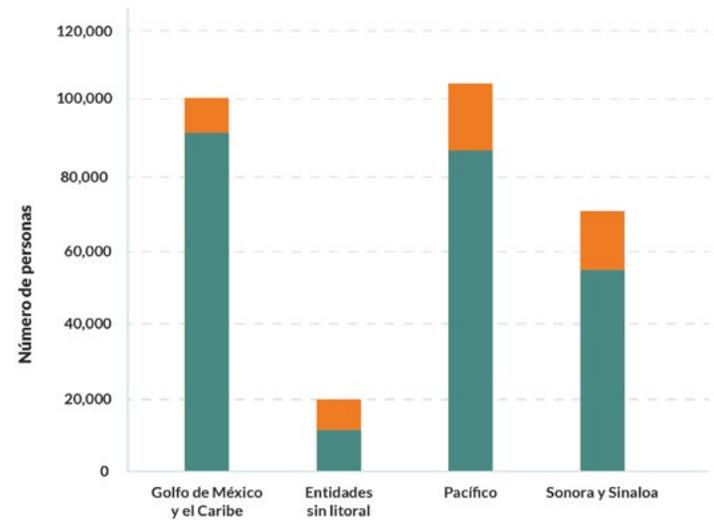


Figura 4. A. A la izquierda, datos agregados del número de personas registradas por estado y por tipo de actividad. B. A la derecha, datos por regiones del país y tipo de actividad en el sector. Para la Ciudad de México no se cuenta con datos.

Nota: Se agrupa en una categoría a Sonora y Sinaloa por ser las entidades que albergan un mayor número de pescadores y acuicultores.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA, 2018.

4. Tipos de cultivo e infraestructura acuícola

Desde el punto de vista del balance energético de un sistema, el tipo de cultivo se diferencia en función de cómo se relaciona con el uso de alimentos. De acuerdo con Coche (1982), en la acuicultura extensiva, los animales acuáticos deben depender únicamente de los alimentos naturales disponibles, como el plancton y los detritos. La acuicultura semi-intensiva implica la fertilización para mejorar el nivel de alimentos naturales en los sistemas y/o el uso de alimentos complementarios. En la acuicultura intensiva, los animales dependen casi exclusivamente de un suministro externo de alimentos ricos en proteínas.

La alimentación es uno de los temas centrales en la producción acuícola, ya que puede representar hasta 70% de los costos operativos de una granja. Por lo tanto, la investigación científica ha asumido el reto para producir alimentos de alta calidad, con menor costo e impacto ambiental y con el mejor factor de conversión, es decir, biomasa ganada por kilogramo de alimento proporcionado.

A nivel mundial, se ha avanzado para optimizar los cultivos mediante la aplicación de tecnología para el cultivo y/o mediante la sustitución de harinas o aceites de pescado por proteína vegetal, insectos y descartes de pescados (Hua *et al.*, 2019; Frempong *et al.*, 2019; Daniel, 2018).

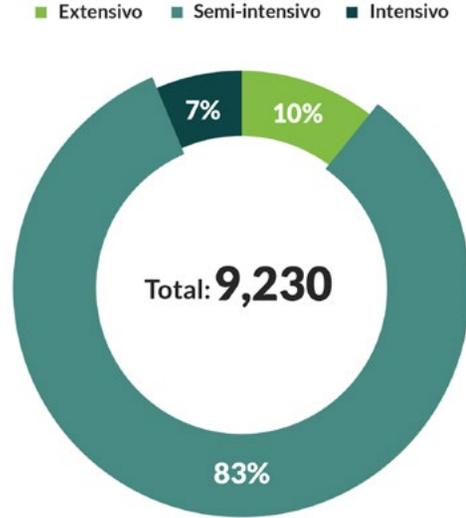
En México, tenemos buenos ejemplos de estos avances científicos, como en Yucatán y el Estado de México, donde se han realizado pruebas exitosas sustituyendo la proteína animal con proteína vegetal, en particular chaya (*Cnidoscolus chayamansa*), gluten de maíz, soya y canola para el cultivo de tilapia, trucha arcoíris y camarón blanco (Poot López *et al.*, 2012; Carrillo-Longoria *et al.*, 2018; Escobar, *et al.*, 2019), y en Baja California Sur, con la integración de sistemas de recirculación para el cultivo de tilapia y la integración con el cultivo de hortalizas (Fimbres-Acedo *et al.*, 2019).

La CONAPESCA utiliza las siguientes definiciones operativas para los tipos de cultivo:

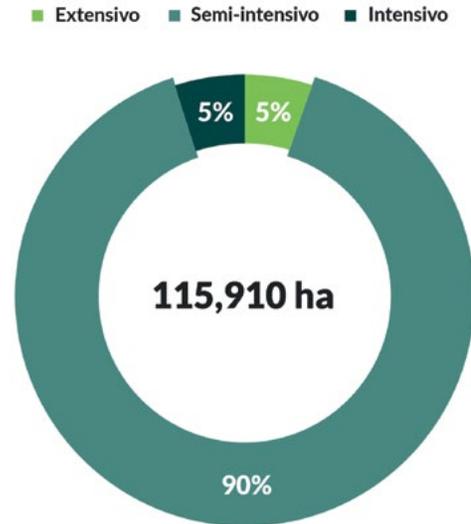
- Cultivo extensivo: Es el sistema de producción en el que la intervención del hombre es mínima, reduciéndose prácticamente a dos funciones: captura de postlarvas y/o alevines, y despesque de adultos una vez alcanzada la talla comercial (e.g. algas marinas, tilapia y trucha).
- Cultivo intensivo: Sistema de producción que busca una elevada producción en el menor espacio y de la manera más rápida posible (e.g. camarón y ostión).
- Cultivo semi-intensivo: Se caracteriza por administración de alimento, adición paralela y controlada de alevines y renovación del agua (e.g. bagre y huachinango).

26 Si bien estas definiciones se relacionan con el uso de los recursos alimenticios, especies y actividades, ignoran otros recursos, como la energía, la tierra y el agua. Es una consideración importante, ya que la intensidad de los métodos de producción tiene implicaciones para el uso de los recursos (e.g. agua y suelo): cuanto mayor sea el suministro de alimentos externos por tonelada de producción, mayores serán los desechos y mayores serán las demandas sobre el medio ambiente para dispersar y asimilar estos desechos. A nivel nacional, se cuenta con 9,230 instalaciones acuícolas y 115,910 hectáreas para la producción de más de 70 especies. Del total de las instalaciones y el área destinada para la actividad acuícola, el cultivo semi-intensivo es el que predomina (Fig. 5A). El cultivo de camarón ocupa 74% del área nacional destinada a la actividad; y en cuanto al número de las instalaciones, el cultivo de tilapia representa 50% de todas las granjas acuícolas. Ambas especies son de prioridad nacional, debido a su valor y volumen de producción (camarón y tilapia, respectivamente) (Fig. 5C).

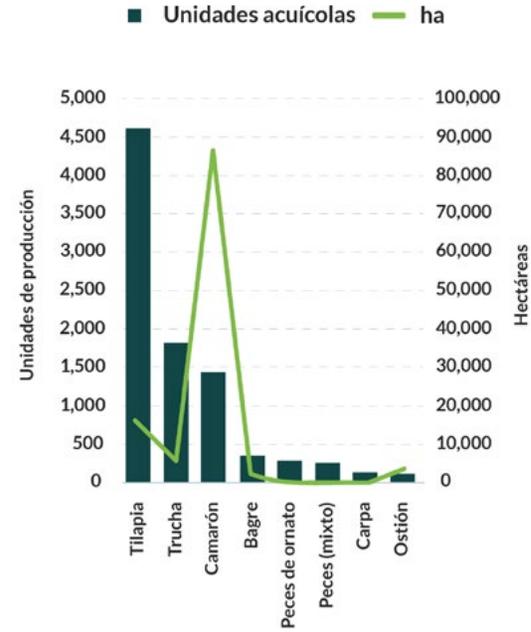
A



B



C



■ Unidades acuícolas ■ ha

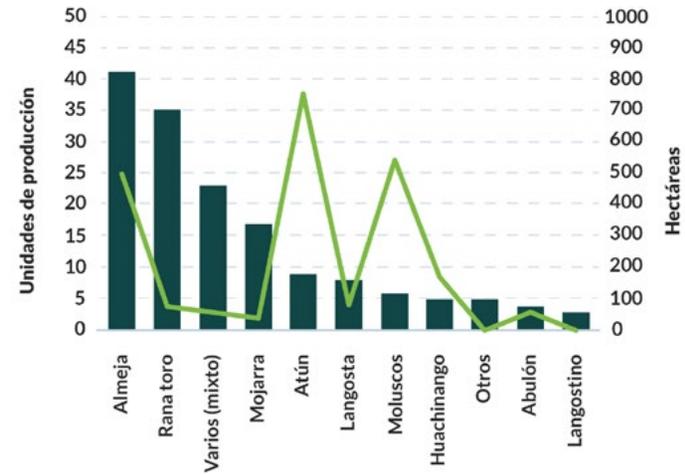


Figura 5. Número de unidades acuícolas (A) y área por tipo de cultivo (B). Número de unidades y área destinada para el cultivo de las principales especies y grupos de especies (C y D). Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA, 2017.

Aunque la mayoría de las instalaciones acuícolas funcionan como granjas de producción, existen 14 centros acuícolas operados por el gobierno federal, cuatro de los cuales son gestionados en conjunto con los gobiernos estatales, cuya finalidad consiste en producir líneas genéticas de insumos biológicos de calidad para los productores, desarrollar técnicas modernas de reproducción y manejo, orientar el mejoramiento de embalses y atender las necesidades costeras y ribereñas para el desarrollo de la maricultura. Además, existen otros centros que integran estas actividades con la producción y la investigación (Tab. 1).

Tabla 1. Uso de las UE registradas ante la CONAPESCA

Tipo	Total de Unidades Económicas
CENTRO ACUÍCOLA	146
Centro Acuícola Granja	10
Centro Acuícola Granja Laboratorio	1
Centro Acuícola Laboratorio	5
GRANJA	9111
Granja Laboratorio	92
Laboratorio	198
Total general	9563

Fuente: Registro Nacional de Pesca y Acuicultura 2020.

Nota: El número total de registros, 9,563, corresponde a abril de 2020. La diferencia respecto al valor reportado en la figura 5 puede deberse al año en el que fue registrado (2017-2020).

5. Volumen y valor de las producciones acuícolas y pesqueras

A nivel internacional, México se posiciona en el lugar 24 de los productores acuícolas y en el 13 de los productores pesqueros. En 24 años de registros disponibles públicamente (1995-2018), el país registra un volumen de producción anual promedio de 1.6 millones de toneladas (MdT) \pm 0.21 MdT, considerando actividades acuícolas y pesca de más de seiscientas especies³ en los litorales y las aguas continentales (CONAPESCA, 2018a). En 2017 y 2018, el valor total anual de las producciones superó los 39,000 millones de pesos y alcanzó un volumen de 2.1 millones de toneladas (figs. 6A y 6B).

Considerando el mismo intervalo de tiempo (1995-2018), la producción promedio anual de la acuicultura aportó 123,676.43 toneladas (\pm desviación estándar 71,795.33 toneladas); y en los últimos años (2015-2018), la producción ha promediado 230,869.7 toneladas (\pm desviación estándar 17,162.43 toneladas). La acuicultura ha contribuido en promedio a 9.3% (\pm desviación estándar 2.1%) del volumen de producción total (peso vivo) en los últimos trece años cuyos datos se encuentran disponibles (2005-2018). Considerando que, entre 2015 y 2018, la acuicultura creció a una tasa de 6% anual, es pertinente estimar su contribución al volumen nacional, que fue de 12% \pm 0.7%. En cuanto a la contribución de estas producciones al valor total nacional, el valor de los productos acuícolas ha fluctuado entre 33.9% \pm 4.0% (2005-2018) y 38.3% \pm 2.8% (2015-2018) (Fig. 7).

29

³El inventario de los recursos pesqueros y acuícolas del país sigue siendo objeto de estudio. Se sabe que hay más de seiscientas cincuenta especies aprovechadas en aguas mexicanas (CONABIO, s. f.), de las cuales casi seiscientas son consideradas en la Carta Nacional Pesquera. Otros estudios han demostrado que puede haber más de novecientas especies de interés comercial solo en el Pacífico mexicano (Ramírez Rodríguez, 2013). En cuanto al estado de conservación de los recursos pesqueros, los datos indican que, de las 250 especies registradas en las estadísticas oficiales en los últimos 50 años, 46.3% tiene el rendimiento máximo sostenible; 28.6% experimenta sobrepesca; 6.9%, se encuentra en etapa de desarrollo y 18.3% ha colapsado (Arreguín Sánchez et al., 2011).

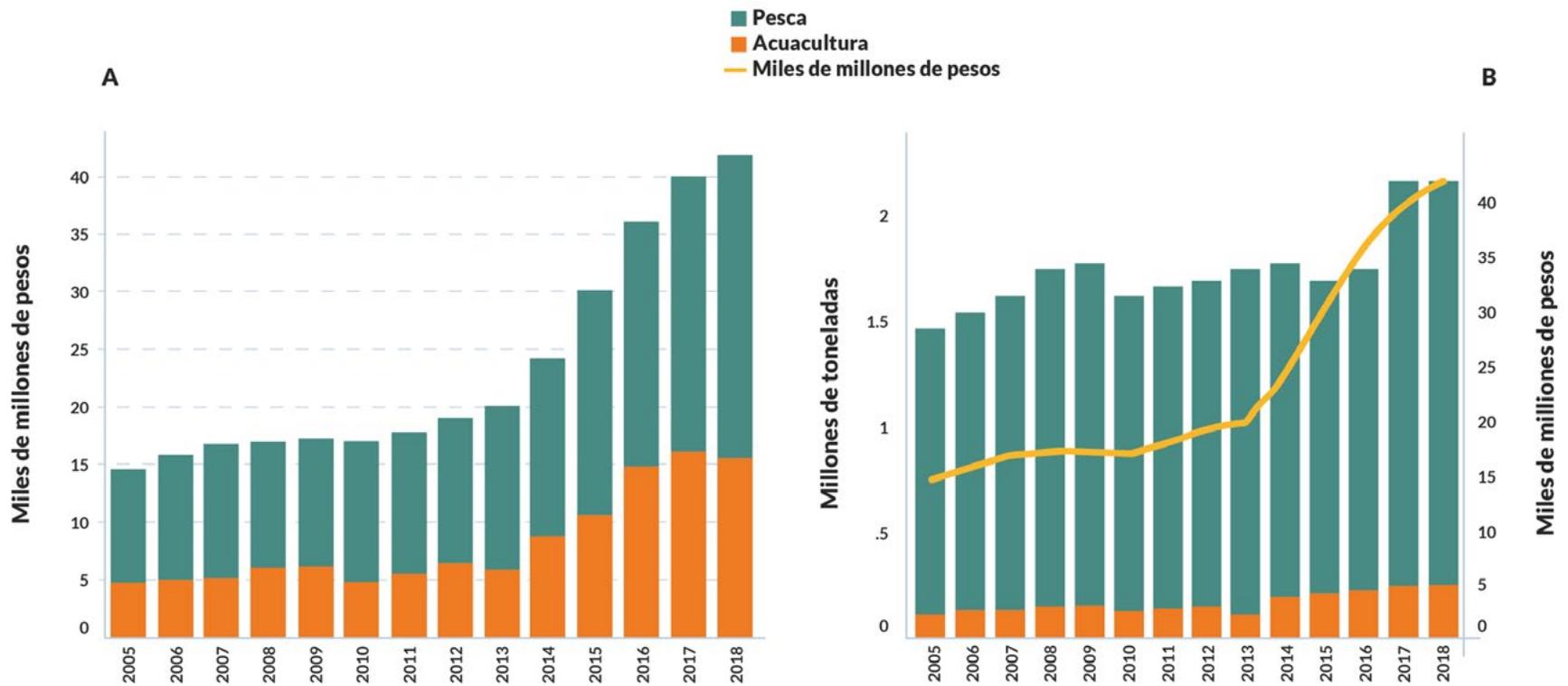


Figura 6. A. Valor total en miles de millones de pesos de las producciones acuícolas (amarillo) y pesqueras (azul). B. Volumen histórico de las producciones pesqueras y acuícolas de México en millones de toneladas. En el eje secundario (izquierda) se grafica el valor agregado en millones de pesos de las producciones. Fuente: Datos públicos de CONAPESCA 2020. En 2019 la producción acuícola fue de 306,563 toneladas, y en 2020 fue de 351,002 toneladas. Las producciones pesqueras fueron de 1,580,234 en 2019 y de 1,599,008 toneladas en 2020.

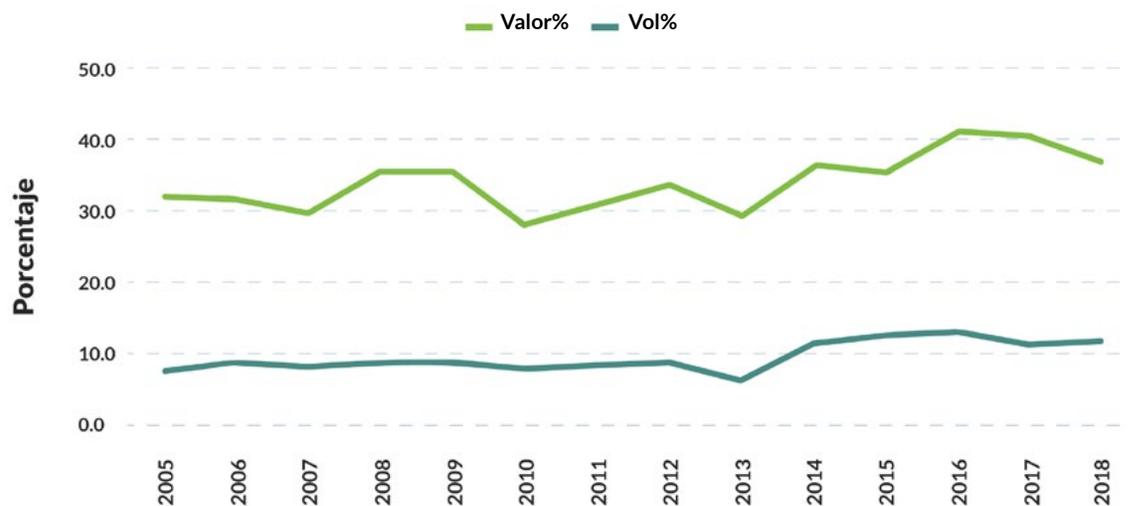


Figura 7. Contribución (%) de las producciones acuícolas al volumen y valor de la producción nacional de pescados y mariscos. Fuente: Datos públicos de la CONAPESCA 2020.

Antes de 2013, el valor de la acuicultura oscilaba entre 4,000 y 6,000 millones de pesos anuales. Entre 2013 y 2018, el valor se incrementó, junto con el volumen de producción, alcanzando un registro de hasta 16,000 millones de pesos (CONAPESCA, 2018a). El alto valor de la producción acuícola se explica parcialmente por el alto valor de algunas especies, como el camarón, que se produce intensivamente en estados como Sonora y Sinaloa. Actualmente, la producción de camarón de cultivo coloca a México en el lugar siete a nivel internacional, con un volumen dos veces mayor a la producción por pesca. Como referencia, el valor conjunto de las principales especies pesqueras de México (sardina, atún y camarón) equivale a menos de una tercera parte del valor del camarón de cultivo (Fig. 8).

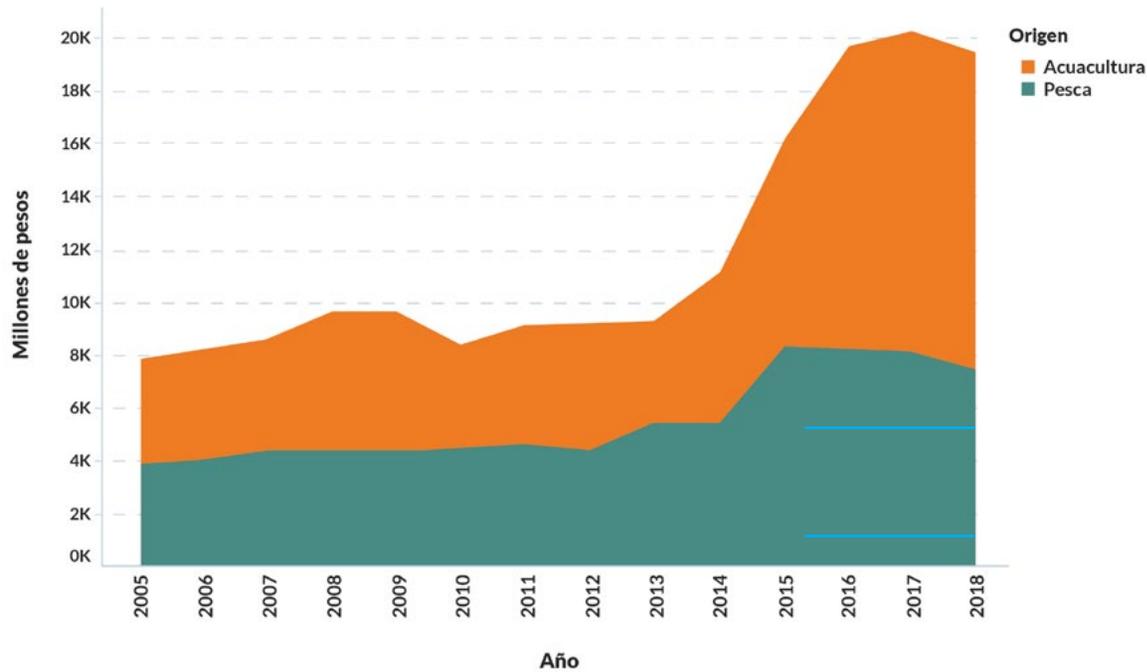


Figura 8. Comparación del valor del camarón de cultivo (acuacultura) con el valor conjunto de las principales especies pesqueras de México (pesca): sardina (primera línea), atún (segunda línea) y camarón (tercera línea). Fuente: Datos públicos de la CONAPESCA 2020.

Considerando el volumen y la contribución al valor total, se aprecia que la acuacultura, con una décima parte de la producción total, aporta más de una tercera parte del valor total de la producción nacional, evidencia clara de su importancia económica para el país. Como ejemplo: del cálculo histórico del valor por kilogramo producido por la acuacultura y por las capturas, resulta que el valor por kilogramo de producto acuícola es entre cinco y seis veces mayor que el valor de un kilogramo producido por capturas (Fig. 9A). Además, en términos generales, esta tendencia se mantiene en las entidades federativas, excepto en Quintana Roo (Fig. 9B), donde es diferente debido al alto valor de la langosta roja producida por la pesca y el poco desarrollo de la acuacultura, principalmente basada en el cultivo de tilapia.

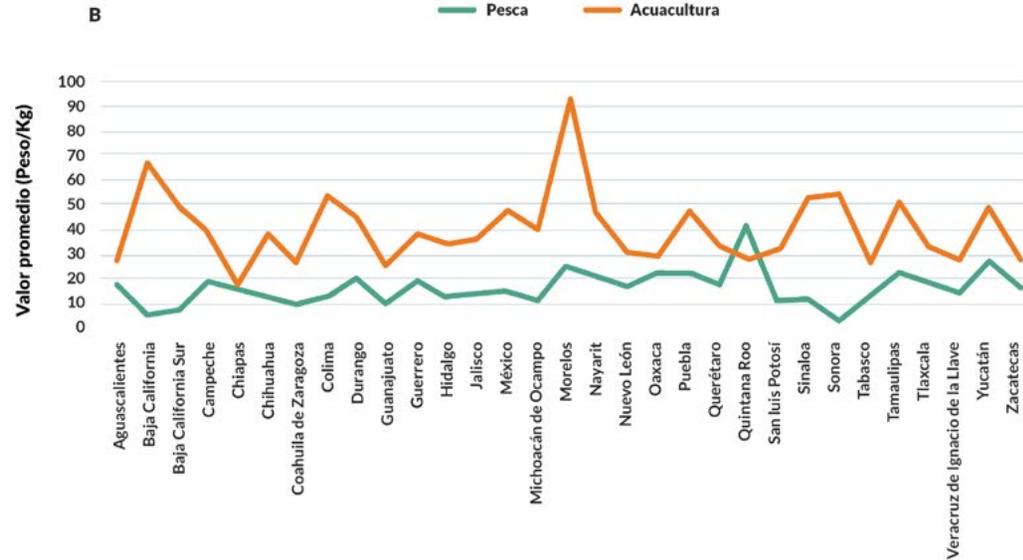
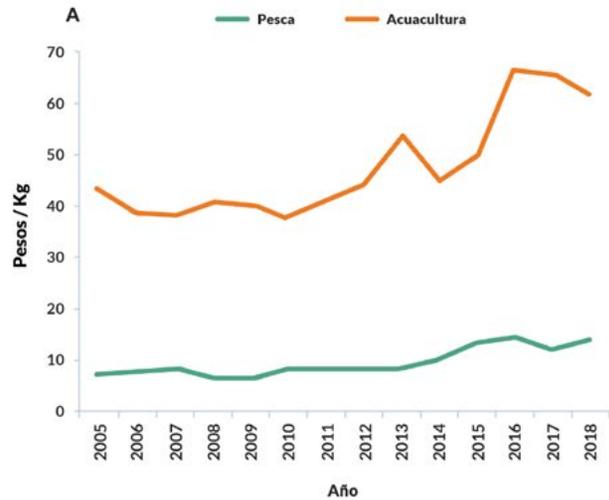


Figura 9. A. Comparación histórica del valor (pesos) por kilogramo de producción acuícola y de capturas. B. Comparación del valor promedio por kilogramo (pesos/kg) de producto acuícola y pesquero por entidad federativa. Fuente: datos públicos de la CONAPESCA 2020.

A continuación, se presenta, de manera gráfica, el volumen y el valor de la producción acuícola en 2018, por entidad federativa (Fig. 10). Es relevante mencionar que la producción de algunos estados, como Sonora y Sinaloa, depende de especies de alto valor comercial, como el camarón, y de grandes volúmenes, como la tilapia (mojarra)⁴. Excluyendo a Sonora y Sinaloa, se observa que entidades como Chiapas, Veracruz, Jalisco y Nayarit han incrementado sus volúmenes de producción, aunque no se registre un gran incremento del valor, lo cual está relacionado con el tipo de especies que se cultivan; por ejemplo, el ostión, la trucha, el bagre y la tilapia.

⁴La tilapia está etiquetada como mojarra en los anuarios estadísticos de la CONAPESCA.

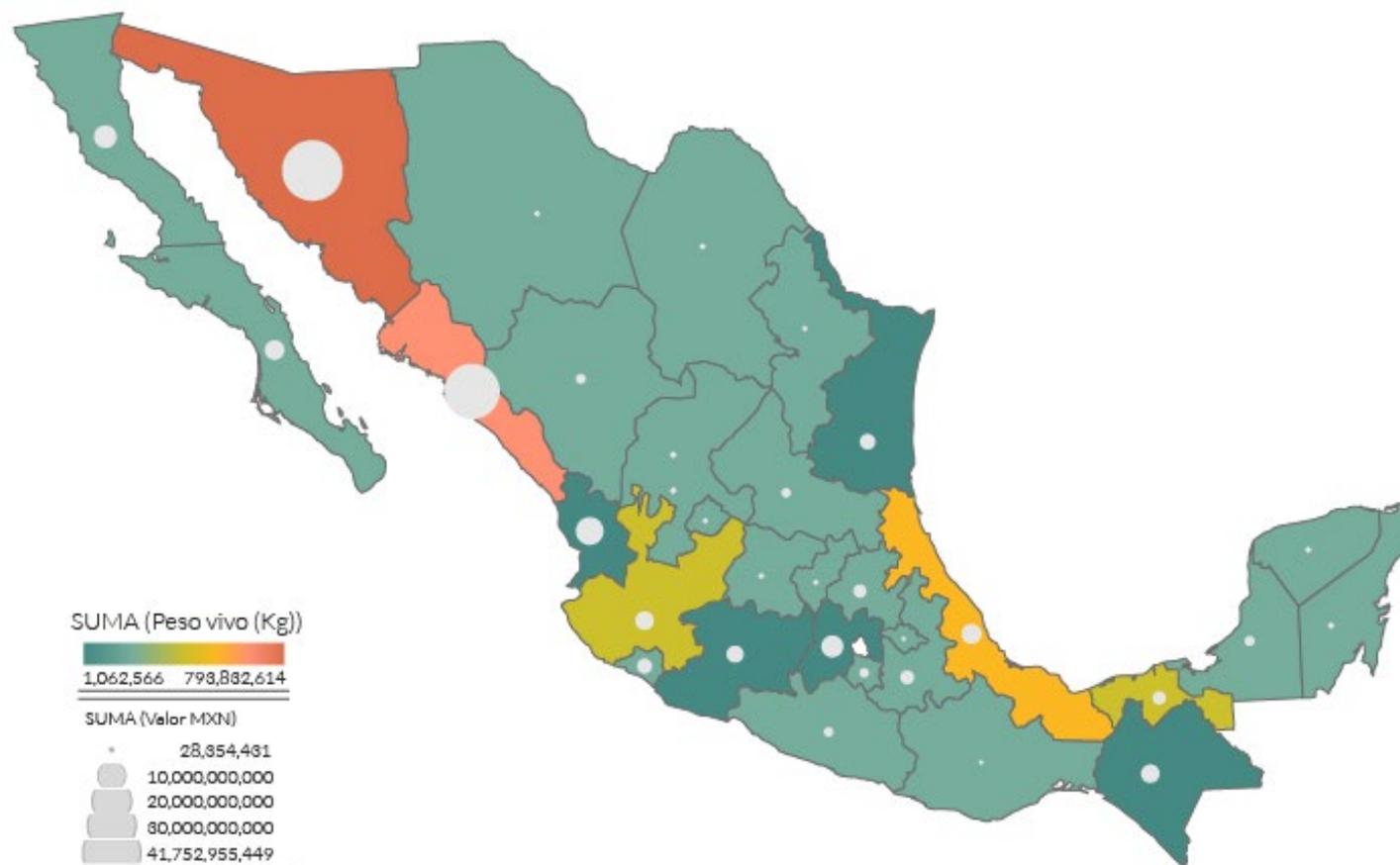


Figura 10. Mapa de volumen (escala de color) y valor (círculos) de la producción acuícola en 2018, por estado.
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

6. Especies que se cultivan en México y su relevancia

Durante la evolución histórica de la actividad acuícola, han sido diferentes las especies de mayor interés y relevancia en las producciones. Esteban Cházari fue el autor del primer libro de piscicultura en México (1884), en el que afirmaba: “El cultivo de peces no se relaciona con los demás trabajos comunes, sino para beneficiarlos... porque vive exclusivamente de lo que está abandonado, de lo improductivo, solo del agua, sin gastarle una gota, sin privarla de su utilidad en agricultura; es el trabajo más eficaz para subvenir con abundancia a las exigencias del presente y a las probables de nuestra vida futura”. En buena medida, a él se le atribuye la atención del gobierno hacia la acuicultura y el inicio del cultivo de especies importadas de Estados Unidos, como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la trucha de río (*Salvelinus fontinalis*), la carpa (*Cyprinus carpio*), la anguililla (*Anguililla anguililla*) y el salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) (Gutiérrez Yurrita, 2000). En más de doscientos años de vida independiente de México, es posible identificar el interés por el cultivo de peces de agua dulce y bivalvos. Sin embargo, la actividad acuícola es un fenómeno relativamente reciente si se considera que las producciones comerciales y el desarrollo tecnológico adquieren importancia hacia finales de la década de 1950, con el cultivo de la carpa.

México ha producido principalmente peces y crustáceos. Actualmente, la actividad acuícola está presente en 31 entidades federativas y se realiza principalmente en ambientes marinos, salobres y de agua dulce. Si bien la relevancia económica de la actividad es clara a nivel nacional, tiene aún mayor peso, por razones económicas y de soberanía alimentaria, para las entidades federativas sin litoral. La diversificación de especies ha permitido integrar moluscos, invertebrados de agua dulce, reptiles, anfibios y algas (Fig. 11).

De 1950 a 1990, el agua dulce fue el principal medio de cultivo para la producción de carpa, trucha y tilapia, que fueron las especies representativas. Desde principios de la década de 1990, el cultivo de camarón se fue posicionando como la actividad más importante a nivel nacional, superando rápidamente en volumen y valor a las demás especies cultivadas. En 2001, el volumen de camarón cultivado superó por primera vez la cantidad obtenida por la pesca, condición que se cumplió de manera consistente desde 2004 (Fig. 12).

El camarón cultivado representó, en promedio, 66% de la producción nacional de camarón durante el periodo 2000-2018. El cultivo se caracteriza por contar con acuicultores experimentados, buen soporte técnico y una fuerte industria a su alrededor. Los camarones producidos en México son de alta calidad y se exportan a muchos países del mundo. El cultivo se realiza de manera semi-intensiva en estanques, con un periodo de crecimiento de ocho a nueve meses, en el que se producen uno o dos ciclos de camarón, con rendimientos anuales de una tonelada por hectárea aproximadamente.

Aunque se están probando algunos sistemas intensivos e hiperintensivos en muchas partes del país, la intensificación de la acuicultura de camarón aún está en desarrollo (Garza de Yta, 2017).

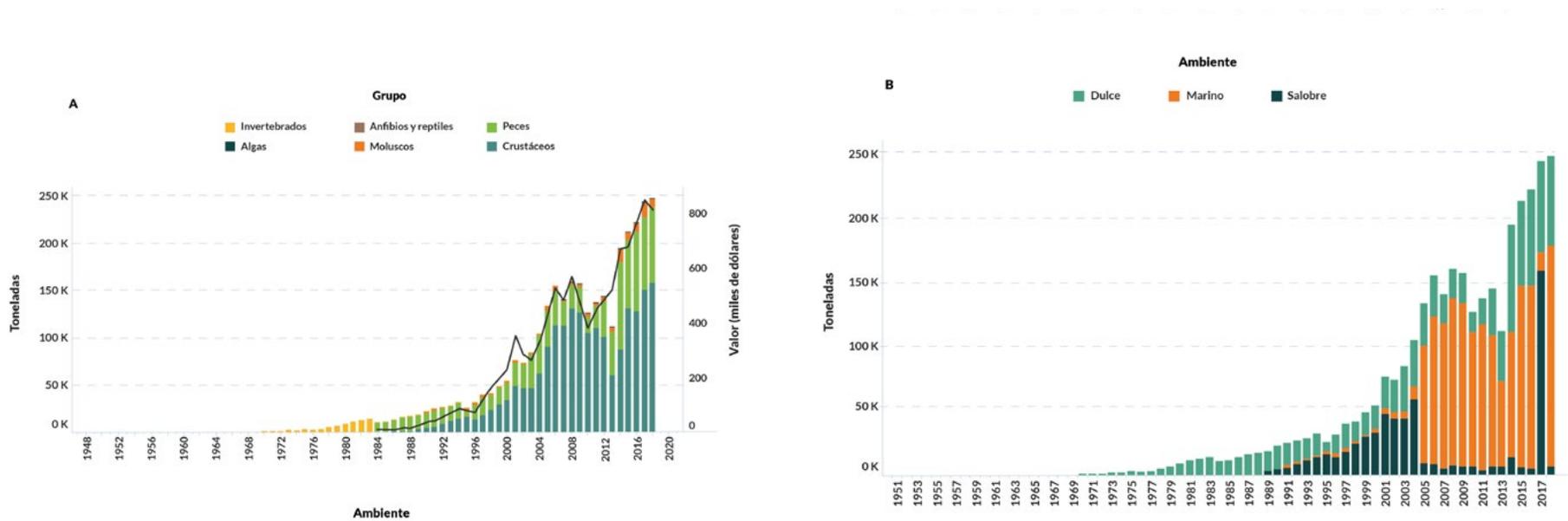


Figura 11. Volumen y valor de las producciones históricas (1950-2018) de los principales grupos de especies cultivadas en diferentes ambientes acuáticos. Fuente: Datos de FAO (FishstatJ), 2020.

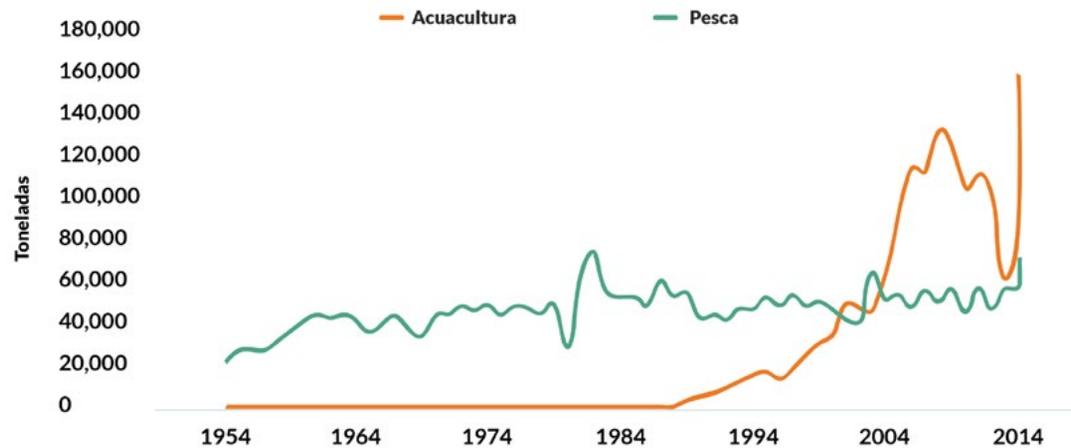


Figura 12. Comparación del volumen histórico de producción de camarón de cultivo y pesca entre 1954 y 2017.

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020 (FishStatJ).

La producción de especies de tilapia (*Oreochromis* sp. y *Tilapia* spp.), introducidas en México desde 1964, representa la segunda mayor, con alrededor de 60,000 toneladas al año (en sistemas controlados), aunque el valor aún es mucho menor que el del camarón (Fig. 13). Muchas cepas de tilapia se producen en casi todos los rincones del país, de varias formas (por ejemplo, jaulas, estanques o tanques redondos) y en diferentes densidades. La producción de tilapia es muy importante en términos económicos y de soberanía alimentaria para prácticamente todas las entidades federativas.

El cultivo de tilapia es uno de los más exitosos de la acuicultura, debido a los atributos de la especie, como son: tolerancia a condiciones de alta densidad, rápido crecimiento, elevada productividad, capacidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno, diferentes salinidades, resistencia a enfermedades y aceptación de una amplia gama de alimentos naturales y artificiales.

En México, se han efectuado operaciones comerciales muy importantes en torno a esta especie, en particular en los estados de Sonora y Chiapas, o están en proceso de iniciar operaciones, como La Noria, en el estado de Michoacán. La acuicultura de tilapia está en auge y hay un mercado potencial enorme, ya que México importa más de 100,000 toneladas de filetes de pescados similares a la tilapia, pues se trata de la presentación que prefiere el consumidor (Garza de Yta, 2017).

Otras especies, como la carpa (*Cyprinus carpio*), el bagre (*Ictalurus punctatus*) y la trucha (*Onchorhynchus mykiss*), que mantienen producciones de 4,000, 5,000 y 8,000 toneladas anuales, respectivamente, también tienen un lugar entre las especies representativas, después del camarón y tilapia (figs. 13 y 14). En México, la ciprinicultura (cultivo de la carpa) se remonta a mediados del siglo XIX, con la introducción de la especie y el impulso desde el gobierno federal para la creación de centros piscícolas para la producción de crías en Coahuila y Michoacán. Algunos de los retos que enfrenta son el control de enfermedades, la disponibilidad de recursos genéticos y la mejora en la comercialización.

38

Por otra parte, los principales productores de bagre se localizan especialmente en Tamaulipas, Michoacán, Puebla y Chiapas. En general, se encuentran bien organizados, procesan y comercializan en grupo y agregan valor a partir del procesamiento de subproductos, principalmente colágeno para cosméticos. Los productores actuales de trucha son continuadores de uno de los cultivos pioneros en el país; aun cuando el negocio es bueno, una de las principales limitantes son las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua, ya que la trucha se produce principalmente en áreas montañosas con un número limitado de fuentes de agua disponibles. Las truchas se producen mediante sistemas de flujo continuo (*raceways*)⁵, principalmente en los estados de Michoacán, Puebla, Veracruz y Chihuahua.

⁵Son canales rectangulares, estrechos y alargados que se elaboran con cemento y tienen aproximadamente un metro de profundidad. Cuentan con un sistema hidráulico para el paso del agua de un canal a otro, así como un desagüe, que generalmente está ubicado al final de la estructura. Entre canales, hay un desnivel de al menos 0.5 m, que ayuda a elevar la concentración de oxígeno y liberar CO₂, permitiendo operar hasta ocho unidades en serie, con un flujo de agua de 85-100 l/s. La capacidad de carga de un *raceway* es de 30-35 kg/m³, con un flujo de agua de 50 l/s de 1.5-3 recambios/h (Masser, 2012; DOF, 2013).

Desde finales de 1980, la producción de ostión ha tomado importancia. Se trata de un cultivo intensivo y de alto rendimiento; es una actividad económica bien asentada en México. La especie, introducida en México en los años setenta del siglo pasado, aún enfrenta desafíos importantes en cuanto al combate de depredadores y las variaciones extremas de temperatura relacionadas con el cambio climático global. Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa son los principales productores, aunque recientemente otras entidades federativas han comenzado a producir volúmenes considerables (figs. 13 y 14).

Al final de esta lista, se encuentra la producción de atún aleta azul (*Thunnus orientalis*), que comenzó a ser relevante en las últimas dos décadas, con producciones iniciales de 500 toneladas, que aumentaron hasta 8,000 toneladas en años recientes (figs. 13 y 14). La técnica de cultivo es la acuicultura basada en la captura, por lo que toda la cuota asignada para la pesca de atún aleta azul es destinada a la engorda en jaulas flotantes en la costa occidental de Baja California (Fig. 15). La actividad enfrenta muchos retos y hay opiniones encontradas en cuanto a su sustentabilidad, debido a que su operación está fundada en la disponibilidad de juveniles silvestres, por lo que no son claros los posibles efectos poblacionales (Vergara-Solana *et al.*, 2019).

39

6.1 Recursos genéticos acuícolas

La FAO (2007) ha reconocido la importancia de preservar los recursos genéticos animales bajo el argumento de la seguridad alimentaria para las generaciones presentes y futuras. Si bien no toda la biodiversidad animal es utilizada para satisfacer las necesidades alimentarias, existe gran preocupación por el constante deterioro de la biodiversidad a nivel mundial, lo cual contribuye a otros problemas de salud (León *et al.* 2004).

Dada la gran diversidad de especies acuáticas y su relevancia en los ecosistemas mexicanos, el gobierno federal, en colaboración con el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, creó un Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos (SUBNARGENA). Este subsistema funciona como una red interinstitucional e interdisciplinaria para la conservación y aprovechamiento sostenible

de la biodiversidad acuática. Tiene como objetivos localizar, recolectar, conservar y caracterizar genéticamente el germoplasma de organismos acuáticos de interés biológico o comercial y que son declarados una prioridad para la nación.

La creación del SUBNARGENA y el plan de preservación de los recursos genéticos representa una gran oportunidad para seguir avanzando en los programas de conservación a nivel nacional y mundial, tratando de atender todas aquellas preguntas o problemas relacionados a mejorar las técnicas de conservación (Paniagua, et al., 2011).

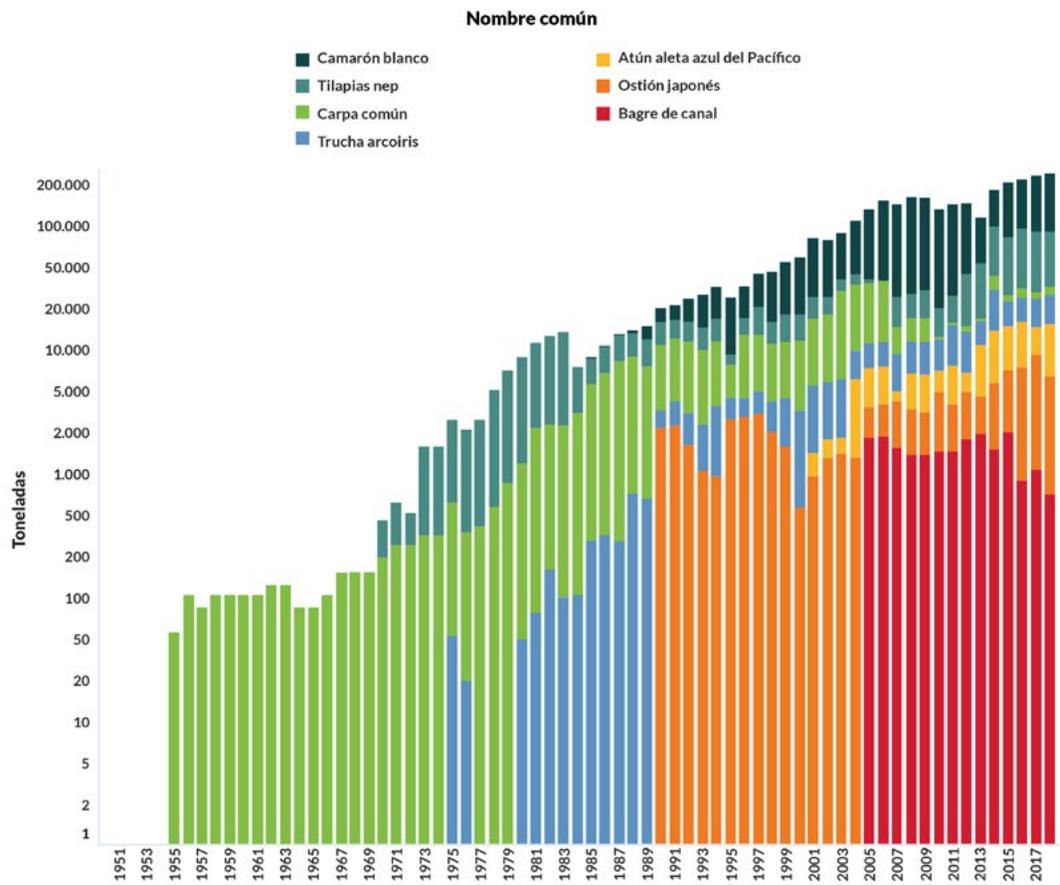


Figura 13. Producción histórica de las principales especies de cultivo en México, ordenadas por su importancia en los volúmenes de producción, en escala logarítmica. Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020 (FishStatJ).

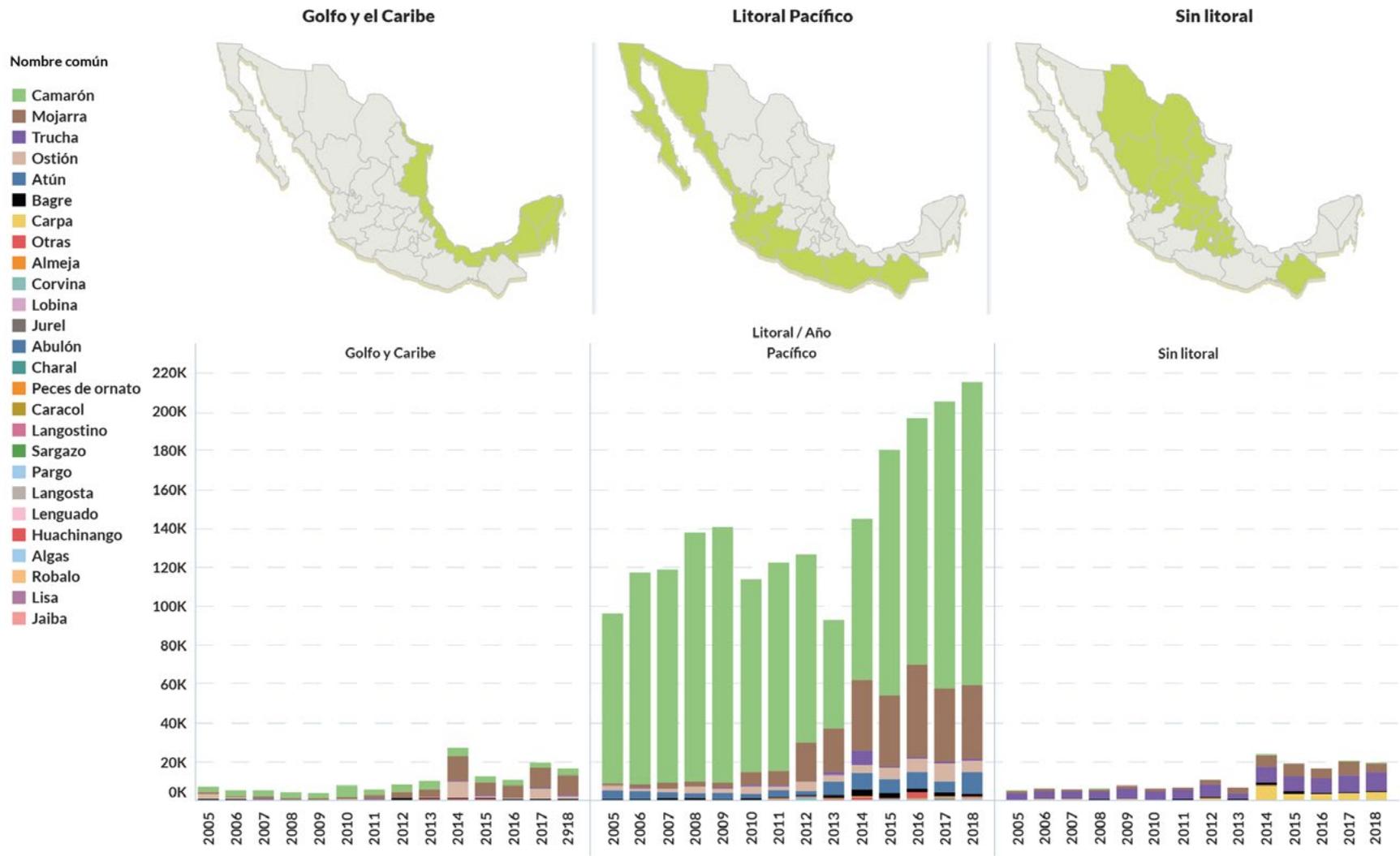


Figura 14. Volúmenes de producción de los grupos de especies acuícolas registradas en los anuarios estadísticos de la CONAPESCA (2005-2018).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.



Figura 15. Cultivo de atún aleta azul en Isla Todos Santos, Baja California, México. Fuente: ArcMap Database-ESRI.

7. Buenas prácticas y certificaciones

México es reconocido por sus buenas prácticas en procesamiento de alimentos para peces de cultivo, granjas, especies, plantas empacadoras y procesadoras, por organizaciones internacionales como el Aquaculture Stewardship Council y Best Aquaculture Practices. Estos reconocimientos son de gran importancia para el acceso a mercados internacionales y, aunque queda un largo camino para certificar las operaciones relacionadas con la acuicultura como sustentables, se tiene ya un buen avance en las principales especies: camarón blanco, tilapia, bagre, ostión japonés y ostión Kumamoto. Otras especies con potencial (pez fuerte y lobina rayada) ya cuentan también con estos reconocimientos. Se presenta un mapa de las instalaciones y las especies que actualmente cuentan con una certificación vigente o están en proceso de ser certificadas (Fig. 16).

La Carta Nacional Acuícola identifica 65 especies que se producen con fines comerciales, de fomento y con potencial (Anexo 2). Además, existen cultivos que dejaron de ser experimentales y que ya forman parte del mercado, aunque todavía no son actualizados en los registros oficiales (totoaba, pez fuerte, pepino de mar, erizo, etc.). Los acuicultores mexicanos han invertido en investigación científica para la producción de más de cien especies de peces, moluscos, crustáceos, reptiles, anfibios y algas; a futuro, se visualiza más crecimiento y mayor aprovechamiento de las especies marinas, pero será esencial invertir en el desarrollo y el fortalecimiento de capacidades técnicas y científicas para completar la biotecnología necesaria para impulsar un negocio rentable. Otro componente fundamental es la actualización del marco jurídico para dar certeza a los nuevos empresarios para que puedan producir especies que no están contempladas en el régimen legal actual.

El gobierno de México está elaborando varios programas sectoriales para implementar las estrategias y las líneas de acción derivadas del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Las herramientas científicas y la planeación a largo plazo son cruciales para la toma de

decisiones. Para impulsar la acuicultura es fundamental planear en conjunto con la pesca, otras actividades agroalimentarias e incluso el sector turístico, debido a las interacciones de uso del territorio nacional, que también comprende los mares. Es indispensable contar con estudios de capacidad de carga y análisis de selección de especies óptimas por regiones del país, para evitar que la acuicultura crezca descontroladamente y asegurar que las actividades de producción tengan resultados justos con el ambiente, la sociedad y la economía, a largo plazo (Garza de Yta, 2017).

Figura 16. Instalaciones y especies acuícolas que cuentan con una certificación o están en vías de obtenerla.



Fuente: Elaboración propia con datos actualizados (2020-2021) de ambas organizaciones certificadoras ASC: <https://www.asc-aqua.org/find-a-farm/> y BAP: <https://www.bapcertification.org/>. En enero de 2022, la empresa Earth Ocean Farms recibió el reconocimiento BAP, en marzo del mismo año el Comité Permanente de la Convención sobre el Comercio internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, por sus siglas en inglés) decidió otorgar el permiso para comercializar la totoaba de cultivo.

8. Conclusiones

- La actividad acuícola en México tiene sus orígenes en las culturas prehispánicas, principalmente como actividad religiosa y ceremonial. Durante la colonización y hasta la independencia, no hubo mayor avance. A finales del siglo XIX, el interés es creciente; con la creación de instituciones y leyes, se promueve el desarrollo acuícola, enfocándose en peces de agua dulce.
- La acuicultura comercial empieza con la importación de técnicas de cultivo de especies como la trucha y la carpa. En los últimos 70 años es cuando la actividad ha ganado mayor relevancia. México es el séptimo productor de camarón a nivel internacional y ocupa el lugar número 24 en volumen de producción acuícola (todas las especies).
- El sector acuícola está conformado por 56,250 personas registradas ante la CONAPESCA, que trabajan directamente en el cultivo de más de sesenta especies de peces, plantas, algas, anfibios y moluscos en el país.
- México cuenta con 9,320 instalaciones acuícolas, que abarcan 115,910 hectáreas; predomina el cultivo semi-intensivo.
- La mayor parte de la población que se dedica a la acuicultura se encuentra en el litoral del Pacífico (Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Baja California). Sinaloa es la entidad con mayor número de acuicultores y volumen de producción.
- La acuicultura se realiza en 31 entidades federativas del país y es muy importante para estados sin litoral, los cuales se han convertido en grandes productores de especies de agua dulce.
- La producción nacional promedio de pescados y mariscos es de 1.6 millones de toneladas (1995-2018), con un valor promedio de 23,000 millones de pesos. La acuicultura representa, en promedio, 12% (\pm desviación estándar 3%) del volumen de producción total de desembarques y alrededor de 40% del valor nacional.
- La acuicultura mexicana es predominantemente de aguas marinas y salobres y tiene un largo historial de cultivo de especies de agua

dulce. En cuanto a volumen de producción, las principales especies son el camarón, tilapia, trucha, ostión, atún, bagre y carpa.

- Para lograr el desarrollo sustentable de la actividad acuícola, con resultados justos con la sociedad y el ambiente, es crítico emplear una planeación basada en ciencia, incluyendo estudios de capacidad de carga y ubicación estratégica de los cultivos. El proceso debe ser inclusivo y con la participación de los diferentes actores para definir una visión colectiva de largo plazo.

9. Referencias

- Arreguín-Sánchez, F. y Arcos Huitrón, E. (2011). La pesca en México: estado de la explotación y usos de los ecosistemas. *Hidrobiológica*, 21(3), 431-462.
- Bauer, L., Vázquez-Vera, L., Espinoza-Montes, A., Lorda, J., Beas-Luna, R., Vela-Gallo, C. y Reyes-Bonilla, H. (2019). Multi-trophic aquaculture of the green abalone *Haliotis fulgens* and the warty sea cucumber *Apostichopus parvimensis* enhances production. *Journal of Shellfish Research*, 38(2), 455-461.
- Cariño, M. (2003). Antecedentes históricos y socioeconómicos del aprovechamiento de la isla Espíritu Santo, Golfo de California. *Gaceta Ecológica*, 67, 27-32.
- Cariño, M. y Monteforte, M. (2009). An Environmental History of Nacre and Pearls: Fisheries, Cultivation and Commerce. *Global Environment*, (3)2.
- (2018). Las minas marinas del Golfo de California: Del extractivismo a la sustentabilidad. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 153, invierno 2018, 11-39. ISSN 0185-3929. <http://dx.doi.org/10.24901/rehs.v39i153.389>.
- Cariño, M. y Monteforte, M. (coords.) (2008). *Del saqueo a la conservación: Historia ambiental contemporánea de Baja California Sur, 1940-2003*. México, SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Autónoma de Baja California Sur, CONACYT.
- Carrillo Longoria, J. A., Sánchez Ávila, D., Hernández Hernández, L. H., Ángeles López, O., Fernández Araiza, M. A. (2018). Reemplazo de harina de pescado con gluten de maíz en dietas de juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): Efectos en crecimiento y otros parámetros fisiológicos. *Hidrobiológica*, 28(3), 257-263. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n3/hernandez>.
- CEDRSSA (2015). *La acuicultura*. Cámara de Diputados. www.cedrssa.gob.mx.
- Celaya Tentori, M. y Almaraz Alvarado, A. (2018). Recuento histórico de la normatividad pesquera en México: Un largo proceso de auge y

crisis. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(16). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.16.63208>.

Cházari, E. (1884). *Piscicultura de agua dulce: instrucciones escritas a encargo de la Secretaría de Fomento*. México, Secretaría de Fomento.

Coche, A. G. (1982). Cage culture of tilapias. En R. S. V. Pullin y R. H. Lowe-McConnell (eds.), *Biology and ecology of the tilapias* (pp. 205-246). International Center for Living Aquatic Resources Management.

CONABIO (s. f.). *Peces y mariscos comerciales*. Biodiversidad Mexicana. Recuperado el 14 de mayo de 2020, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/peces>.

CONAPESCA (2017). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017*. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.

48 – (2018a). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018*. México, CONAPESCA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.

– (2018b). Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. [Comunicado de prensa]. <http://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>.

– (2020). Registro Nacional de Pesca y Acuicultura. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/registro-nacional-de-pesca-y-acuicultura-rnpa?idiom=es>.

CONAPESCA-Acuasesor (s. f.). Recuperado el 10 de mayo de 2020, de <https://acuasesor.conapesca.gob.mx>.

Cuéllar-Lugo, M. B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J. P., Reta-Mendiola, J. L. y Gallardo-López, F. (2018). Evolución normativa e institucional de la acuicultura en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4), 541-564.

Daniel, N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 6(2), 164-179.

DeWalt B.R., Ramírez Z.J.R., Noriega L. y González R.E. (2002). *Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal*. Report

prepared under World Bank, NACA, WWF y FAO Consortium program on shrimp farming and the environment. Work in Progress for Public Discussion. 73 p.

DOF (2013). Carta Nacional Acuícola. 9 de septiembre de 2013.

Escobar A.R, Rubio L.M.S., Gaxiola, C.M.G., Maldonado, F.J.C., Delgado, S.E. (2019). Uso de harinas fermentada de soya y canola en el reemplazo total de harina de pescado en camarones blancos del pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y su efecto sobre la calidad de la carne. Reunión Nacional de Investigación Acuícola y Pesquera: Memoria. Año 1. Volumen 1. México.

FAO (1988). Definition of aquaculture, Seventh Session of the IPFC Working Party of Experts on Aquaculture, IPFC/WPA/WPZ, pp. 1-3, RAPA/FAO, Bangkok.

– (s. f.) FAO pide protección a recursos genéticos acuáticos. Recuperado el 20 abril 2020. <https://news.un.org/es/story/2007/06/1106071>

– (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma, FAO. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

– (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

Fimbres-Acedo, Y. E., Garza-Torres, R., Endo, M., Servín-Villegas, R., Fitzsimmons, K. M., Emerenciano, M. G. C. y Magallón-Barajas, F. J. (2019). Performance of *Oreochromis niloticus* in recirculating aquaculture systems at different levels of daily protein intake. *Aquaculture Research*, 50(11), 3326-3342. <https://doi.org/10.1111/are.14291>.

Frempong, N. S., Nortey, T. N. N., Paulk, C. y Stark, C. R. (2019). Evaluating the effect of replacing fish meal in broiler diets with either Soybean meal or poultry by-product Meal on Broiler Performance and total feed cost per kilogram of gain. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 912-918. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz049>.

Gartside, D. F. y Kirkegaard, I. R. (2011). A History of Fishing. En V. R. Squires (ed.), *The role of food, agriculture, forestry and fisheries in human nutrition*, Vol. II. *Encyclopedia of Life Support Systems*.

- Garza de Yta, A. (2017). Once upon a time in Mexico. Challenges for mexican aquaculture. World Aquaculture Magazine. September 2017, 18-23.
- Groesbeck A. S., Rowell, K., Lepofsky, D., Salomon, A. K. (2014) Ancient Clam Gardens Increased Shellfish Production: Adaptive Strategies from the Past Can Inform Food Security Today. PLOS ONE, 9(3), e91235. DOI: 10.1371/journal.pone.0091235.
- Gutiérrez Yurrita, P. J. (1999). La acuacultura en México I. Época prehispánica y colonial. *Biología Informa*, Universidad Autónoma de Querétaro, Vol. 29, 37.
- (2000). La acuacultura en México II. Época actual y perspectivas. *Biología Informa*, Universidad Autónoma de Querétaro, Vol. 32, 1-8.
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M. J., Zeng, C., Zenger, K. y Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: Implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>.
- INAES (2018). Acuacultura, historia y actualidad en México. Recuperado el 23 de abril de 2020, de <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/acuacultura-historia-y-actualidad-en-mexico?idiom=es>.
- INEGI (s. f.). Extensión territorial. Recuperado el 23 de abril de 2020, de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T>.
- INEGI (2019). Censo económicos 2019. Recuperado el 20 de abril de 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Informacion_general
- Isabella, J. y Hunt, S. (2020). A short history of aquaculture innovation. *Hakai Magazine*, agosto de 2020. Recuperado el 20 de septiembre de 2020, de <https://www.hakaimagazine.com/features/a-short-history-of-aquaculture-innovation/>.
- León, C., I. Espejel, L. C. P. Bravo, J. L. Férman, B. Graizbord, L. J. Sobrino & J. Sosa. 2004. El Ordenamiento Ecológico Territorial como un instrumento de política pública para impulsar el desarrollo sustentable, caso en el Noreste de México. In: Rivera-Arriaga E., G.J.

Villalobos, I. Azuz-Adeath & F.R. May (Eds.). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad de Quintana Roo. pp. 1-12.

Masser, M. P. (2012). In-pond Raceways. En J. H. Tidwell (ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 387-394). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch15>.

Martínez-Córdova, L. R., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial: ¿actividad sustentable o industria contaminante? *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 181-196. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992009000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Miranda-Baeza, A., Rivas Vega, M. E., Lizárraga Armenta, J., Martínez Córdova, L. R., López Elías, J. A., Ayala Yocupicio, S. E., Sandoval Muy, I. y Sánchez Romero, A. (2011). Acuicultura multitrófica, una opción para el uso integral de los recursos naturales. En Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Hernández-Hernández, L. (eds.), *Avances en Nutrición Acuícola XI - Memorias del Décimo Primer Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 23-25 de noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-775-4. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp. 117-142.

Neori, A., Shpigel, M. y Ben-Ezra, D. (2000). A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed, and abalone. *Aquaculture*, 186(3-4), 279-291.

Norzagaray Campos, M., Muñoz Sevilla, P., Sánchez Velasco, L., Capurro Filograsso, L. y Llánes Cárdenas, O. (2012). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *AquaTIC*, (37), 20-25. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2020]. ISSN: 1578-4541. Disponible en <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/119>.

O'Connor, S., Ono, R. y Clarkson, C. (2011). Skills of Modern Humans Pelagic Fishing at 42,000 Years Before the Present and the Maritime. *Science* 334(6059), 1117-1121. DOI: 10.1126/science.1207703.

- Paniagua-Chávez, C. G., Ortiz-Gallarza, S. M., & Aguilar-Juárez, M. (2011). Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos: Uso de la criopreservación para la conservación de los recursos genéticos acuáticos en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 415-429. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-88972011000300014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pérez-Castañeda R., Sánchez-Martínez J. G., Aguirre-Guzmán G., Rábago-Castro J. L., Vázquez-Sauceda M. L. (2015) Interaction of Fisheries and Aquaculture in the Production of Marine Resources: Advances and Perspectives in Mexico. En C. W. Finkl y C. Makowski (eds.), *Environmental Management and Governance. Coastal Research Library*, Vol. 8. Springer, Cham.
- Poot López, G., Gasca Leyva, E. y Olvera Novoa, M. A. (2012). Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidocolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(4): 835-846. DOI: 10.3856/vol40-issue4-fulltext-2.
- 52 Ramírez-Rodríguez, M. (2013). Especies de interés pesquero en el Pacífico mexicano: nombres y claves para su registro. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, CONAPESCA. ISBN: 978-607-414-379-9.
- SAGARPA-IICA(2019). *El sector pesquero en México descrito a partir de la Encuesta Nacional de Pesca y Acuacultura 2016*. México. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de https://www.academia.edu/38373761/IICA_EL_Sector_Pesquero_en_Mexico_Feb_14_2019_pdf.
- Sahrhage, D. y Lundbeck, J. (1992). *A history of fishing*. Springer-Verlag.
- Santa Ana, C. y Weaver, A. H. (eds.) (2014). *A vela, remo y motor: La tradición de la pesca en Espíritu Santo*. Instituto Sudcaliforniano de Cultura, Gobierno del Estado de Baja California Sur, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Searcy-Bernal, R., Ramade-Villanueva, M. R. y Altamira, B. (2010). Current status of abalone fisheries and culture in Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 29(3), 573-576. <https://doi.org/10.2983/035.029.0304>.
- VanDerwarker, A. M. (2006). *Faming, hunting, and fishing in the Olmec world*. University of Texas Press, Austin.
- Vergara-Solana, F. J., Araneda-Padilla, M., Pardo, J. R. S., Ortega-García, S., Seijo, J. C. y Ponce-Díaz, G. (2019). Growth and survival model

of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) for capture-based aquaculture in Mexico. *Aquaculture Research*, 50(12), 3549-3558.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/are.14310>.

Anexo 1. Evolución de la actividad acuícola en México

1917	<i>Venustiano Carranza crea la Secretaría de Agricultura y Fomento.</i>
1921	Se liberan las concesiones de cultivo de peces de agua dulce.
1923	Emisión del primer Reglamento de Pesca Marítima y Fluvial de la República Mexicana. La acuicultura se considera una actividad de pesca. Se promueve el aprovechamiento de aguas y riberas para la cría y reproducción de organismos acuáticos.
1930	Se diversifica la actividad acuícola: acuicultura de fomento, rural, de consumo. Se abren centros piscícolas para la importación de huevos provenientes de Estados Unidos.
1950	La Ley de Pesca reserva el cultivo de abulón, ostión, camarón, cabrilla y almeja a sociedades cooperativas.
1962	Creación del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras como el órgano de gobierno encargado de dar asistencia científica y técnica para el desarrollo de la pesca y acuicultura.
1974	Se comienza a cultivar de manera rural la tilapia.
1976	Se establece la Zona Económica Exclusiva de México.
1984	La legislación reconoce la superficie de aguas interiores para el cultivo y aprovechamiento. Se modifica la Ley de Pesca, lo cual detona el cultivo de camarón y atrae la inversión. Comienza el cultivo de camarón; en Baja California Sur, el cultivo de peces marinos, como el pámpano (<i>Trachinotus paitiensis</i>).
1989	Se registra un crecimiento de 8.6% anual de la acuicultura y se diversifican las especies marinas cultivadas de manera experimental.

1990		5,000 toneladas de tilapia, 780 toneladas de trucha arcoíris, 7,600 toneladas de carpa común, 600 toneladas de bagre y 4,371 toneladas de camarón blanco del Pacífico (<i>Litopenaeus vannamei</i>).
1994		Desaparece la Secretaría de Pesca, y el Instituto Nacional de Pesca queda como parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
2007		Se publica la nueva LGPAS en el DOF el día 24 de julio de 2007, en la que se establece que corresponde a la SAGARPA, a propuesta del INAPESCA, aprobar, expedir y publicar la Carta Nacional Acuícola.
2011		Primera Carta Nacional Acuícola, publicada en el <i>DOF</i> el día 31 de enero de 2011.
2013		Actualización de la Carta Nacional Acuícola.
2014		A nivel mundial y nacional, la acuicultura supera en volumen de producción a la actividad de pesca
2015-2020	En busca de la sustentabilidad y el desarrollo nacional	Ampliación de los apoyos para el sector acuícola y diversificación del número de especies, incluyendo algas marinas, peces, moluscos marinos y de agua dulce y reptiles.
2020		El Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024 identifica la acuicultura como actividad prioritaria para cumplir metas del Plan Nacional de Desarrollo (e.g. soberanía alimentaria y reducir la pobreza).
		Nueva edición de la Carta Nacional Acuícola.
2021		El INAPESCA cambia de denominación y se convierte en el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables.

Anexo 2. Lista de especies cultivadas en México (comercial, fomento y con potencial)

No.	Nombre común	Género	Especie
1	Abulón rojo	<i>Haliotis</i>	<i>rufescens</i>
2	Acocil	<i>Procambarus</i>	<i>acanthophorus</i>
3	Achoque	<i>Ambystoma</i>	<i>dumerilii</i>
4	Almeja chiluda	<i>Panopea</i>	<i>generosa</i>
5	Almeja generosa	<i>Panopea</i>	<i>globosa</i>
6	Almeja mano de león	<i>Nodipecten</i>	<i>subnodosus</i>
7	Atún aleta azul	<i>Thunnus</i>	<i>orientalis</i>
8	Atún rojo del Atlántico	<i>Thunnus</i>	<i>thynnus</i>
9	Bagre de canal	<i>Ictalurus</i>	<i>punctatus</i>
10	Barbo cereza	<i>Capoeta</i>	<i>titteya</i>
11	Betta	<i>Betta</i>	<i>splendens</i>
12	Camarón blanco	<i>Litopenaeus</i>	<i>vannamei</i>
13	Camarón rosado del Golfo de México	<i>Farfantepenaeus</i>	<i>duorarum</i>
14	Camarón blanco del Golfo	<i>Litopenaeus</i>	<i>setiferus</i>
15	Camarón azul	<i>Litopenaeus</i>	<i>stylirostris</i>
16	Callo de hacha	<i>Atrina</i>	<i>maura</i>
17	Caracol rosado	<i>Strombus</i>	<i>gigas</i>

18	Carpa	<i>Cyprinus</i>	<i>carpio</i>
19	Carpa cabezona	<i>Hypophthalmichthys</i>	<i>nobilis</i>
20	Carpa china	<i>Ctenopharyngodon</i>	<i>idellus</i>
21	Carpa dorada	<i>Carassius</i>	<i>auratus</i>
22	Carpa koi	<i>Cyprinus</i>	<i>carpio var. koi</i>
23	Carpa negra	<i>Mylopharyngodon</i>	<i>piceus</i>
24	Carpa plateada	<i>Hypophthalmichthys</i>	<i>molitrix</i>
25	Catán	<i>Atractosteus</i>	<i>spatula</i>
26	Cíclido fenestratus	<i>Haplochromis</i>	<i>fenestratus</i>
27	Cíclido Johani	<i>Melanochromis</i>	<i>johanni</i>
28	Cíclido limón	<i>Neolamprologus</i>	<i>leleupi</i>
29	Cobia	<i>Rachycentron</i>	<i>canadum</i>
30	Colisa	<i>Colisa</i>	<i>lalia</i>
31	Corvina ocelada	<i>Sciaenops</i>	<i>ocellatus</i>
32	Danio cebra	<i>Brachydanio</i>	<i>rerio</i>
33	Espada	<i>Xiphophorus</i>	<i>helleri</i>
34	Guppy	<i>Poecilia</i>	<i>reticulata</i>
35	Gurami	<i>Trichogaster</i>	<i>trichopterus</i>
36	Huachinango	<i>Lutjanus</i>	<i>peru</i>
37	Langosta de agua dulce	<i>Cherax</i>	<i>quadricarinatus</i>

38	Langostino de río	<i>Macrobrachium</i>	<i>rosenbergii</i>
39	Lenguado de California	<i>Paralichthys</i>	<i>californicus</i>
40	Medregal rabo amarillo	<i>Seriola</i>	<i>lalandi</i>
41	Mojarra castarrica	<i>Cichlasoma</i>	<i>urophthalmus</i>
42	Mojarra herbívora	<i>Tilapia</i>	<i>rendalli</i>
43	Moly común	<i>Poecilia</i>	<i>latipinna</i>
44	Moly de velo	<i>Poecilia</i>	<i>velifera</i>
45	Monja	<i>Gymnocorymbus</i>	<i>ternetzi</i>
46	Oscar	<i>Astronotus</i>	<i>ocellatus</i>
47	Ostión japonés	<i>Crassostrea</i>	<i>gigas</i>
48	Ostra de Cortés	<i>Crassostrea</i>	<i>corteziensis</i>
49	Ostión del este	<i>Crassostrea</i>	<i>virginica</i>
50	Pargo lunarejo	<i>Lutjanus</i>	<i>guttatus</i>
	Pargo canané	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>
51	Pejelagarto	<i>Atractosteus</i>	<i>tropicus</i>
52	Pepino de mar del Caribe	<i>Isostichopus</i>	<i>badionotus</i>
53	Pepino de Mar del Pacífico	<i>Isostichopus</i>	<i>fuscus</i>
54	Pescado blanco	<i>Chirostoma</i>	<i>estor</i>

55	Pez ángel	<i>Pterophyllum</i>	<i>scalare</i>
56	Pez fuerte	<i>Seriola</i>	<i>rivoliana</i>
57	Platy	<i>Xiphophorus</i>	<i>maculatus</i>
58	Plecos	<i>Hypostomus</i>	<i>plecostomus</i>
59	Rana toro	<i>Rana</i>	<i>catesbeiana</i>
60	Tenguayaca	<i>Petenia</i>	<i>splendida</i>
61	Tetra	<i>Hemigrammus</i>	<i>caudovittatus</i>
62	Tilapia adolfi	<i>Oreochromis</i>	<i>urolepis hornorum</i>
63	Tilapia azul	<i>Oreochromis</i>	<i>aureus</i>
64	Tilapia blanca	<i>Oreochromis</i>	<i>niloticus</i> var. <i>Rocky Mountain</i>
65	Tilapia del Mozambique	<i>Oreochromis</i>	<i>mossambicus</i>
66	Tilapia del Nilo	<i>Oreochromis</i>	<i>niloticus</i>
67	Tilapia del Mozambique naranja	<i>Oreochromis</i>	<i>mossambicus</i> var. <i>Naranja</i>
68	Tilapia roja híbrida	<i>Oreochromis</i>	<i>mossambicus urolepis x hornorum</i>
69	Tilapia Stirling	<i>Oreochromis</i>	<i>niloticus</i> (var. <i>Stirling</i>)
70	Totoaba	<i>Cynoscion</i>	<i>macdonaldi</i>
71	Trucha arcoíris	<i>Oncorhynchus</i>	<i>mykiss</i>

II. Financiamiento y sistema de seguros para la acuacultura en México

Francisco J. Vergara-Solana,^a Leonardo Vázquez-Vera, Humberto Villarreal Colmenares^b y José A. Fraire Cervantes^c

^a Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras. La Paz, Baja California Sur, México.

^b CIBNOR. La Paz, Baja California Sur, México.

^c Blueyou, Impact Blue Project. Mérida, Yucatán, México.

1. Estructuración financiera de proyectos acuícolas

1.1 ¿Por qué invertir en acuicultura?

De acuerdo con el reporte más reciente de la FAO sobre *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* (2020a), el consumo de pescados y mariscos en el mundo se incrementará 18% hacia 2030, en comparación con el consumo registrado en 2018. La oferta de pescados y mariscos puede venir de la pesca o de la acuicultura. Según el documento, entre 2016 y 2018, la acuicultura ha tenido un crecimiento promedio de 3.6% (por lo que es el sector alimentario que crece más rápido a nivel mundial), alcanzando 46% del total de la producción mundial, proporción que era de 25.7% en el año 2000; y se espera que, para 2030, la acuicultura produzca 53% de los pescados y mariscos consumidos en el mundo. Esto es especialmente relevante si tomamos en cuenta que la población mundial creció, en el mismo periodo (2016-2018), a una tasa anual compuesta de 1.13% (Fig. 1) (Banco Mundial, 2020; FAO, 2020a).

El incremento de la demanda de pescados y mariscos ofrecerá oportunidades de negocios e inversiones que podrían representar miles de millones de dólares. Según un reporte de Knowledge Sourcing Intelligence LLC (2017), el valor del mercado mundial de la acuicultura, en 2017, fue de 176,450 millones de dólares; y se espera que crezca a una tasa compuesta anual de 4.46% para alcanzar un tamaño de mercado de 219,420 millones de dólares en 2022.

Entre los impulsores de esta demanda no solo están el crecimiento poblacional y el hecho de que los recursos pesqueros se encuentren al máximo de su capacidad de explotación, sino que, además, confluyen la globalización y la integración de los circuitos de comercialización, una clase media creciente que cada vez está más preocupada por su alimentación y por los impactos de su consumo en el medio ambiente y los nuevos desarrollos tecnológicos que permiten acelerar el crecimiento del sector al aumentar su eficiencia (FAO, 2020a, 2020b).

En México, el panorama también es favorecedor, pues destaca que el crecimiento de la producción de la industria acuícola supera al crecimiento global, ya que la producción acuícola nacional crece anualmente, en promedio, a 6.02%, por lo que superó las 249,000

toneladas en 2018 (CONAPESCA, 2017). Además del crecimiento poblacional, la demanda ha crecido en función del consumo per cápita, ya que en cinco años pasó de 8.3 kg a 13.2 kg, en 2018 (COMEPESCA, 2020). El aumento del consumo doméstico ha transformado la balanza comercial⁶ del sector pesquero, ya que, si bien el saldo tradicionalmente ha sido positivo, desde 2014, se ha acercado a cero, con un mínimo histórico de 20 millones de dólares (CONAPESCA, 2017) (Fig. 2).

Cabe señalar que aún existe un margen importante para aumentar el consumo nacional, debido a que el consumo per cápita promedio mundial ronda 20.5 kg (FAO, 2020a).

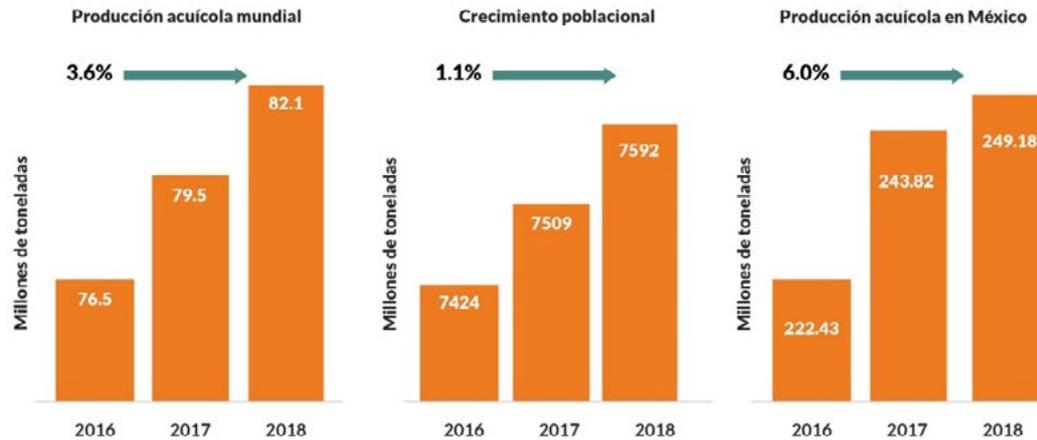


Figura 1. Datos históricos y tasa anual compuesta de la producción acuícola mundial y nacional, así como crecimiento poblacional global.

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020a; Banco Mundial, 2020; CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

⁶Comprenden la explotación pesquera en embalses epicontinentales, donde se practica la pesca comercial sustentada tanto en las siembras sistemáticas de crías de especies tales como carpa, tilapia, bagre y lobina, producidas por los centros acuícolas dependientes de los gobiernos estatales y federal, así como en las derivadas del manejo de existencias silvestres de crías de peces, post-larvas de langostino, renacuajos y similares.

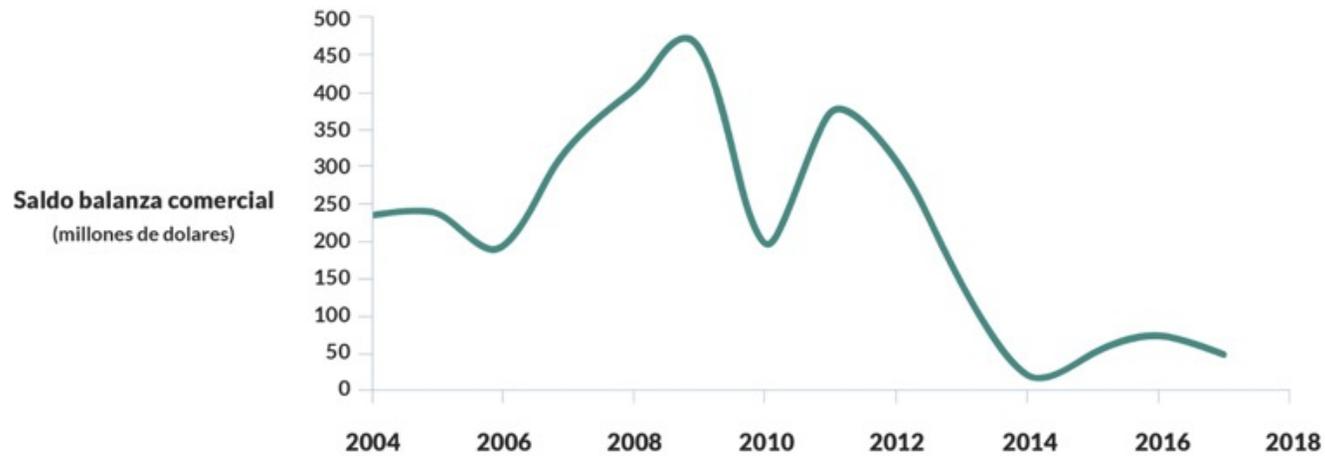


Figura 2. Saldo de la balanza comercial de productos pesqueros, 2004-2017.
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA, 2017.

La situación no solamente sugiere una ventana de oportunidad para invertir directamente en la construcción de nuevas granjas para aumentar la producción, sino también para invertir en todos los eslabones de la cadena de valor (Fish 2.0, 2020b): insumos y tecnología, producción, comercio al por mayor, transformación, distribución y logística, y venta al detalle.

Aun dentro del eslabón de la producción existen varias áreas donde invertir, como en la formulación de alimentos balanceados (en 2016, la demanda fue de ≈40 millones de toneladas), el manejo, la sanidad, la calidad de agua, la genética, el análisis de datos y el equipamiento, por mencionar algunos ejemplos (Fish 2.0, 2020a). Pero es importante no soslayar que estas inversiones deberán promover la solución

⁷Venta al detalle o minorista: es un sector económico que engloba a las empresas especializadas en la comercialización masiva de productos o servicios uniformes a grandes cantidades de clientes. Es el sector industrial que entrega productos al consumidor final.

de las problemáticas del sector para que sea una base que soporte un crecimiento sustentable de la acuacultura nacional (O'Shea *et al.*, 2019).

1.2 Bases conceptuales de las finanzas empresariales

Durante el ciclo de vida de las empresas, existe una zona de riesgo que es conocida coloquialmente como el valle de la muerte, que corresponde al tiempo que va desde que se funda una compañía hasta que sobrepasa el punto de equilibrio y comienza a generar utilidades (Hughes, 2012) (Fig. 3). Sobrepasar este punto es un hito importante en la historia de cualquier compañía, ya que entre mayor tiempo se encuentre en esa zona, mayor será la probabilidad de que quiebre (Litan y Robb, 2012). En ese lapso, las empresas suelen tener problemas de liquidez y dificultad de encontrar financiamiento, cuando menos en condiciones favorables.

64

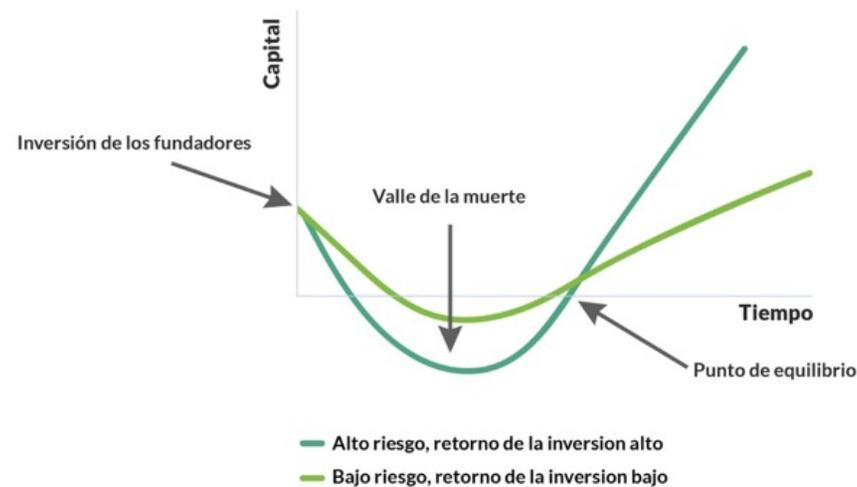


Figura 3. Representación del ciclo de vida de una empresa respecto al capital, desde su fundación hasta la madurez, resaltando el valle de la muerte y el punto de equilibrio. Nota: Se muestra una curva de una empresa de alto riesgo, con retorno de la inversión alto, y se contrasta con una empresa de bajo riesgo, pero con retorno de la inversión bajo.

La forma de la curva y el tiempo en que una empresa está en esa zona varía en cada emprendimiento, dependiendo del modelo de negocio, la experiencia del equipo emprendedor, el tipo de industria y la cantidad de capital disponible para invertir en el emprendimiento, por citar algunos ejemplos (Brown, 2019). De cualquier modo, es importante enfocar esfuerzos en salir rápidamente de la zona de riesgo y plantear estrategias para lograrlo, como reclutar talento y diseñar un modelo de negocio y de financiamiento adecuado (Farshchi, 2018). En lo que respecta a la estrategia de financiamiento, dependerá, en parte, del objetivo y la visión de cada emprendimiento, ya que se puede optar por un crecimiento orgánico, en el que se reinviertan las utilidades, o un crecimiento inorgánico, supeditado a la inyección de capital (Quiñones-Pardo, 2015). Cada vía cuenta con argumentos, a favor y en contra, pero es importante tener claridad en la estrategia de crecimiento de cada compañía para realizar la planeación, los presupuestos y la toma de decisiones acordes para maximizar las probabilidades de que la empresa llegue a la madurez.

Los requerimientos de capital y los riesgos asociados variarán desde la fundación hasta la maduración del emprendimiento. Antes de llegar al punto de equilibrio, se deberán concentrar, como se mencionó antes, en salir rápidamente del valle de la muerte; y posteriormente se requerirá capital para apalancar el crecimiento; por ejemplo: capital de trabajo para surtir una cadena de autoservicio y soportar el tiempo de pago (1.5-3 meses) o para escalar la capacidad productiva con el propósito de atender pedidos mayores.

En caso de buscar financiamiento (independientemente de su fuente), existe un mercado de instrumentos específicos para cada una de las etapas y las escalas requeridas. Las opciones abarcan desde los subsidios necesarios para invertir en investigación y desarrollo; los inversionistas ángeles⁸ que pueden apostar por empresas con pérdidas contables que aún no han validado el modelo de negocio, pero poseen alto potencial para escalar y generar valor; los créditos de la banca de desarrollo para financiar diversos aspectos de

⁸Asociaciones o clubes de inversionistas que buscan negocios o ideas potenciales para invertir su capital, con ciertas condiciones, un plan de intervención y una salida programada del proyecto. Algunas organizaciones se dedican exclusivamente a facilitar el acceso de los emprendedores al capital de los inversionistas ángeles.

la implementación y la operación; la inversión para el escalamiento y la consolidación; hasta los mecanismos de oferta pública para convertir un proyecto exitoso en una empresa pública (O'Shea *et al.*, 2019). El análisis debe considerar que antes de llegar al punto de equilibrio, cualquier financiamiento será de alto riesgo, mientras que posteriormente se mejorarán las condiciones y el poder de negociación de las compañías.

2. Estructuración financiera y fuentes de capital para la acuicultura

La estructura financiera o estructura de capital hace referencia al origen (deuda o inversión en participación accionaria) y la cantidad de capital que requieren las empresas para operar y crecer. La decisión relacionada con el origen del capital es relevante, ya que afecta el valor de la empresa y el riesgo de la operación (Marks *et al.*, 2005).

Por un lado, el capital proveniente de deuda tiende a tener un costo menor (que se reduce más considerando las deducciones fiscales aplicadas a los intereses) (Copeland *et al.*, 1994), pero una alta proporción de deuda puede ser riesgosa para las empresas, sobre todo ante la ocurrencia de situaciones inciertas negativas, como, por ejemplo, la contingencia sanitaria del COVID-19. Se considera una situación riesgosa, pues, a pesar de la caída parcial o total de los flujos, las empresas continúan obligadas al pago de su deuda. Una manera de evaluar la dependencia a la deuda de una empresa es usando la información del balance general⁹ mediante la relación deuda-capital.

El capital inyectado a manera de inversión en acciones (también llamado *equity*¹⁰, en inglés) es menos riesgoso para las empresas, ya que al invertir en una compañía se asumen los riesgos financieros. Por otro lado, es un capital del cual se esperan mayores rendimientos respecto a la deuda (Copeland *et al.*, 1994), debido al costo de oportunidad (i.e. el rendimiento que puede generar la segunda mejor alternativa), que toma en cuenta el riesgo intrínseco que se asume con la inversión y que varía según el tipo de proyecto, sector, ubicación, escala, etc.

⁹El balance general es el estado financiero de una empresa en un momento determinado. Para poder reflejar dicho estado, el balance muestra contablemente los activos (los bienes de la organización), los pasivos (sus deudas) y la diferencia entre estos (el patrimonio neto).

¹⁰La inversión en acciones en una empresa se conoce generalmente como patrimonio de los accionistas o equity, que representa la cantidad de dinero que se devolvería a los mismos si la totalidad de los activos se liquidara y se pagara toda la deuda de la empresa.

Una estructura financiera óptima busca maximizar el valor de la empresa y reducir el riesgo para los accionistas (Marks *et al.*, 2005). Para evaluar y optimizar el costo del capital, considerando la mezcla de recursos de acuerdo con su origen, se emplea el indicador conocido como WACC. Este valor es un promedio ponderado conforme a la proporción de deuda e inversión que tienen las empresas; además, es relevante en el contexto de la evaluación de proyectos y la valoración de empresas, ya que es empleado como tasa de descuento en las proyecciones de la empresa para estimar el valor presente neto de la empresa.¹¹

En la fórmula, K_d es el costo de la deuda que corresponde directamente a la tasa de interés; Imp corresponde a la tasa impositiva fiscal (i.e. impuestos), y se emplea ya que los intereses pueden deducirse de impuestos. Deuda es el monto adquirido a través de créditos y Equity es el monto total de la inversión en participación, mientras que K_e es el costo del Equity, que es lo mismo que el rendimiento esperado de la inversión. El K_e dependerá, como se mencionó anteriormente, de varios factores (e.g. tipo de proyecto, sector, ubicación, escala) y se puede estimar mediante el modelo de valoración de activos financieros. Este modelo usa el rendimiento promedio del mercado y de las acciones de empresas públicas (i.e. que cotizan en bolsa) con giros similares al proyecto a evaluar, para definir un coeficiente de riesgo del proyecto con el cual se aproxima el K_e (Sharpe, 1964).

Una alternativa para aproximar el WACC es a partir del análisis de los costos de capital publicados al evaluar proyectos acuícolas. Ruiz Campo y Zuniga-Jara (2018) realizaron un análisis de las evaluaciones publicadas en revistas técnicas especializadas en los últimos 25 años ($n = 80$) y concluyeron que el costo de capital normal para un proyecto acuícola ronda entre 5% y 25%, con un promedio de 10.6%. La variabilidad refleja el riesgo de cada proyecto. Por ejemplo, un proyecto de escalamiento de una especie, con un paquete

¹¹La fórmula para su estimación es la siguiente (Ross *et al.*, 2010): $WACC = K_d(1 - Imp)\left(\frac{Deuda}{Deuda + Equity}\right) + K_e\left(\frac{Equity}{Deuda + Equity}\right)$

tecnológico¹² estandarizado, en un país desarrollado, podrá ofrecer un menor rendimiento, al ser una inversión de menor riesgo, respecto a un proyecto nuevo, con una especie compleja, en un país en vías de desarrollo, como se muestra en la tabla 1.

Producto	Tipo de proyecto		Tipo de país		Promedio
	Mejora	Nuevo	En desarrollo	Desarrollado	
Peces	8.83%	10.45%	11.06%	8.76%	9.57%
Moluscos	7.75%	13.15%	12.50%	8.07%	9.55%
Crustáceos	10.06%	14.40%	14.94%	6.60%	11.73%
Algas	23%	18.00%	25%	5%	21.00%
Promedio	9.80%	11.84%	13.86%	8.31%	10.66%

Tabla 1. Costos de capital promedio estimados, a partir del análisis histórico de las tasas empleadas en los últimos 25 años en evaluaciones publicadas de proyectos acuícolas.
Fuente: Elaboración propia con datos de Ruiz Campo y Zúñiga-Jara, 2018.

De acuerdo con la fuente del capital (ya sea deuda o inversión), el origen puede clasificarse en cuatro: i) banca privada e institucional, ii) capital privado, iii) instrumentos flexibles y iv) subsidios. A continuación, se describen las ventajas y las desventajas de cada uno, así como el detalle de su operación en México.

2.1 Banca comercial e institucional

Esta deuda consta de capital que proviene de bancos, personas físicas o instituciones gubernamentales, que debe devolverse con una tasa de interés, la cual refleja el riesgo del crédito (e.g. historial crediticio, destino, garantías, plazo) y las condiciones del mercado

¹²Los paquetes tecnológicos engloban las herramientas necesarias, validadas por instituciones reconocidas, para el desarrollo de proyectos productivos que estén al alcance de todos los productores que los requieran, para crear oportunidades que generen una ventaja competitiva sostenible.

crediticio. Las ventajas radican en tener un costo, por lo general, menor a otras fuentes de capital, así como una relativa libertad en el uso del préstamo. Una desventaja es que el beneficiario absorbe los riesgos en su totalidad (Ibrahim, 2010).

Este crédito puede ser uno tradicional, por lo general un pasivo de largo plazo (duración mayor a un año), en el cual se otorga un monto que se paga en parcialidades a un plazo con una tasa de interés. En este tipo de créditos, pueden existir variantes en los mecanismos, como contar con un periodo de gracia que permite pagar solo el interés generado, mientras que el capital se paga después de este periodo (por ejemplo, cuando se ha realizado la cosecha) o en una sola exhibición al final del plazo. En contraste, el crédito revolvente (línea de crédito) es un pasivo de corto plazo (vencimiento menor a un año), el cual consta de dinero disponible y no genera interés a menos que se requiera.

2.2 Banca comercial

70

En relación con el acceso al financiamiento a través de la banca comercial destinado a la industria acuícola, existe la percepción que los productores medianos y grandes tienen la posibilidad de obtener créditos en condiciones favorables, mientras que los pequeños productores no tienen acceso a este tipo de financiamiento (Seafood Business Solutions, 2017).

Independientemente del tamaño de las unidades de producción, las principales barreras que inhiben la colocación de créditos en el sector acuícola son las garantías (prendarias, hipotecarias o líquidas) que exige la institución bancaria, generalmente en una relación 2:1, seguidas por los requisitos específicos, como la formalidad jurídica de la persona moral, el historial de operación y los flujos de caja positivos (Seafood Business Solutions, 2017). En México, es frecuente que el terreno o la concesión donde se realiza el cultivo no sean considerados como garantías crediticias, lo cual no ocurre en otros países, donde se da un valor tangible a la infraestructura acuícola o a los derechos de explotación de una zona específica.

Estas barreras, además de las tasas relativamente elevadas respecto a otros sectores, reflejan la percepción que tiene la banca comercial

de la acuicultura como una actividad de riesgo, que se fundamenta en la variabilidad de los rendimientos productivos que puede tener una unidad acuícola, la fluctuación en los precios de venta, el riesgo por presencia de enfermedades o fenómenos meteorológicos severos y los flujos de caja inconstantes. Esto último puede depender del tipo y la tecnología de producción, pero regularmente los ingresos se generan en ciertos momentos del año (cosechas), mientras que los costos se acumulan entre esos periodos, lo que es riesgoso desde la perspectiva financiera.

2.3 Banca institucional

La banca de instituciones de gobierno, conocida como banca de desarrollo, es aquella que tiene como objetivo promover, mediante créditos en condiciones favorables, el desarrollo de ciertos proyectos, sectores o regiones. En México, está constituida por ocho instituciones (Fig. 4).



Figura 4. Instituciones que comprenden la banca de desarrollo en México.
Nota: *Durante la actual administración (2018-2024), Nacional Financiera y el Banco Nacional de Comercio Exterior operan como una sola institución.

La FND, el FOCIR y los FIRA se relacionan directamente con el fomento de la producción primaria; la FND y los FIRA, mediante créditos; y el FOCIR, mediante inversiones e instrumentos de capital privado. Cabe destacar que complementariamente pueden existir programas adecuados en otras instituciones, como Nacional Financiera y el Banco Nacional de Comercio Exterior, para financiar otros aspectos de los proyectos acuícolas, como la comercialización, el procesamiento y la exportación.

2.4 Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura

Los FIRA fueron creados con la finalidad de estimular una mayor participación de las instituciones de crédito privadas en el financiamiento de la agricultura, la ganadería y la avicultura, así como otras actividades que se realizan en las localidades rurales (menos de cincuenta mil habitantes), que incluyen la acuicultura (Seafood Business Solutions, 2017). Los FIRA dispersan recursos federales destinados a fomentar la producción primaria, a través de créditos de la banca de primer piso, por lo que no se sortean por completo las barreras crediticias anteriormente mencionadas, ya que el financiamiento se opera con valores de mercado, como si fueran recursos propios de las instituciones bancarias comerciales (Seafood Business Solutions, 2017).

Los fideicomisos que integran los FIRA son:

- Fondo de Garantía y Fomento para la Agricultura, Ganadería y Avicultura (FONDO)
- Fondo Especial para Financiamientos Agropecuarios (FEFA)
- Fondo Especial de Asistencia Técnica y Garantía para Créditos Agropecuarios (FEGA)
- Fondo de Garantía y Fomento para las Actividades Pesqueras (FOPESCA)

Los FIRA cuentan con programas de crédito a corto plazo, como microcréditos, créditos para la comercialización, liquidez, capital

de trabajo, por mencionar ejemplos, o instrumentos de largo plazo, como créditos para realizar inversiones fijas o para plantaciones forestales u otros proyectos de larga maduración. Complementariamente, cuenta con programas que operan en convenio con diversas secretarías, incluyendo la SADER. El monto colocado en proyectos relacionados con pesca y acuicultura corresponde a 3.5% del total. Una de las condicionantes para otorgar los créditos es que el productor o beneficiario contribuya con al menos 20% del total del crédito. Dado que los datos de inversiones de capital privado no son claros para identificar lo correspondiente a la acuicultura, se realiza una comparación histórica entre los fondos otorgados por los FIRA y el capital privado (Fig. 5) (Martín Téllez, oficial de los FIRA, comunicación personal, 24 de julio de 2020).

Es una señal de que es necesario contar con mecanismos de transparencia para acceder a la información financiera que respalda el desarrollo acuícola, lo cual permitiría hacer un análisis adecuado de los rendimientos y las necesidades.

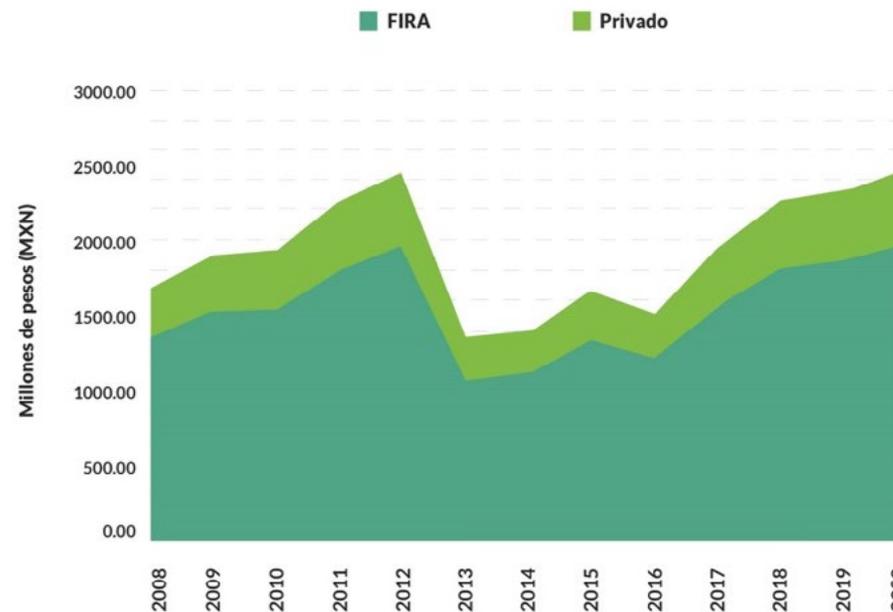


Figura 5. Gráfica comparativa de fondos otorgados por los FIRA y contrapartida con fondos privados.
Fuente: FIRA, datos públicos 2020.

2.5 Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero

La FND es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal, sectorizado en la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Al igual que los FIRA, impulsa el desarrollo de las actividades económicas vinculadas con el medio rural. A diferencia de los FIRA, además operaciones de crédito en segundo piso para entregar recursos a través de intermediarios financieros, la FND realiza operaciones de crédito en primer piso (entrega de recursos al beneficiario final).

Con la finalidad de promover el desarrollo integral del sector pesquero y acuícola, la FND desarrolló el Programa de Financiamiento para la Pesca y Acuicultura, el cual se adapta a las temporadas y los ciclos productivos de las distintas especies que se capturan y cultivan. Está dirigido a personas físicas y morales del sector pesquero y acuícola, con proyectos productivos técnica y financieramente viables. En el contexto acuícola, los rubros financiables por el Programa de Financiamiento para la Pesca y Acuicultura son capital de trabajo, infraestructura acuícola, comercialización, transformación y conservación de la producción. Este programa solicita garantías de 1.5 a 1, a una tasa de alrededor de 7% (dependiendo del monto y las características del solicitante). Complementariamente, la FND cuenta con el Programa de Reducción de Costos de Acceso al Crédito y el Programa de Financiamiento para Pequeños Productores (FND, s. f.)

74

2.6 Capital de riesgo

Es capital que proviene de agentes privados o institucionales, a cambio de participación accionaria de la empresa. El inversionista, a diferencia de los intereses generados por un crédito, obtiene los retornos de las acciones a cambio de su inversión, ya sea por el incremento del valor de la empresa o por el reparto de utilidades (Davila et al., 2003). Algunos de estos inversionistas tienen como objetivo generar, además del retorno de la inversión, efectos no financieros en el ámbito social y ambiental, en cuyo caso se convierte en una inversión de impacto (Calderini et al., 2018).

Dependiendo de la etapa del ciclo de vida en que se invierte y del tipo de empresa, las organizaciones de capital privado pueden ser inversionistas ángeles, fondos de capital privados o institucionales, *family office*¹³ y oferta pública. Este tipo de inversión también es conocido como capital de riesgo, debido a que el inversionista asume, en conjunto con los fundadores de la empresa, el riesgo de la inversión.

En muchos casos, esta inversión se considera dinero inteligente, ya que, dependiendo del grado de involucramiento del inversionista, puede ayudar a institucionalizar y asesorar a las empresas donde invierten o compartir su red de contactos, participación que puede contribuir al éxito y el crecimiento de la empresa. A cambio, se cede parte de la empresa; y, dependiendo de las condiciones de la inversión, en algunos casos, parte del poder de decisión y control sobre la compañía.

El capital privado se constituye en firmas o personas físicas que tienen como objeto financiar empresas a cambio de participación accionaria, lo cual genera flujos a los inversionistas, en parte por las utilidades, pero sobre todo por el incremento del valor de las acciones (Davila *et al.*, 2003). En este sentido, en algunos modelos de negocios se contempla “la salida” de capitales, que corresponde al momento en que el inversionista vende sus acciones. La estrategia de salida es un aspecto muy importante para tomar la decisión de invertir. Esta salida suele ser vendiendo acciones a los socios fundadores, a otro socio estratégico (compañía importante en el ramo de interés), a otro fondo o mediante una oferta pública (Cazalaa *et al.*, 2019).

Existen diferentes tipos de inversionistas en la clasificación del capital privado, en especial debido a las diferentes etapas del ciclo de crecimiento de las empresas en las que se especializan y a la manera en que se organizan (Fig. 6). Los inversionistas ángeles por lo general son personas físicas que invierten de manera individual o grupal en empresas en etapas tempranas, cuando las inversiones

¹³*Family office* se define como las plataformas de inversión dedicadas a gestionar íntegramente los grandes patrimonios de un grupo familia o industrial: las inversiones financieras, inmobiliarias y empresariales, la fiscalidad, la sucesión, la planeación global, etc.

pueden tener mayor riesgo de fracaso, aunque también puede darse el mayor crecimiento del valor de las acciones. Estos inversionistas se caracterizan por su involucramiento en las empresas.

Los fondos de inversión tienden a especializarse en participación en empresas en fase de crecimiento, con niveles de inversión mayores a los ángeles inversionistas. Los fondos son de diferentes tamaños de acuerdo con los requerimientos de su tesis de inversión.

Family office, por otro lado, hace referencia a fondos orientados a familias o grupos con alto poder adquisitivo. Finalmente, la oferta pública representa el momento en que una empresa llega a un nivel de institucionalización y de facturación tal que es posible realizar una oferta pública en la bolsa de valores, donde el público general puede comprar y vender acciones en el mercado de la bolsa (Fig. 6).

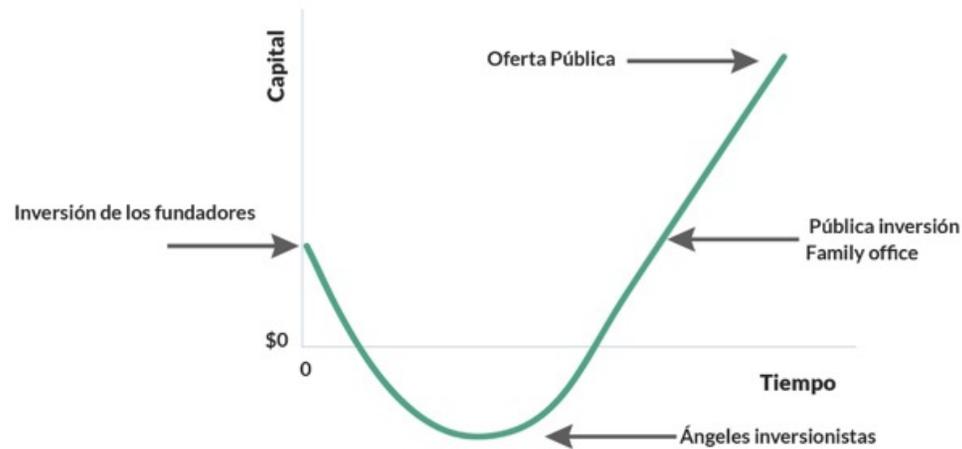


Figura 6. Tipos de firmas de capital privado y su papel en las diferentes etapas de crecimiento de los proyectos.

Debido a que en una inversión de capital privado se cede un porcentaje de acciones a cambio de una inversión, la valoración de las empresas es clave para determinar el porcentaje correspondiente. Si bien existen varias aproximaciones metodológicas, la valoración se hace en función de las expectativas de crecimiento al momento de la salida, por lo general mediante la estimación de los flujos que

tendrá la inversión considerando un descuento para incluir el efecto del tiempo y el riesgo en el valor del dinero. De esta manera se estima el valor presente neto de los proyectos (Copeland et al., 1994). La tasa de descuento que se utiliza corresponde al valor del costo de capital revisado previamente.

2.6.1 Capital de riesgo

En el contexto acuícola y pesquero, resalta la trascendencia del evento Fish 2.0 para fomentar la inversión y la innovación en el sector y su cadena de valor. Este evento bianual comenzó en 2013; en la última edición (2019), participaron 588 emprendedores, de más de cuarenta países, así como una red de 700 inversionistas. Cuarenta de los proyectos evaluados tuvieron la oportunidad de presentarse en una pasarela de inversión donde se solicitaron inversiones del rango de dos a cinco millones de dólares.

Entre los proyectos destacados, se encontraban alternativas biodegradables al poliestireno, ingredientes alternativos al uso de derivados de peces, plataformas de comercio mayorista, soluciones para la trazabilidad basadas en la tecnología de cadena de bloques, una granja tecnificada de langosta australiana y una iniciativa de cultivo de peces marinos. En el escenario internacional, otros fondos de apoyo a proyectos de inversión temprana incluyen a Hatch, Aqua Spark, Sustainable Ocean Fund y S2G Ventures.

En México, la industria del capital privado lleva operando desde 1989. Desde 2003, ha sido representada por la AMEXCAP. Actualmente, la AMEXCAP aglomera 120 firmas de capital privado, 83% de las cuales son fondos mexicanos. Los miembros administran activos por un valor que ronda los 58,000 millones de dólares y promueven la generación de 1.3 millones de empleos. Esta industria ha crecido a una tasa anual compuesta de 25% entre 2000 y 2019, tendencia que apunta hacia perspectivas favorables, debido a que aún hay un margen importante para su crecimiento y diversificación; Como evidencia, hasta ahora, 80% de las inversiones se concentran en Ciudad de México, seguida por Jalisco (5.3%) y Nuevo León (3.9%) (AMEXCAP, 2019).

Aproximadamente 5% de las inversiones se realizan en el sector de producción de alimentos (Seafood Business Solutions, 2017). Si

bien, conforme al conocimiento de los autores, no hay un instrumento especializado para invertir en el sector acuícola, sí existen fondos en los cuales la acuicultura y su cadena de valor pueden alinearse con sus tesis de inversión. Tras la revisión de la información de cada uno de los miembros de la AMEXCAP, se detectaron 15 firmas que mencionan el interés de invertir en el sector primario, alimentos, agronegocios, o producción de proteína. Cada una de ellas cuenta con diferentes esquemas y montos de financiamiento y distintas áreas de experiencia (Tab. 2).

78

Tipo	Nombre	Web
Inversión Gubernamental	Fondo de capitalización e inversión del Sector Rural	https://www.gob.mx/focir
Family office	Siembra Capitales	http://siembracapitales.com/
	ST Capital - a family Office Fund	http://www.stcapital.mx/
Fondos de Inversión	Angel Ventures	http://www.angelventures.vc/
	Anteris	http://anteris.com.mx/
	LabCap	https://labcap.mx/
	Cantera Capital	https://cantera.co/
	KFW DEG	https://www.kfw.de/kfw.de-2.html
	PC Capital	https://www.pc-capital.com/
	Ideas & Capital	https://www.ideasycapital.com/
	BID Capital	https://bidg.mx/
	Fazenda	https://fazendafondos.mx/
	EFM Capital	https://www.facebook.com/EFMCapital/
Demeter Capital	https://www.demetercapital.com/about_us-2/	
Capital Índigo	https://www.capitalindigo.mx/	

Tabla 2. Firmas que cuentan con vehículos de inversión que potencialmente pueden interesarse en invertir en el sector acuícola
Fuente: Elaboración propia con datos de AMEXCAP.

Como ya se anotó, el FOCIR es parte de la banca de desarrollo y ha sido creado para promover la inversión en el sector rural y agroindustrial del país, al proporcionar servicios especializados en banca de inversión y capital privado con conocimiento sectorial. A manera de complemento del ecosistema del capital privado en México, existen firmas consultoras dedicadas a facilitar que los proyectos sean más atractivos para el acceso a estos capitales. Si bien no hay firmas especializadas en el sector acuícola, se identificaron algunas cuyas áreas de experiencia comprenden la producción de alimentos; por ejemplo: Enture Smart Business y Bull Partner cuentan con



Figura 7. Vista aérea de BioHelis, el Parque de Innovación Tecnológica del CIBNOR, en La Paz, Baja California Sur.
Fuente: Imagen satelital del programa ArcGIS-ESRI.

experiencia en temas como estructuración financiera, institucionalización y fusiones y adquisiciones en agroindustria, enfocándose en proyectos en fase de crecimiento. Para la incubación de proyectos nuevos que tengan un alto componente tecnológico, las consultoras iLab y Finnovista cuentan con experiencias en proyectos relacionados con la agroindustria. En cuanto a proyectos de base científica y tecnológica, hay potencial en la Red de Oficinas de Transferencia de Tecnología, en particular en la Oficina de Transferencia de Tecnología, el Centro de Patentamiento y el Parque de Innovación Tecnológica BioHelis, del CIBNOR, en La Paz, Baja California Sur (Fig. 7), ya que cuentan con varios casos de éxito de apoyo a proyectos acuícolas innovadores, con empresas como Marimex/Sol Azul, Redclaw de México y Kampachi Farms, entre otras. El objetivo fundamental de estas instancias es desarrollar, validar y escalar tecnologías basadas en conocimiento científico, a fin de reducir el riesgo e incentivar la participación de fondos de inversión temprana.

2.7 La inversión de impacto: estrategia para fomentar la acuicultura

80 La inversión de impacto surge como una respuesta para subsanar los efectos negativos en el tejido social y en la calidad ambiental que han generado algunas inversiones enfocadas prioritariamente en obtener retornos económicos. La inversión de impacto se caracteriza por fijar, en conjunto con metas de rentabilidad a priori, objetivos sociales y ambientales, por lo que los beneficios no son incidentales y son cuantificados a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Oleksiak *et al.*, 2015; Clarkin y Cangioni, 2016; Calderoni *et al.*, 2018); tiene el objetivo de propiciar una sociedad con inversiones sustentables de largo plazo donde el riesgo se reduce (Social Impact Investment Taskforce, 2014).

Debido a su naturaleza, la inversión de impacto permite canalizar, al mismo tiempo, tanto capital filantrópico y donaciones como capital privado (deuda y/o capital de riesgo). Gracias a la posibilidad de movilizar este capital mixto (*blended capital*), la inversión de impacto puede, potencialmente, ayudar a financiar un mayor número de proyectos, así como aquellos con un riesgo mayor al que otras fuentes de financiamiento están dispuestos a aceptar (*e.g.*, banca comercial). Finalmente, al combinar diferentes fuentes de financiamiento, con la inversión de impacto es posible realizar las inversiones con condiciones más favorables que otras fuentes de financiamiento (*e.g.*, repagos más largos, tasas de interés más bajas, entre otras).

México y Brasil han sido referentes en promover las inversiones de impacto en Latinoamérica (Davidson y Rocha, 2018). En México, actualmente, 62% de los fondos se autodenominan inversores de impacto, lo que refleja una participación importante, particularmente si se considera que la primera inversión de impacto se realizó en el país en el año 2000. Los sectores donde se han concentrado las inversiones de impacto son salud, servicios financieros, educación y alimentación (Seafood Business Solutions, 2017). En este sentido, con base en el crecimiento histórico y el proyectado de la acuicultura mexicana, de más de un millón de toneladas para 2030 (CONAPESCA, 2008), y en su papel como fuente de empleo en zonas remotas con pocas alternativas, los proyectos sustentables innovadores tienen gran potencial para crecer de la mano de las inversiones de impacto y transformar positivamente el sector (O'Shea *et al.*, 2019).

Para cumplir ese propósito, es importante que los actores involucrados en la acuicultura del país, independientemente de su sector (iniciativa privada, comunidades, gobierno, academia, OSC), ayuden a sortear las barreras que tiene la industria para recibir inversión, entre las que se encuentran las siguientes: falta de difusión de las oportunidades para invertir en proyectos o tecnologías acuícolas; una impresión negativa de los riesgos ambientales de la acuicultura, generada por casos icónicos de fallas durante los inicios de la industria; falta de consenso en la definición de los criterios para calificar proyectos sustentables con la mayor probabilidad de éxito, y falta de claridad de los principios de sustentabilidad y las métricas para evaluar los retornos no financieros de las inversiones (O'Shea *et al.*, 2019).

La inversión de impacto puede ayudar a desarrollar una industria acuícola sustentable para afrontar algunos de los retos que hasta ahora el sector ha tenido para acceder a fuentes de financiamiento. En primer lugar, debido a la posibilidad de estructurar una inversión usando diferentes fuentes de financiamiento, desde capital filantrópico y donaciones, hasta capital de riesgo y deuda; la inversión de impacto puede ofrecer condiciones que se adecuen mejor a las realidades de la acuicultura, como ofrecer plazos de repago más largos que se adapten al tiempo que se requiere para desarrollar una operación acuícola redituable y crear estructuras de capital que permitan a los inversionistas asumir mayores riesgos (por ejemplo, garantías y capital de primeras pérdidas).

Por otro lado, la inversión de impacto es apta para ayudar al sector en su transición hacia la sustentabilidad. A causa de la necesidad

implícita de la inversión de impacto de considerar objetivos sociales y/o ambientales, los inversionistas de impacto pueden ayudar a enfocar los recursos financieros disponibles hacia proyectos de acuicultura con salvaguardas ambientales y sociales, y negar esos fondos a proyectos con prácticas nocivas para el medio ambiente y la sociedad. Por lo tanto, la inversión de impacto puede generar los incentivos correctos para acelerar la innovación en el sector acuícola.

2.8 Instrumentos flexibles

Los instrumentos flexibles son un híbrido entre deuda y acciones. Resultan útiles para financiar empresas cuando se busca capital sin diluir a los accionistas y sin recurrir a los riesgos de la deuda tradicional. Asimismo, son atractivos para nuevos emprendimientos, que no cuentan con información histórica para realizar una valoración realista. Pueden tener términos de pago estructurados (por ejemplo, periodos de gracia, mezclas entre interés y capital), lo que los hace más sencillos de pagar, sobre todo cuando no se tienen flujos de capital tan constantes, además de que requieren garantías nulas o más bajas, a costa de una tasa mayor a los créditos tradicionales. También son conocidos como capital mezanine o deuda mezanine (Silbernagel y Vaitkunas, 2012).

Estos instrumentos se consideran mecanismos de financiamiento en los que la deuda puede transformarse en inversión o viceversa, de acuerdo con diferentes condicionantes (Coyle y Green, 2018); generalmente, provienen de inversionistas privados, aunque en el contexto mexicano existen ejemplos de instituciones gubernamentales que ofrecen estas alternativas.

Los instrumentos flexibles están diseñados para facilitar las negociaciones, por ejemplo, de empresas en etapas tempranas, que es difícil valorizar (para conocer el porcentaje accionario a ceder por una inversión dada), para mitigar los riesgos por parte de los inversionistas o para hacer más atractivo el capital para las empresas al tener opción de convertir la deuda. Estos mecanismos pueden ser una deuda con opción a ser transformada en un momento dado a inversión, un crédito en condiciones preferentes a cambio de un porcentaje accionario o una inversión que, en caso de no cumplir las expectativas de crecimiento, se transforme en deuda. Un ejemplo de estos

esquemas de financiamiento es la deuda participante, en la que los pagos de intereses pueden combinarse, si se alcanza cierto umbral, con las utilidades de la empresa o las rentas de un inmueble.

Otro esquema es la deuda convertible, que es la deuda que se convierte en acciones cuando se cumplen ciertos términos (Silbernagel y Vaitkunas, 2012). La deuda convertible es comúnmente usada en el financiamiento de empresas por medio de un instrumento llamado nota convertible, un préstamo que genera interés (a una tasa preferencial), pero el capital y los intereses se pagan al vencimiento, pudiendo ser a cambio de acciones, un descuento y un techo en la valoración (Coyle y Green, 2018).

Finalmente, otro mecanismo de financiamiento similar, aunque simplificado, es el *simple agreement for future equity*. A diferencia de la nota convertible, no es un préstamo, sino una garantía, por lo que no cuenta con tasa de interés y es posible que tampoco con fecha de vencimiento. En el *simple agreement for future equity*, al igual que en la nota convertible, el capital se transforma en acciones en una futura valoración en términos favorables para el inversionista (Coyle y Green, 2018).

2.9 Donaciones y programas públicos

Los programas públicos erróneamente llamados “fondos perdidos” son mecanismos económicos (subsidios) contrarios a los impuestos, que se emplean para incentivar a la iniciativa privada para lograr algún objetivo deseado a través de transferencias de capital (Guillen *et al.*, 2019). Por ejemplo, fomentar el empleo, reducir las emisiones, incrementar la competitividad, aumentar la seguridad alimentaria. Estas transferencias generalmente provienen de los gobiernos, aunque también existen ejemplos de organizaciones no gubernamentales que pueden aplicar estos instrumentos. El procedimiento para acceder a este tipo de financiamiento generalmente es por medio de convocatorias, con proyectos que compiten por los recursos, o mediante solicitudes cuando solo se requiere comprobar los requisitos para ser beneficiario.

Cabe resaltar que si bien este financiamiento no conlleva un interés ni la cesión de un porcentaje accionario, el monto debe considerarse financieramente en la estructura de capital como parte de inversión privada (*equity*), ya que, al ser una transferencia directa al actor privado para su administración, se le debe exigir el mismo rendimiento que el capital invertido (K_e).

El capital proveniente de programas públicos suele ser atractivo, al no generar interés ni requerir ceder parte de la compañía, pero no debe considerarse “dinero gratis”, ya que no es capital libre de riesgos, debido a que se adquieren compromisos propios de los beneficiarios, como la correcta aplicación de los recursos (en tiempo y forma) y el cumplimiento del impacto convenido (e.g. generación de empleos, desarrollo tecnológico, reducción de emisiones). Además, la inversión estará sujeta a los tiempos de las convocatorias (fechas de publicación, tiempos de formalización y duración del proyecto) y, en muchos de los casos, se requiere concurrencia (i.e. aportación privada en dinero o especie en alguna proporción), que debe cubrirse en el tiempo de vida del proyecto. En cualquier caso, el incumplimiento puede implicar acciones administrativas para solicitar el reembolso. Los subsidios han decrecido significativamente en los últimos años; en 2019, se asignaron menos de 50% de los otorgados por proyecto en 2014. Por ello, plantear un proyecto en función de subsidios gubernamentales aumenta la incertidumbre y el riesgo financiero.

Por otro lado, la aplicación de estos fondos puede ser por vía de créditos (con tasas preferenciales) o de inversiones en condiciones favorables, aunque en esta sección se hace referencia exclusivamente a transferencias gubernamentales directas a los productores con los objetivos de fomentar la producción, generar empleos o aumentar la competitividad.

La mayor parte de los subsidios a la acuicultura son canalizados por la SADER y los ejecuta la CONAPESCA mediante el Programa de Subsidios Energéticos Pesqueros y Acuícolas, el Programa de Fomento a la Productividad Pesquera y Acuícola y el Programa de Vinculación. Existen, además, apoyos que son otorgados a través del Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, cuyo objetivo general es impulsar, en coordinación con los gobiernos locales, la inversión en proyectos productivos o estratégicos pesqueros y acuícolas.

Entre 2014 y 2019, la estrategia para el impulso de la acuicultura en México estuvo basada en la producción de crías (recursos biológicos). De los recursos asignados a la CONAPESCA entre 2011 y 2018 (16,300 millones de pesos), 73% fueron destinados para subsidios (12,000 millones de pesos). Los subsidios fueron otorgados mediante diez proyectos estratégicos, que incluyeron insumos biológico-genéticos, instalaciones, infraestructura y equipamiento, así como estudios productivos, de factibilidad técnica y de manejo (figs. 8B y

8C). La mayoría de los beneficiarios reportados son personas morales (78%) y personas físicas (20%), que en conjunto reciben 86% de los subsidios; el 14% restante fue asignado a los gobiernos estatales (2%). La línea estratégica “Desarrollo a la acuicultura” obtuvo solo 13% de los fondos destinados para subsidios y sirvió para financiar más de dos mil proyectos acuícolas (Fig. 8D) (Pescando Datos, s. f.). En el análisis, destacan las entidades de Sonora y Sinaloa, que concentran más de la mitad de los subsidios otorgados y el mayor número de proyectos por año (Fig. 8A). Desde 2017, se ha visto una disminución del financiamiento a la acuicultura (Fig. 8E).

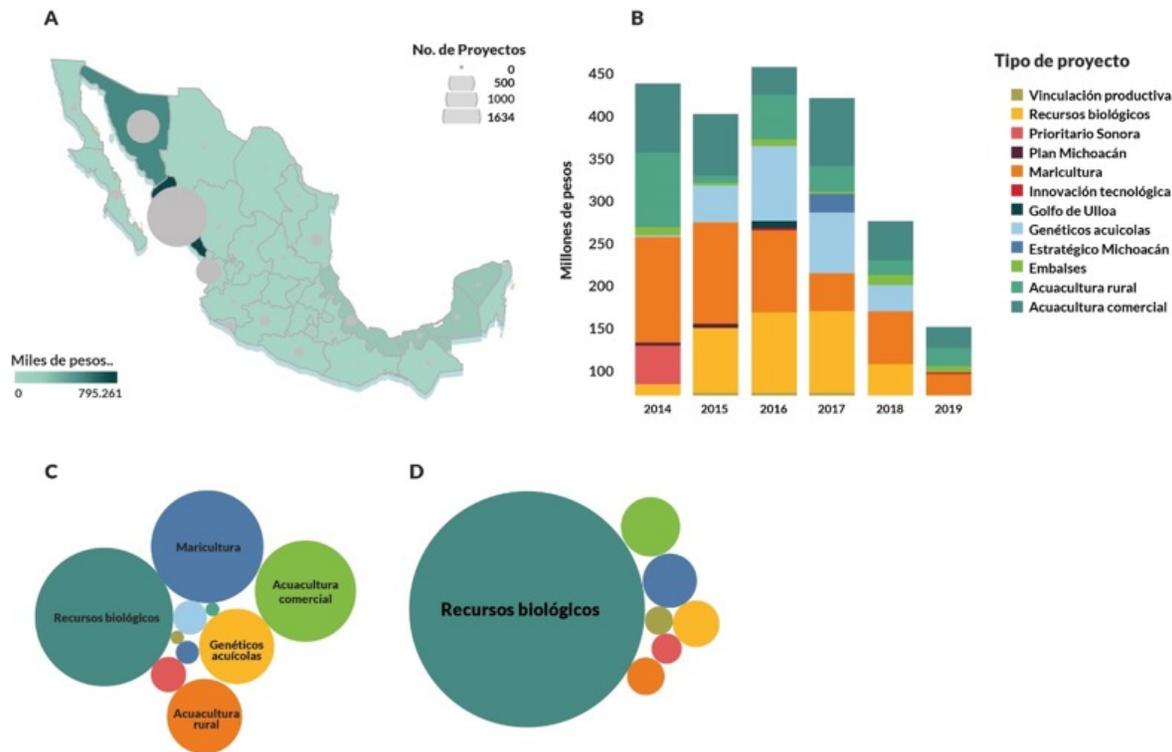


Figura 8. A. Subsidios de gobierno canalizados a través de la CONAPESCA para desarrollo acuícola en las entidades federativas. B. Financiamiento por tipo de proyectos y por año. C. Principales tipos de proyectos subsidiados. D. Número de proyectos financiados por tipo. E. Serie temporal del financiamiento otorgado por tipo de proyecto. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

En 2020, la CONAPESCA exploró la opción de posicionar el camarón y la tilapia a nivel nacional, en términos de autosuficiencia alimentaria. De acuerdo con Walter Hubbard, Director General de Organización y Fomento de la CONAPESCA, la autosuficiencia alimentaria es reconocida por la institución como el acceso de forma económica a alimentos suficientes, nutritivos y seguros de origen nacional. Las especies propuestas son las que actualmente lideran el mercado y los volúmenes de producción.

Existen otros programas que, aunque no son administrados por la SADER ni son específicos para la acuicultura, apoyan su desarrollo; por ejemplo, los programas administrados por el CONACYT. Antes de 2018, el programa Estímulos a la Innovación y el Fondo Sectorial de Innovación (Secretaría de Economía-CONACYT) fueron catalizadores para fomentar el desarrollo tecnológico y la innovación acuícola. A partir de 2019, estos programas fueron reemplazados por el Programa Estratégico Nacional de Tecnología e Innovación Abierta, en el que, además de la innovación, ha cobrado importancia el énfasis en la sustentabilidad y el enfoque social. Estos subsidios a la innovación comenzaron con un apoyo gubernamental de 80% y una concurrencia de 20%; posteriormente, se inclinaron hacia una relación 50:50 (Luis Felipe Beltrán Morales, Coordinación de Vinculación, Innovación Sustentable y Transferencia de Conocimiento a la Sociedad del CIBNOR, comunicación personal, 10 de julio de 2020).

3. Seguros financieros

El cultivo de peces u otros organismos conlleva una mortalidad que puede ser natural de la población y estar relacionada con las técnicas de cultivo (Lorenzen, 1996). Controlar el efecto de las variables productivas es parte fundamental de la actividad acuícola, a fin de mitigar posibles efectos negativos en la supervivencia de la especie cultivada. La tecnología contribuye al control y el manejo de los sistemas de cultivo y al aumento de la competitividad en términos de productividad y rentabilidad (Boyd y Tucker, 1998). La consolidación de la industria depende del acceso a la ciencia y tecnologías de punta, así como de su implementación eficiente, en función del presupuesto disponible para el tipo de cultivo deseado para la especie objetivo (Kumar *et al.*, 2018; Bostock, 2011).

Entre las variables externas que afectan la productividad de las granjas acuícolas se encuentran aquellas ligadas al medio ambiente. Dependiendo de su posición geográfica, puede haber un impacto por la calidad del suelo y del agua, así como por la exposición a efectos naturales (tormentas, huracanes, terremotos, deslaves, etc.), que pueden o no estar vinculados a procesos globales como el cambio climático (aumento del nivel de mar, acidificación, calentamiento global y anomalías térmicas) (Handisyde *et al.*, 2017). Las pérdidas millonarias por tormentas, huracanes e incidencia de enfermedades en cultivos de camarón en Asia y Latinoamérica son un ejemplo de estos problemas (Barange *et al.*, 2018).

En México, el sector acuícola enfrenta diferentes retos de manera periódica, como las enfermedades emergentes y el efecto de tormentas y huracanes. De acuerdo con los modelos de cambio climático global, se han identificado las zonas más vulnerables en el Golfo de México, particularmente en Tabasco y Campeche, que son áreas piscícolas, camaronícolas y ostrícolas, y en las cuales el aumento del nivel del mar podría tener afectaciones hasta 20 km tierra adentro. En otras regiones de México, factores como la acidificación, la hipoxia, la intensificación y la frecuencia de los huracanes ponen en riesgo las instalaciones acuícolas y sus producciones (Flores Nava, 2010).

Para contrarrestar algunos de los impactos, los acuicultores pueden acceder a seguros para proteger sus instalaciones ante factores

climáticos o biológicos mediante tres formas: a) contratar un seguro con una empresa privada; b) la organización de un fondo de seguros que involucra directamente a los productores, cada uno de los cuales paga la prima respectiva a un fondo común, atendiendo a los que son afectados; y c) con una cobertura limitada a la que se puede acceder a través del seguro agrícola, pecuario, pesquero y acuícola catastrófico, operado por la SADER y los gobiernos estatales. El gobierno federal participa por conducto de la institución nacional de seguros Agroasemex, cuya función es promover el patrimonio y la capacidad productiva del sector, a partir de un sistema nacional de administración de riesgos para la protección integral del sector rural, en el que la mayor parte del capital es del gobierno federal (Altamirano-Cárdenas *et al.*, 2019).

3.1 Tipos de cobertura y especies

88 A nivel nacional, las especies acuícolas que contribuyen mayormente a la producción son camarón, tilapia, ostión, carpa y trucha. Para las aseguradoras, el camarón ha sido una de las principales especies para las que tienen cobertura. Por parte de Agroasemex, el sector acuícola cuenta con una cobertura de aseguramiento vigente de 7,871 hectáreas, que corresponden aproximadamente a 7% del total de hectáreas registradas en la actividad acuícola, y se centra en la producción de camarón (Agroasemex, 2019; CONAPESCA, 2017). Este seguro cubre las pérdidas económicas ocasionadas por la fuga de la biomasa y/o la afectación que sufran las estructuras de contención o estanques, a consecuencia directa de fenómenos naturales bajo las siguientes condiciones:

- Cobertura básica: Fenómenos hidrometeorológicos: Huracán, ciclón, tornado, tromba, vientos fuertes, lluvia torrencial, maremoto y deslave.
- Cobertura adicional: Fenómenos geológicos: Terremoto y/o erupción volcánica.

Otros seguros, como ProAgro y Tláloc Seguros, además del camarón en las modalidades de crianza, preengorda y engorda, incluyen engorda para tilapia, trucha y bagre.

Entre los rubros que no son cubiertos por los seguros, se incluyen las pérdidas causadas por malos manejos (procedimientos técnicos, instalaciones deficientes, fallas de equipo, corte del suministro eléctrico) y enfermedades. Este último componente ha sido crítico, particularmente en el cultivo de camarón, que históricamente ha presentado impactos severos.

En el pasado, otras aseguradoras, como Mapfre, General de Seguros y ProAgro ofrecían pólizas para los productores de camarón. Mapfre anunció el cierre de su segmento acuícola porque carece de soporte de reaseguro. Por su parte, General de Seguros informó que desde hace años no tiene aseguradas granjas de camarón, por el problema de salud que enfrenta la especie. De manera similar, Agroasemex anunció en 2014 que no operaría con los productores de camarón, debido a resultados negativos para los fondos de aseguramiento, relacionados con la elevada mortalidad ocasionada por el virus de la mancha blanca (Torres, 2014).

Una alternativa que se proporciona desde el gobierno federal, en colaboración con los gobiernos estatales, es el seguro agrícola, pecuario, pesquero y acuícola catastrófico, que está orientado a productores acuícolas (pescadores, ganaderos, pecuarios y agrícolas). Las condiciones y los beneficios varían, como se muestra a continuación.

3.2 Productores sin acceso a seguros financieros

Productores acuícolas de bajo ingreso que se encuentren en el RNPA y cuenten con concesión o permiso de operación vigente. Para camarón, con dos hectáreas o menos en sistema extensivo y semi-intensivo; para peces, en estanques, con hasta 550 m² en sistema extensivo y semi-intensivo, y en jaula, con cinco jaulas o menos; y para moluscos, con 20 canastas, sartas o costales o menos. La unidad de medida para efecto de los montos de apoyo será de la siguiente forma: para camarón, por hectárea; para peces, por m² o jaula, y para moluscos, por canasta, sarta o costal.

3.3 Productores agrícolas, pecuarios, pesqueros y acuícolas con acceso a seguros financieros

Productores acuícolas que deseen proteger la producción de biomasa en sus unidades de producción en caso de desastres naturales, que se encuentren inscritos en el RNPA y cuenten con concesión o permiso de operación vigente.

Actividad acuícola

- Hasta 2 hectáreas por productor de camarón para sistema extensivo o semi-intensivo:
 - \$4,000.00 (cuatro mil pesos 00/100 M.N.) por hectárea para sistema extensivo.
 - \$6,000.00 (seis mil pesos 00/100 M.N.) por hectárea para sistema semi-intensivo.
- Hasta 550 m2 por productor de peces en estanques para sistema extensivo y semi-intensivo:
 - \$8.00 (ocho pesos 00/100 M.N.) por m2 para sistema extensivo.
 - \$18.00 (dieciocho pesos 00/100 M.N.) por m2 para sistema semi-intensivo.
- Hasta 5 jaulas por productor de peces:
 - \$1,000.00 (mil pesos 00/100 M.N.) por jaula.
- Hasta 20 canastas, sartas o costales por productor de moluscos:
 - \$100.00 (cien pesos 00/100 M.N.) por canasta, sarta o costal.

90

3.4 Condiciones para acceder al aseguramiento de biomasa

Los requisitos para asegurar la biomasa en una operación acuícola son diferentes en función de la ubicación geográfica y las condiciones socioeconómicas, como se especifica a continuación.

Para productores que se ubiquen en municipios de alta y muy alta marginación, según el índice de marginación del CONAPO:

- 40 puntos porcentuales del costo de la prima del seguro.

Para productores que se ubiquen en municipios de media, baja y muy baja marginación, según el índice de marginación del CONAPO:

- 38 puntos porcentuales del costo de la prima del seguro.

El apoyo se brinda a productores acuícolas en sistemas intensivos, semi intensivos, y extensivos que se encuentren registrados en el RNPA y cuenten con concesión o permiso de operación vigente; y se otorga para proteger la pérdida de la unidad asegurable y biomasa, derivada de desastres naturales. El límite máximo del apoyo al costo de la prima es 1,800 pesos por hectárea en sistemas intensivos y semi-intensivos y 250 pesos por hectárea en sistemas extensivos para camarones; 0.30 pesos por metro cuadrado en peces, y 6 pesos por canasta, sarta o costal en moluscos.

4. Perspectiva a futuro de los seguros en México

El seguro de acuicultura puede reconocerse como una inversión pública a partir de una asociación entre el gobierno, las aseguradoras, los grupos de acuicultores y otros actores de la cadena de valor. Un programa de seguros bien diseñado puede contribuir a que la carga del gobierno respecto a la recuperación ante desastres y los esfuerzos de rehabilitación sean menores. En México, hay una gran área de oportunidad en este rubro. Entre los pasos a considerar, está la integración de información disponible de cambio climático (modelos considerando la vulnerabilidad), el fortalecimiento de las buenas prácticas de producción y los incentivos a la organización en el sector acuícola. De este modo, el acceso a seguros financieros sería una opción viable y el desarrollo acuícola podría alcanzar las metas proyectadas desde hace más de dos décadas, que siguen sin cumplirse. Los seguros financieros podrían incorporarse en el plan de adaptación al cambio climático de las entidades federativas y utilizarse como instrumentos para la protección social de los pequeños acuicultores de escasos recursos. La clave para que los acuicultores participen de manera recurrente en un programa de seguros y que las compañías de seguros cubran a pequeños productores, de tal modo que sea un negocio viable, es que los acuicultores estén organizados a partir de principios de gobernanza, certeza jurídica y tecnologías que garanticen la certificación de buenas prácticas de operación.

5. Conclusiones y recomendaciones

Desde la perspectiva de la iniciativa privada (tanto como productores como inversionistas) y del gobierno es conveniente generar mecanismos para facilitar a los productores el acceso a capital, sobre la base de que existen varias oportunidades con alto potencial de crecimiento para invertir en el sector acuícola y su cadena de valor. Estas inversiones, a su vez, pueden catalizar el crecimiento y la competitividad del sector creando a la par un efecto multiplicador al crear oportunidades laborales, muchas veces en regiones con poca oferta de empleo.

Para este fin, algunas recomendaciones son:

- Generar los canales adecuados, como foros de inversión y plataformas digitales, donde se difundan proyectos atractivos para invertir, fondos, programas, créditos y seguros específicos para el sector.
- Impartir cursos y capacitaciones para que los productores conozcan las alternativas de financiamiento, los requisitos y la manera adecuada de presentar los proyectos.
- Difundir los casos de éxito nacionales e internacionales para mejorar la percepción hacia el sector.
- Generar los mecanismos, desde la perspectiva gubernamental, para que los pequeños productores accedan a financiamiento con mejores condiciones, que incentiven el emprendimiento y permitan el escalamiento de los proyectos. La implementación de esquemas de seguro que reduzcan el riesgo y de programas de crédito diseñados para cubrir las necesidades de este segmento son opciones razonables.
- Fomentar la organización de los productores para acceder a un esquema de seguro colectivo.

6. Referencias

Agroasemex (2019). Otorgan financiamiento por más de 254 mdp para el sector acuícola y pesquero. Recuperado el 27 de agosto de 2020, de <http://www.gob.mx/agroasemex/articulos/otorgan-financiamiento-por-mas-de-254-mdp-para-el-sector-acuicola-y-pesquero-197315?idiom=es>.

Altamirano-Cárdenas, J. R., Solano-Alonso, R. y Valdez Reyes, T. A. (2019). The national rural insurance system in Mexico: private-public partnership for risk management. Proceedings of the X International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2019”.

AMEXCAP (2019). México VC Overview 2019. AMEXCAP.

Banco Mundial (2020). Población total. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2019&start=1960&view=chart>.

94 Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S. y Poulain, F. (eds.) (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Roma, FAO.

Bostock, J. (2011). The application of science and technology development in shaping current and future aquaculture production systems. *The Journal of Agricultural Science*, 149(S1), 133-141. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001127>.

Boyd, C. E. y Tucker, C. S. (1998). Pond aquaculture water quality management. Boston, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>.

Brown, N. (2019). Startup Death Valley Curve. <https://www.planprojections.com/funding/startup-death-valley-curve/>

Calderini, M., Chiodo, V. y Michelucci, F. V. (2018). The social impact investment race: Toward an interpretative framework. *European Business Review*, 30(1), 66-81. <https://doi.org/10.1108/EBR-10-2016-0134>.

Cazalaa, G., Hayes, W. y Morgan, P. (2019). Private equity exit excellence: Getting the story right. <https://www.mckinsey.com/industries/>

private-equity-and-principal-investors/our-insights/private-equity-exit-excellence-getting-the-story-right

Clarkin, J. E. y Cangioni, C. L. (2016). Impact investing: A primer and review of the literature. *Entrepreneurship Research Journal*, 6(2), 135-173. <https://doi.org/10.1515/erj-2014-0011>.

COMEPESCA (2020). Campañas de promoción. <http://comepesca.com/campanas-de-promocion/#pon-un-pescado-en-tu-mandado>.

CONAPESCA (2008). Eje de Crecimiento: Plan Rector Nacional de Pesca y Acuicultura. México, SAGARPA.

– (2017). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.

CONAPESCA-Acuasesor (s. f.). Consultado el 1 de abril de 2021, en <https://acuasesor.conapesca.gob.mx/>.

Copeland, T., Koller, E. y Murrin, J. (1994). *Valuation: Measuring and managing the value of companies*. Wiley Frontiers in Finance.

Coyle, J. y Green, J. (2018). The SAFE, the KISS, and the Note: A Survey of Startup Seed Financing Contracts. *Minnesota Law Review* 95
Headnotes, 103(42), 42-66.

Davidson, A. y Rocha, R. (2018). El panorama de la inversión de impacto en América Latina. *Tendencias 2016 & 2017*. Aspen Network of Development Entrepreneurs y The Association for Private Capital Investment in Latin America.

Davila, A., Foster, G. y Gupta, M. (2003). Venture capital financing and the growth of startup firms. *Journal of Business Venturing*, 18(6), 689-708. [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(02\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(02)00127-1).

Demaria, C. (2013). *Introduction to private equity: Venture, growth, LBO and turn-around capital*. John Wiley & Sons.

FAO (2020a). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

– (2020b). The state of food security and nutrition in the world 2020. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>.

- Farshchi, S. (2018). Four ways to bridge the widening valley of death for startups. <https://techcrunch.com/2018/12/24/four-ways-to-bridge-the-widening-valley-of-death-for-startups/>.
- Fish 2.0 (2020a). Global Aquaculture: Value and Growth in 2018. <https://www.fish20.org/resources/ourpublications>.
- (2020b). Seafood Supply Chain Summary. <https://www.fish20.org/resources/ourpublications>.
- Flores Nava, A. (2010). Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobos-Zapata (eds.), *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino* (pp. 319-334). Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- FND (s. f.). Recuperado el 14 de mayo de 2020, de <https://www.gob.mx/fnd>.
- Global Impact Investing Network (2017). Annual impact investor survey 2017. <https://thegiin.org/knowledge/publication/annualsurvey2017>.
- Guillen, J., Asche, F., Carvalho, N., Fernández Polanco, J. M., Llorente, I., Nielsen, R., Nielsen, M. y Villasante, S. (2019). Aquaculture subsidies in the European Union: Evolution, impact and future potential for growth. *Marine Policy*, 104, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.045>.
- Handisyde, N., Telfer, T. C. y Ross, L. G. (2017). Vulnerability of aquaculture-related livelihoods to changing climate at the global scale. *Fish and Fisheries*, 18(3), 466-488. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/faf.12186>
- Höchstädter, A. K. y Scheck, B. (2015). What's in a name: An analysis of impact investing understandings by academics and practitioners. *Journal of Business Ethics*, 132(2), 449-475. <https://doi.org/10.1007/s10551-014-2327-0>.
- Hughes, N. (2012). Startup Death Valley: What is it and how to get out. <https://soentrepreneurial.com/2012/10/07/startup-death-valley-what-it-is-and-how-to-get-out/>.
- Ibrahim, D. M. (2010). Debt as venture capital. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1418148>.

Knowledge Sourcing Intelligence LLC. (2017). Global Aquaculture Market. Forecasts from 2017 to 2022. <https://www.researchandmarkets.com/research/hgknlp/global>.

Kumar, G., Engle, C. y Tucker, C. (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3), 447-476.

Litan, R. E. y Robb, A. (2012). A market-based approach for crossing the valley of death: The benefits of a capital gains exemption for investments in startups (SSRN Scholarly Paper ID 2000836). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2000836>.

Lorenzen, K. (1996). The relationship between body weight and natural mortality in juvenile and adult fish: A comparison of natural ecosystems and aquaculture. *Journal of Fish Biology*, 49(4), 627-642. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb00060.x>.

Marks, K. H., Robbins, L. E., Fernandez, G. y Funkhouser, J. P. (2005). *The handbook of financing growth: Strategies and capital structure*. John Wiley & Sons.

97

Oleksiak, A., Nicholls, A. y Emerson, J. (2015). Impact investing. En A. Nicholls, R. Paton, y J. Emerson (eds.), *Social Finance* (pp. 207-250). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198703761.003.0009>.

O'Shea, T., Jones, R., Markham, A., Norell, E., Scott, J., Theuerkauf, S. y Waters, T. (2019). *Towards a Blue Revolution: Catalyzing Private Investment in Sustainable Aquaculture Production Systems*. Arlington, Virginia, Estados Unidos. The Nature Conservancy y Encourage Capital.

Pescando Datos (s. f.). Subsidios pesqueros. Recuperado el 14 de mayo de 2020, de <https://pescandodatos.org/subsidios-pesqueros>.

Quiñones-Pardo, K. (2015). Relación entre rentabilidad y estrategias de crecimiento orgánico e inorgánico. Universidad del Bío-Bío.

Ross, S. A., Westerfield, R. W. y Jaffe, J. (2010). *Corporate finance*. 9.a edición. McGraw-Hill Education.

Roundy, P. T. (2019). Regional differences in impact investment: A theory of impact investing ecosystems. *Social Responsibility Journal*,

16(4), 467-485. <https://doi.org/10.1108/SRJ-11-2018-0302>.

Ruiz Campo, S. y Zuniga-Jara, S. (2018). Reviewing capital cost estimations in aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 22(1), 72-93. <https://doi.org/10.1080/13657305.2017.1300839>.

Ruiz de Villalba Flórez, J. M., Gentilin, M. y Franco Ruiz, C. (2017). La adquisición de un equipo de alto desempeño como alternativa en la estrategia de crecimiento inorgánico. *Ciencias Administrativas*, 9, 001. <https://doi.org/10.24215/23143738e001>.

Seafood Business Solutions. (2017). Análisis del panorama de oportunidades de financiamiento e inversión para la transición hacia la pesca sustentable. Environmental Defense Fund de México.

Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x>.

98 Silbernagel, C. y Vaitkunas, D. (2012). Mezzanine finance. *Bond Capital*.

Social Impact Investment Taskforce (2014). *Impact investment: The invisible heart of markets* (Report of the Social Impact Investment Taskforce established under the UK's presidency of the G8).

Torres, Y. (2014). Agroasemex deja de asegurar producción de camarón en el país. *El Economista*. Recuperado el 27 de agosto de 2020, de <https://www.eleconomista.com.mx/sectorfinanciero/Agroasemex-deja-de-asegurar-produccion-de-camaron-en-el-pais-20140226-0121.html>.

Van Anrooy, R., Secretan, P. A. D., Lou, Y., Roberts, R. y Upare, M. (2007). Análisis del estado actual de seguros en la acuicultura mundial. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 493. Roma, FAO.

III. Análisis de las políticas y la legislación de la acuacultura en México

Leonardo Vázquez-Vera, Ruth Sarahí Gómez Villada,^a Anaid Velasco Ramírez,^b María Inés Pérez Centeno,^a Úrsula Garzón Aragón^b y Mario Sánchez Castro^a

^a Centro Mexicano de Derecho Ambiental. Oficina Regional Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México.

^b Centro Mexicano de Derecho Ambiental. Oficina Regional Centro. Ciudad de México, México.



1. Estructura gubernamental para la administración y el manejo de la acuacultura

En México, la acuacultura está regulada por las mismas instituciones y leyes que se aplican a la pesca. En general, hay dos conjuntos de entidades administrativas para la gestión y la administración de los recursos naturales. La SADER se encarga de regular el acceso y el aprovechamiento de los recursos agrícolas, pesqueros y acuícolas; y la SEMARNAT, de proteger el estado de conservación de los recursos naturales y su aprovechamiento sustentable. Ambas dependencias cuentan con órganos administrativos desconcentrados y organismos descentralizados que deben trabajar de manera coordinada para lograr dichos objetivos (Fig. 1).

En específico, la CONAPESCA, órgano administrativo desconcentrado de la SADER, se ocupa del fomento, el ordenamiento y la administración de la acuacultura; para determinar la viabilidad técnica de los proyectos y atender las solicitudes de derechos de acceso, se apoya en el INAPESCA, organismo descentralizado de la propia SADER dedicado a la investigación científica y la evaluación de los recursos pesqueros y acuícolas (Tab. 1). Además, se establece un sistema de competencias para regular y atender la actividad acuícola en los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal).

100

¹⁴Órganos administrativos desconcentrados: Son entidades jerárquicamente subordinadas a las dependencias, con facultades específicas para resolver asuntos en la materia encomendada de conformidad con las disposiciones legales aplicables. Los órganos desconcentrados cuentan con autonomía administrativa, pero no tienen responsabilidad jurídica ni patrimonio propio. Es importante señalar que los recursos ejercidos por los órganos administrativos desconcentrados forman parte del gasto del ramo administrativo que los coordina sectorialmente. Fuente: DOF, 1976.

¹⁵Organismo descentralizado: Institución definida por la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal con personalidad jurídica y patrimonio propio, constituida con fondos o bienes provenientes de la Administración Pública Federal; su objetivo es la prestación de un servicio público o social, la explotación de bienes o recursos propiedad de la nación, la investigación científica y tecnológica y la obtención o aplicación de recursos para fines de asistencia o seguridad social. Fuente: DOF, 1976.

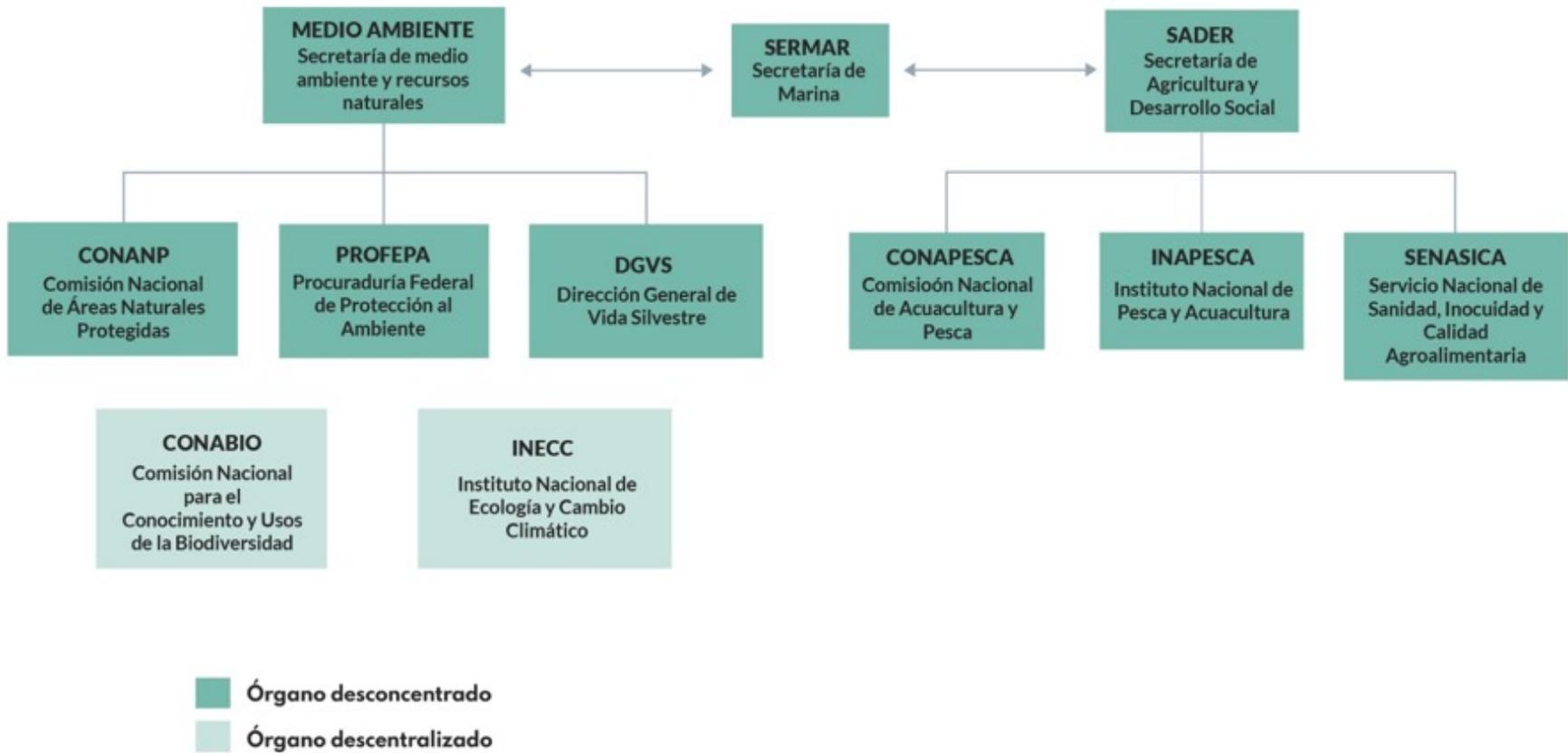


Figura 1. Estructura de las instituciones de gobierno relacionadas con la actividad acuícola.
Fuente: Integración de datos recopilados por el CEMDA.

Tipo de instituciones	Naturaleza jurídica	Nombre	Sigla	Misión	Funciones clave
Instituciones de Pesca y Acuicultura	Dependencia del Poder Ejecutivo Federal	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural	SADER	Promover el desarrollo integral del campo y de los mares del país que permita el aprovechamiento sustentable de sus recursos, el crecimiento sostenido y equilibrado de las regiones, la generación de empleos atractivos que propicien el arraigo en el medio rural y el fortalecimiento de la productividad y competitividad de los productos para consolidar el posicionamiento y la conquista de nuevos mercados, atendiendo a los requerimientos y exigencias de los consumidores.	Administración y desarrollo
	Órgano desconcentrado de SADER	Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca	CONAPESCA	Nuestra misión es ser un órgano desconcentrado de la SADER comprometido con la legalidad, la calidad y la transparencia, encargado de fomentar y desarrollar mecanismos de coordinación con diferentes instancias para implementar políticas, programas y normatividad que conduzcan y faciliten el desarrollo competitivo y sustentable del sector pesquero y acuícola del país, para incrementar el bienestar de los mexicanos.	Regulación y administración
	Órgano descentralizado de la Administración Pública Federal	Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura	INAPESCA	El Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura es un Organismo Público Descentralizado Sectorizado con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), cuenta con personalidad jurídica y patrimonio propio; es el encargado de dirigir, coordinar y orientar la investigación científica y tecnológica en materia de pesca y acuicultura, así como el desarrollo, innovación y transferencia tecnológica que requiera el sector pesquero y acuícola.	Investigación científica, evaluación y diagnóstico
	Órgano desconcentrado de SADER	Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria	SENASICA	Regular, administrar y fomentar las actividades de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria, reduciendo los riesgos inherentes en materia agrícola, pecuaria, acuícola y pesquera, en beneficio de los productores, consumidores e industria.	Administración, regulación y fomento

Tabla 1. Instituciones de gobierno que administran, regulan y manejan la actividad acuícola y pesquera en México

Fuente: Elaboración propia con datos de Gobierno de México, s. f.

La actividad acuícola se realiza en todo el país, lo cual implica la ocupación y el aprovechamiento de territorio que colinda o incluye hábitats costeros, marinos y terrestres que albergan la gran diversidad de especies que caracteriza a México. Si bien ya se ha puntualizado que el número de especies que se cultivan es mayor a 70 (capítulo I), se está explorando la factibilidad de incorporar más de cien especies mediante proyectos acuícolas de fomento (CONAPESCA-Acuasesor, s. f.; véase Anexo 1) y los territorios en los cuales se puede llevar a cabo dicha actividad, como es el caso de las zonas desérticas, donde se pretende promover la acuicultura de conformidad con el acuerdo entre la Comisión Nacional de Zonas Áridas, organismo descentralizado y sectorizado a la SADER, y la CONAPESCA (CONAPESCA, 2020). Ahora bien, esta actividad modifica el paisaje y genera impacto ambiental, lo cual es inherente al modelo de desarrollo humano. Para regular, cuantificar y mitigar posibles daños, se cuenta con un sistema de instituciones y normas que definen cómo realizar la actividad al mismo tiempo que buscan potenciar los beneficios sociales y económicos. La SEMARNAT se vincula con la actividad acuícola y pesquera de múltiples formas a través de los órganos administrativos desconcentrados y los organismos descentralizados. Por un lado, da seguimiento a los acuerdos internacionales en materia de conservación, realiza investigación científica para conocer el capital natural y conserva áreas naturales en conjunto con la sociedad. Por otro lado, gracias a los servicios nacionales garantiza la sanidad, la inocuidad y la calidad de los productos agroalimentarios, evalúa el impacto de proyectos de desarrollo, promueve las prácticas responsables y vigila, inspecciona y sanciona de acuerdo con la legislación ambiental (Tab. 2).

Tpo de Institución	Naturaleza jurídica	Nombre	Sigla	Misión	Funciones clave
Instituciones para el medio ambiente y los recursos naturales	Dependencia del Poder Ejecutivo Federal	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	SEMARNAT	Incorporar en los diferentes ámbitos de la sociedad y de la función pública, criterios e instrumentos que aseguren la óptima protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales del país, conformando así una política ambiental integral e incluyente que permita alcanzar el desarrollo sustentable.	Vinculación, administración, desarrollo sustentable y conservación
	Dependencia de SEMARNAT	Dirección General de Vida Silvestre	DGVS	Gestionar el aprovechamiento, manejo y conservación de especies bajo protección (NOM-059).	Aprovechamiento, manejo y conservación
	Órgano descentralizado de la Administración Pública Federal*	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	INECC	Generar e integrar conocimiento técnico y científico e incrementar el capital humano calificado para la formulación, la conducción y la evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica, crecimiento verde, así como la mitigación y la adaptación al cambio climático en el país.	Investigación científica, evaluación y diagnóstico
	Órgano administrativo desconcentrado de SEMARNAT	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas	CONANP	Conservar los ecosistemas más representativos de México y su biodiversidad, mediante las áreas naturales protegidas y otras modalidades de conservación, fomentando una cultura de la conservación y el desarrollo sustentable de las comunidades asentadas en su entorno, con criterios de inclusión y equidad.	Manejo, áreas naturales protegidas e integración
	Órgano administrativo desconcentrado de SEMARNAT	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente	PROFEPA	Procurar la justicia ambiental mediante la aplicación y el cumplimiento efectivo, eficiente, expedito y transparente de la legislación ambiental federal vigente a través de la atención a la denuncia popular y mediante acciones de inspección, verificación, vigilancia y uso de instrumentos voluntarios. Garantizar la protección de los recursos y el capital naturales privilegiando el enfoque preventivo sobre el correctivo, así como las acciones de participación social.	Aplicación de legislación ambiental, inspección, verificación y vigilancia
	Organismo público descentralizado**	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad	CONABIO	Promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.	Investigación científica, administración de información y seguimiento a acuerdos internacionales

Tabla 2. Instituciones de gobierno que administran, regulan y manejan los recursos naturales en México

*A finales de 2021, el ejecutivo presenta una propuesta para desaparecer el INECC que se oficializa por medio de la Secretaría de Medio Ambiente.

**El 11 de junio de 2020, la CONABIO dejó de ser una comisión intersecretarial para convertirse en organismo público descentralizado.

Fuente: Elaboración propia con datos de Gobierno de México, s. f.

Sin embargo, la vinculación y coordinación entre dependencias de gobierno sigue siendo baja. Es fundamental establecer una visión común que prevenga de manera articulada y con visión integral el impacto del desarrollo acuícola, tanto en los aspectos positivos como negativos para la sociedad y el ambiente.

La estructura institucional no solamente incluye a las instituciones del Poder Ejecutivo, sino también al Poder Legislativo, el cual tiene un papel estratégico en cuanto a las reformas legislativas del sector. Tanto la Cámara de Diputados como la Cámara de Senadores cuentan con una Comisión de Pesca y Acuicultura, siendo la de la Cámara de Senadores la más especializada.

Respecto al cumplimiento de las leyes ambientales, en asuntos de protección de la biodiversidad y los ecosistemas, la PROFEPA, órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT, es la autoridad facultada para hacer la inspección y la vigilancia y, en su caso, para sancionar directamente a los infractores. En abril de 2020, se ratificó el acuerdo firmado en 2019 que consolidó la participación de la Secretaría de Marina en las actividades de inspección y vigilancia en materia pesquera y acuícola, en coordinación con la PROFEPA, la SADER y la CONAPESCA (CONAPESCA, 2019a).

105

Históricamente, en México, la actividad acuícola ha sido administrada desde una diversidad de instituciones y principalmente como una actividad secundaria ligada a la pesca, lo cual constituye un error, ya que, por definición, son muy diferentes (Fig. 2). Es claro que, actualmente, la estructura institucional cubre las dimensiones sociales, ecológicas y económicas para la administración de la pesca y, en un segundo plano, de la acuicultura. En ambos casos, uno de los retos actuales es la vinculación y la coordinación de las diversas instituciones y leyes para atender las necesidades del sector y mitigar, mediante la planeación integral y participativa, los conflictos sociales y ecológicos que hoy se enfrentan.

1842 - 1917, Dirección General de Industria.
1917 - 1946, Secretaría de Agricultura y Fomento.
1946 - 1976, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG).
1976 - 1994, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).
1994 - 2000, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR).
2000 - 2018, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
2018 - actualidad: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

Figura 2. Denominaciones históricas de la actual SADER.
Fuente: CEDRSSA, 2018; Calzada y Rocatti, 2017.

106

En las últimas dos décadas, la acuicultura ha mostrado una tendencia positiva clara en cuanto a su contribución al valor, volumen y número de empleos generados en el país. Aun así, el sector está subdesarrollado y es evidente que este es el momento indicado para diseñar un crecimiento inteligente, que se minimice los impactos ambientales al mismo tiempo que maximice los impactos positivos en la sociedad y la economía.

Es claro que en la historia de la actividad acuícola no hay un plan de largo plazo, y entiende como uno de los resultados de los cambios constantes en la Administración Pública. Estos cambios han influido en el bajo desarrollo de la acuicultura, en la falta de cumplimiento de las regulaciones vigentes, que ocurre tanto en la pesca como en la acuicultura, y en favorecer a los productores con mayores recursos o a los que son capaces de sortear la complejidad burocrática (Esquivel-López *et al.*, 2019).

Cada periodo de gobierno ha impuesto su visión de la complejidad y ha propuesto alternativas sin la participación o el consenso de los actores en el sector acuícola. En general, las políticas se han estructurado de manera reactiva a las iniciativas y los compromisos

internacionales o como respuesta a los problemas creados por la falta de capacidades para atender las necesidades; las soluciones han sido parciales y fundamentadas en la escasa investigación científica que se puede realizar con los recursos asignados. La historia normativa de la pesca y la acuicultura resulta una muestra representativa del panorama descrito (Fig. 3). Después de 60 años de una política difusa para la acuicultura en México, la legislación de 2007 propuso fortalecer la integración de cadenas productivas e incorporar aspectos estratégicos como la seguridad alimentaria. El escenario es posible, pero sin un reglamento vigente parece poco probable de alcanzar. México se ha sumado a la carrera por la sustentabilidad en el manejo de la pesca y la acuicultura a través de los acuerdos internacionales y con el impulso de los nuevos modelos de mercado, la sociedad civil organizada y la academia. En las últimas décadas, la participación de organizaciones de la sociedad civil en conjunto con productores ha demostrado que es crucial integrar conocimientos y aprendizajes para sustentar los ejemplos con datos sólidos, incluyendo revisión por pares para incidir en modificaciones de las políticas públicas (Torre y Fernández, 2018; Espinosa-Romero *et al.*, 2014, Reyes-Bonilla, *et al.*, 2021a y Reyes-Bonilla, *et al.*, 2021b). En el sector acuícola hay una gran oportunidad de importar los modelos participativos implementados y de identificar grupos organizados de productores, sociedad civil y académicos para lograr, en colaboración con el gobierno, fortalecer el desarrollo de la acuicultura.

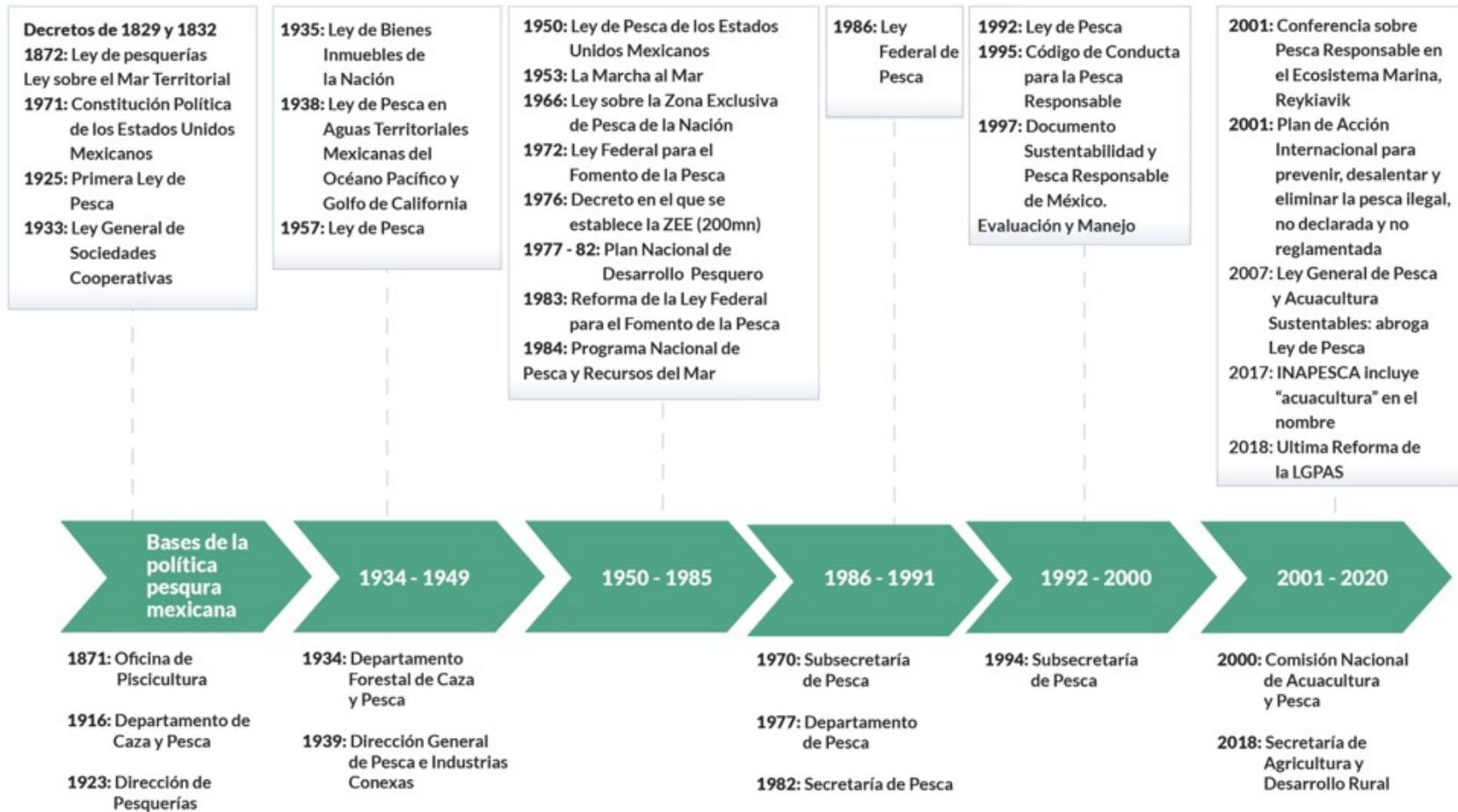


Figura 3. Instituciones y leyes promulgadas en la historia normativa de la pesca y la acuicultura mexicanas. Integración con datos de Cuellar-Lugo, et al., 2018 y Reyes-Delgadillo, et al., 2015.

2. Políticas y legislación actual

La legislación mexicana opera con una jerarquía normativa similar a la propuesta por Hans Kelsen, en la que se posiciona la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CP) a la cabeza y se reconocen los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. La relevancia de los acuerdos y tratados internacionales ha sido controversial, ya que de alguna forma podrían estar a la par o incluso por arriba de la CP. En México, este no es el caso, pues se sostiene la postura de que los acuerdos y tratados internacionales se incorporan en un solo orden jurídico, la cual exige que los tratados estén de acuerdo con la Constitución (Teutli Otero, 2018) (Fig. 4).

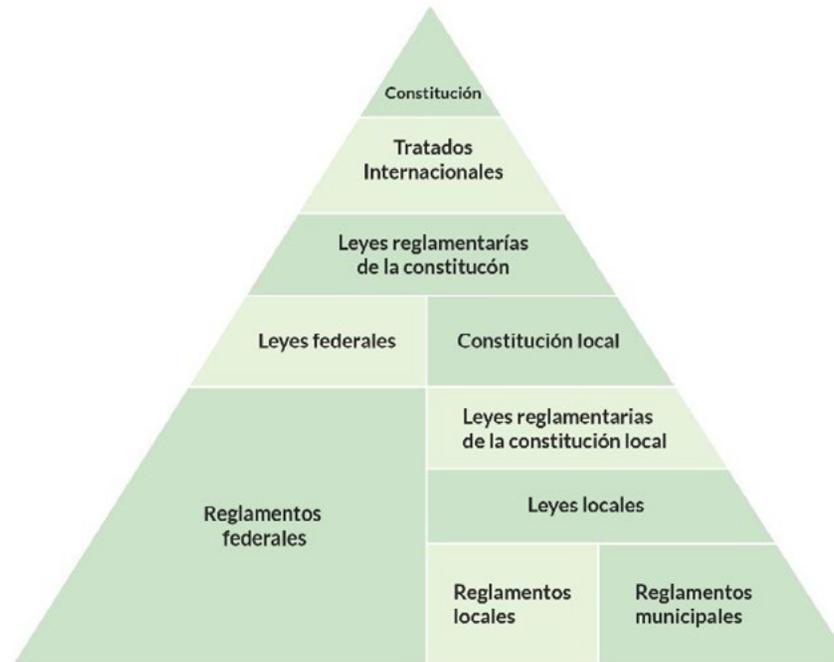


Figura 4. Jerarquía normativa en México.

Fuente: Adaptación de Suprema Corte de Justicia de la Nación, 2006; Ramos Tristán, 2016.

2.1 *Plan Nacional de Desarrollo y Programas Sectoriales*

Después de siete meses de que comenzó la actual administración, se publicó en el DOF el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (DOF, 2019), instrumento de política pública que se inserta en el proceso de planeación, programación y presupuesto que caracteriza el quehacer de la administración pública y cuyo contenido marca la agenda pública y presupuestal de los años siguientes.

El 25 de junio de 2020, se publicó el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural, cuyo contenido está alineado con el Plan Nacional de Desarrollo, en cumplimiento de los artículos 16, fracciones III, IV y V, 22 y 23 de la Ley de Planeación. Dichos artículos señalan que las dependencias de la Administración Pública Federal elaborarán los programas sectoriales, los cuales deberán tener congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo y considerar el ámbito territorial de las acciones. Conforme a dichas disposiciones, los programas sectoriales especifican los objetivos, las prioridades y las políticas que regirán las actividades del sector administrativo correspondiente durante el periodo constitucional de la gestión gubernamental en que se aprueben.

110

El Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural reitera el discurso presidencial, es decir, busca revertir los procesos generados por el modelo neoliberal de desarrollo, enfocándose en el sector económico más vulnerable, con justicia, honradez y honestidad. Los objetivos prioritarios son:

- Lograr la autosuficiencia alimentaria vía el aumento de la producción y la productividad agropecuaria y acuícola pesquera.
- Contribuir al bienestar de la población rural mediante la inclusión de los productores históricamente excluidos en las actividades productivas rurales y costeras, aprovechando el potencial de los territorios y los mercados locales.
- Incrementar las prácticas de producción sustentable en el sector agropecuario y acuícola-pesquero frente a los riesgos agroclimáticos

Los objetivos planteados son ambiciosos para el tiempo que resta del mandato. La coordinación entre dependencias de gobierno,

academia y sociedad en general será clave para alcanzar las metas propuestas, las cuales incluyen incrementar la eficiencia de los apoyos gubernamentales y optimizar el uso de recursos para la producción de alimentos (agrícolas, pecuarios, pesqueros y acuícolas). En lo referente específicamente a la acuicultura, se incorpora la meta de fomentar la cooperación social y la organización de grupos para producir alimentos; también se incluye, de manera específica, el impulso de la acuicultura y la maricultura para garantizar la seguridad alimentaria y dar fuente de trabajo digno a hombres y mujeres de comunidades rurales.

Al fin del año 2020 se publica el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura (PNPA) 2020-2024, con énfasis en el apoyo a la acuicultura. En este programa se reconoce la actividad como proyecto prioritario y se establecen metas claras para incrementar la producción acuícola y fortalecer al sector rural. Además, se establece una estrategia para fomentar la investigación, desarrollo e innovación tecnológica de ciencia aplicada que realice la academia y el sector productivo nacional en materia de cambio climático y su impacto en la acuicultura y la pesca, reconociendo al sector como uno de los más vulnerables ante la situación de pobreza y los impactos del cambio climático (D.O.F., 2020).

111

2.2 Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables

En la actualidad, la acuicultura se rige por la LGPAS, publicada en 2007, cuyos objetivos son promover, mejorar, ordenar y regular la actividad pesquera y acuícola a través de la SADER y la CONAPESCA. Los objetivos generales de esta ley pueden consultarse en el Anexo 2. A continuación, se exponen los objetivos particulares para la acuicultura (Tab. 3).

Es claro que esta ley tiene un enfoque productivo con la condición de que la actividad sea desarrollada de manera sustentable, lo cual implica la integración de componentes sociales y ambientales que hagan viable tanto la pesca como la acuicultura y que se vincule con la ley ambiental, es decir, la LGEEPA.

I. Fomentar el desarrollo de la acuicultura como una actividad productiva que permita la diversificación pesquera, para ofrecer opciones de empleo en el medio rural.

II. Incrementar la producción acuícola y la oferta de alimentos que mejoren la dieta de la población mexicana, así como generar divisas.

II Bis. Fortalecer el programa de acuicultura rural, que atienda la demanda alimentaria de las comunidades de escasos recursos, se mejore el ingreso de las mismas y se incentive el arraigo en la localidad. Fracción adicionada DOF 05-12-2014.

II Ter. Fortalecer los programas de capacitación de acuicultura rural, para los productos de localidades rurales. Fracción adicionada DOF 05-12-2014.

III. Promover la definición de sitios para su realización, su tecnificación y diversificación, orientándola para incrementar su eficiencia productiva reduciendo los impactos ambientales y buscando nuevas tecnologías que permitan ampliar el número de especies que se cultiven.

IV. Impulsar el desarrollo de las actividades acuícolas para revertir los efectos de sobreexplotación pesquera.

V. Aprovechar de manera responsable, integral y sustentable recursos acuícolas, para asegurar su producción óptima y su disponibilidad. Fracción reformada DOF 05-12-2014.

VI. Fomentar y promover la calidad y la diversidad de los recursos acuícolas. Fracción reformada DOF 05-12-2014.

VII. Fomentar la transferencia y uso de tecnología en los procesos de producción acuícola en poblaciones rurales y de escasos recursos.

2.3 *Derechos de acceso: títulos y concesiones acuícolas*

Para realizar de manera formal la actividad acuícola se debe contar con:

- I. El Registro Federal de Contribuyentes, a fin de garantizar el cumplimiento del pago de impuestos (Rodríguez-Mejía, 2003).
- II. El RNPA, para asegurar la inscripción y la actualización de manera obligatoria de la información relacionada con la actividad acuícola.
- III. La concesión o el permiso emitidos por la Comisión Nacional del Agua, para la explotación, el uso o el aprovechamiento de aguas nacionales, así como las descargas de aguas residuales.
- IV. El manifiesto o la exención de impacto ambiental, para probar que la SEMARNAT evaluó y estableció las condiciones para la construcción y la operación de las granjas acuícolas.

A continuación, se especifican los derechos de acceso y uso para la acuicultura y se muestra la distribución de concesiones y permisos otorgados desde 2001 hasta la fecha (Fig. 5).



Figura 5. Distribución nacional de concesiones y permisos acuícolas (histórico y vigente) en México. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

2.3.1 Concesión acuícola

Puesto que la acuicultura consiste en el aprovechamiento de recursos naturales propiedad de la Nación, su realización se hace a través de una concesión que otorga la SADER. Para llevar a cabo actividades acuícolas comerciales, se deben cumplir los requisitos formales previstos en la LGPAS, y la autoridad debe tomar en cuenta condiciones tales como la disponibilidad y la preservación del recurso de que se trate, vinculando lo que se expresa en la Carta Nacional Acuícola y el diagnóstico previo del INAPESCA. El título que se obtenga tiene una duración mínima de cinco años y máxima de 50 años, prorrogables por un plazo igual. La prórroga está sujeta a la presentación de un dictamen cada cinco años ante el INAPESCA. Una de las causales de revocación del título de concesión es la afectación al ecosistema o que se ponga en riesgo inminente, con base en un dictamen emitido por la autoridad.

2.3.2 Permiso

Las actividades de acuicultura comercial, de fomento y didáctica, así como la recolección de repobladores del medio natural y la introducción y la repoblación de especies en cuerpos de agua de jurisdicción federal requieren la obtención de un permiso. La cantidad de la inversión es la que determina si para la acuicultura comercial se necesita un permiso o una concesión; en caso de ser poca la cuantía, se requiere el permiso y, en consecuencia, se exime de la realización de estudios técnicos y económicos (artículo 42 de la LGPAS). Los permisos tendrán una duración de hasta cinco años; la afectación al ecosistema es causa de revocación.

2.3.3 Unidades de Manejo Acuícola y Unidades Económicas

Se integran con las áreas comprendidas en una zona delimitada, en la que se establece un conjunto de unidades de producción con una infraestructura básica y las instalaciones necesarias para su operación y funcionamiento compartido, operadas de forma común. Cada unidad de manejo deberá contar con un plan de manejo, en el que se basarán las actividades productivas planteadas, considerando la capacidad de carga de los ecosistemas y acciones de protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Las unidades

económicas corresponden a las instalaciones, como granjas, procesadoras y laboratorios, dedicadas a la actividad acuícola. De acuerdo con el censo 2020 del INEGI, existen más de 3,000 instalaciones (Fig. 6).

2.3.4 Normas Oficiales Mexicanas.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son especificaciones técnicas con fines regulatorios y de carácter obligatorio, expedidas por las dependencias de gobierno competentes, para prevenir riesgos relacionados con el aprovechamiento, consumo, comercialización, sanidad, calidad e inocuidad. Las NOM deben ser revisadas cada cinco años a partir de su emisión. La revisión debe realizarse un año antes de la fecha de vencimiento, proceso que permitirá definir si corresponde la modificación, la cancelación o la ratificación. Las normas que actualmente regulan la actividad acuícola están consideradas dentro de las normas de pesca; solo la NOM-074-SAG/PESC-2014 se refiere específicamente a la producción acuícola, en particular para el uso de sistemas de exclusión de fauna acuática en los cultivos de camarón. Otras normas, que pueden o no incluir actividades relacionadas con el cultivo, son las que regulan las capturas en lagos, presas y embalses. Se sabe que la intervención humana para recuperar las poblaciones de tilapia, lobina, bagre y trucha ha sido una estrategia impulsada por el gobierno para mantener la productividad; sin embargo, no se considera acuicultura y las producciones se reportan ante la FAO como una actividad de pesca. En otra sección, se encuentran las normas ligadas a temas de salud (Secretaría de Salud) y protección al ambiente (SEMARNAT) para regular los procedimientos de los productos acuícolas y pesqueros, los impactos de la actividad en ecosistemas sensibles (manglares) y el manejo de aguas residuales (Anexo 3). Es notoria la necesidad de integrar normas con recomendaciones específicas a la actividad acuícola como sistemas de trazabilidad, puntos críticos de control y certificación de la calidad de los productos.



Figura 7. Unidades económicas censadas. En naranja se muestran las instalaciones para el cultivo de peces, anfibios, reptiles y plantas; en color verde se muestran las instalaciones para el cultivo de camarón. Fuente: INEGI-DENUE 2020

2.3.5 Vinculación con otras leyes y reglamentos

La actividad acuícola se vincula con el conjunto de leyes de desarrollo rural, incluyendo la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Agraria y la Ley de Energía para el Campo, entre otras (Fig. 8). Destaca la importancia de la Ley de Aguas Nacionales, que históricamente posiciona a la acuicultura en un orden de prelación bajo para el uso de agua (octavo nivel de trece); por lo tanto, no favorece la concesión, el uso y la explotación del recurso básico para el desarrollo acuícola. La Ley Agraria es de gran importancia, ya que el mayor potencial de las

118

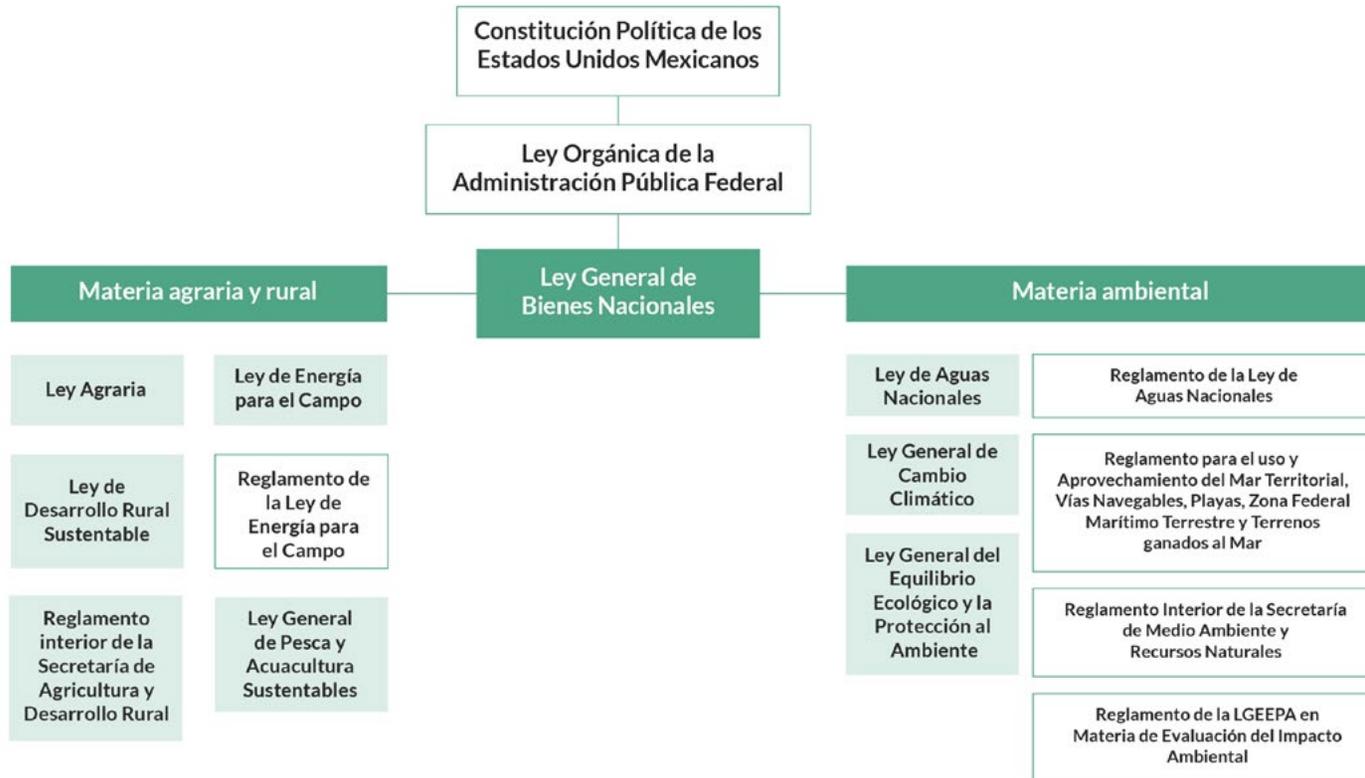


Figura 8. Estructura general de las leyes y los reglamentos que conciben la actividad acuícola.

Fuente: Elaboración propia con datos de Reyes Delgado et al., 2015.

actividades acuícolas se encuentra en terrenos ejidales, por lo que resulta fundamental crear mecanismos que permitan la utilización de territorio con potencial acuícola, otorgando incentivos adecuados para que grupos ejidales puedan establecer unidades de producción y/o establecer acuerdos que den garantías a los inversionistas y beneficios sociales y económicos a los ejidatarios en el largo plazo. La Ley de Energía para el Campo es relevante, ya que se requiere que el precio de la energía para la actividad acuícola sea homologado con el de las actividades agrícolas y ganaderas, medida que fomentaría la competitividad y permitiría el desarrollo.

En resumen, nuestro país cuenta con una estructura de leyes que atienden de múltiples formas el desarrollo rural y velan por la salud de los ecosistemas. Sin embargo, los resultados observados en cuanto a pérdida de biodiversidad e impactos ambientales relacionados con la pesca y la acuicultura indican que la demanda y las necesidades de ambos sectores superan la coordinación y la aplicación de la ley por parte de las instituciones responsables.

3. Alineación de la actividad acuícola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los ODS son parte de una ambiciosa agenda que convocó a los países de las Naciones Unidas a la acción, para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, se revisaron y aprobaron 17

● Máxima relevancia ● Media relevancia ● Baja contribución

Número	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Acuicultura
1	Fin de la pobreza	●
2	Hambre cero	●
3	Salud y bienestar	●
4	Educación de calidad	●
5	Igualdad de género	●
6	Agua limpia y saneamiento	●
7	Energía asequible y no contaminante	●
8	Trabajo decente y crecimiento económico	●
9	Industria, innovación e infraestructura	●
10	Reducción de las desigualdades	●
11	Ciudades y comunidades sostenibles	●
12	Producción y consumo responsables	●
13	Acción por el clima	●
14	Vida submarina	●
15	Vida de ecosistemas terrestres	●
16	Paz, justicia e instituciones sólidas	●
17	Alianzas para lograr los objetivos	●

Tabla 4. Tabla relacional de los ODS con la actividad acuícola, que señala la relevancia o nivel de contribución.
Fuente: Adaptación de FAO, 2017.

objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con 132 metas y 232 indicadores para dar seguimiento al avance y alcanzar, en 15 años, los objetivos fijados (Griggs *et al.*, 2013). El avance para lograr estos objetivos no ha sido tan rápido ni en la escala que se esperaba. Un estudio reciente mostró que, usando nueve indicadores para 186 países, solo 43% ya habían alcanzado las metas en 2015, y que si se proyectan esas metas, en 2030 se alcanzarían 53% (Moyer y Hedden, 2020).

La acuicultura presenta varios retos en el contexto de estos objetivos, tal y como se observa en el análisis realizado por la FAO, el cual identifica que la actividad se puede relacionar con los 17 objetivos, aunque cuatro de ellos se asocian de manera directa (Tab. 4).

3.1 Hambre cero

A nivel mundial, la acuicultura aporta más de 40% del volumen total de pescados y mariscos (82 millones de toneladas); al agregar la producción de algas (32.4 millones de toneladas), plantas y especies ornamentales (26,000 toneladas), supera 50% del volumen mundial (FAO, 2020). En México, la proporción es de menos de 20%, en promedio, con 230,000 toneladas anuales aproximadamente (CONAPESCA, 2017). La actividad acuícola no solo ayuda a alimentar a las poblaciones locales, sino que también satisface las demandas mundiales de pescados y mariscos.

3.2 Trabajo decente y crecimiento económico

La acuicultura da empleo a 20.5 millones de hombres (~80%) y mujeres (~20%) en el mundo (Fig. 9) y representa el sector económico con mayor tasa de crecimiento anual a nivel global (FAO, 2020). En México, la acuicultura da empleo a más de cincuenta mil personas, de las cuales menos de 8% son mujeres. Según las proyecciones, se espera que, en 2030, México produzca alrededor de 365,000 toneladas derivadas de la acuicultura. En cuanto a trabajo decente, las empresas acuícolas enfrentan un reto menor al del sector pesquero en cuanto a la informalidad, aunque sí existen condiciones de abuso de derechos humanos, incluyendo jornadas laborales extremas y servicios de salud incongruentes con el nivel de riesgo.

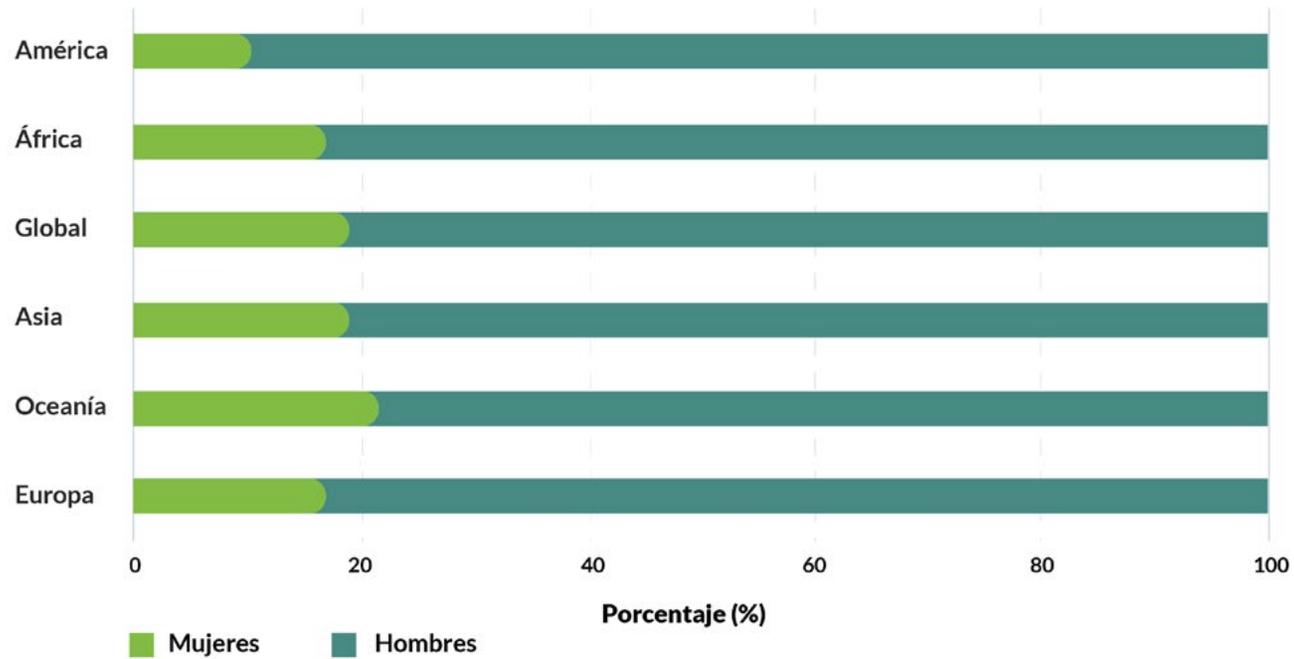


Figura 9. Porcentaje de hombres y mujeres involucrados en la acuicultura.
 Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020.

3.3 Producción y consumo responsables

Se han registrado avances significativos basados en el desarrollo de tecnologías para reducir los impactos que la acuicultura tiene en el medio ambiente. Por ejemplo, para el manejo de agua, los sistemas de recirculación de agua y planes de manejo para su tratamiento y reutilización, el uso eficiente de la harina de pescado en las últimas etapas de engorda, el abastecimiento responsable de peces juveniles, el control de escapes, el cultivo de especies nativas. Por otro lado, en los sistemas cerrados se tiene suficiente control y esto permite conocer el desarrollo de cada organismo o lote durante sus diferentes etapas, logrando una trazabilidad desde el cultivo hasta

el procesamiento y el destino en el mercado (Freitas *et al.*, 2020). La acuicultura ha sido proyectada como la opción de producción de proteína que impulsará la denominada “revolución azul” a nivel mundial (Garlock *et al.*, 2020).

3.4 Vida submarina

Los efectos del cambio climático y la presión pesquera han puesto a las poblaciones de peces e invertebrados comerciales en una situación compleja: aproximadamente 34% de las especies pesqueras del mundo se encuentran en estado de deterioro o sobreexplotadas (FAO, 2020).

La acuicultura no representa una amenaza para las especies no objetivo (como las tortugas marinas, los delfines y las aves marinas); y por definición es una actividad que depende de la ciencia para su desarrollo. Bien manejada y controlada, puede contribuir de manera significativa a recuperar poblaciones de especies, restaurar ecosistemas y disminuir la presión sobre los recursos pesqueros, como estudios recientes (Froehlich *et al.*, 2017; Patterson, 2019; Troell *et al.*, 2014).

4. Vacíos y necesidades de fortalecimiento en la legislación

La LGPAS, en su artículo 4, reconoce a la acuicultura como “el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, pre-engorda y engorda de especies de la fauna y flora realizadas en instalaciones ubicadas en aguas dulces, marinas o salobres, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamental o recreativa”. Esta definición ha generado controversia

Acuicultura comercial	Es la que se realiza con el propósito de obtener beneficios económicos.
Acuicultura de fomento	Es la que tiene como propósito el estudio, la investigación científica y la experimentación en cuerpos de agua de jurisdicción federal, orientada al desarrollo de biotecnologías o a la incorporación de algún tipo de innovación tecnológica, así como la adopción o transferencia de tecnología, en alguna etapa del cultivo de especies de la flora y fauna, cuyo medio de vida total o parcial sea el agua.
Acuicultura didáctica	Es la que se realiza con fines de capacitación y enseñanza de las personas que en cualquier forma intervengan en la acuicultura en cuerpos de agua de jurisdicción federal.
Acuicultura industrial	Sistema de producción de organismos acuáticos a gran escala, con alto nivel de desarrollo empresarial y tecnológico y gran inversión de capital de origen público o privado.
Acuicultura rural	Sistema de producción de organismos acuáticos a pequeña escala, realizada de forma familiar o en pequeños grupos rurales, llevada a cabo en cultivos extensivos o semi-intensivos, para el autoconsumo o venta parcial de los excedentes de la cosecha.

Tabla 5. Modalidades de la acuicultura descritas en la LGPAS
Fuente: DOF, 2007.

.en cuanto a la certeza jurídica de las instalaciones en tierra, ya que al limitar la acuicultura a las actividades (de cultivo) realizadas “en instalaciones ubicadas en aguas dulces, marinas o salobres”, la interpretación excluye a los tanques, las tinas, y la infraestructura acuícola ubicados en tierra. Aunque se asume que no es intencional, es clara la necesidad de robustecer la definición.

En la misma disposición normativa, se distinguen cinco modalidades de las actividades acuícolas (Tab. 5).

En agosto de 2019, mediante un comunicado de prensa (CONAPESCA, 2019b), se anunció que se estaba trabajando en el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura, el cual fue publicado en diciembre de 2020. Los objetivos prioritarios son:

1. Contribuir como actividad de pesca y acuicultura a la seguridad alimentaria prioritariamente a la población ubicada en zonas rurales.
2. Mejorar el ingreso y reducir la pobreza de comunidades pesqueras y acuícolas
3. Garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas de interés comercial.

125

Adicionalmente, dentro del marco del programa nacional se implementarán cuatro proyectos prioritarios en el que destaca:

- Impulso a la acuicultura y la autosuficiencia alimentaria a través de unidades de logística acuícola. Enfocando el esfuerzo en la producción de camarón y tilapia para fortalecer la cadena de suministro y comercialización.
- Programa estratégico de acuicultura. El cual tiene como objetivo incrementar la producción acuícola nacional un 20% en cinco años mediante la implementación de paquetes productivos.

El cumplimiento de estos objetivos resulta fundamental, ya que, de acuerdo con el artículo 17 de la LGPAS, las directrices para las

actividades acuícolas devienen del Programa Nacional de Pesca y Acuicultura, el cual también estará vinculado directamente a la política pesquera y acuícola que establezca cada programa nacional de desarrollo.

Si bien es cierto que, en los gobiernos anteriores, la acuicultura se concentró en promover el aumento de la producción acuícola nacional mediante el apoyo para la adquisición de insumos biológicos, asistencia, transferencia de tecnología y equipamiento, la actividad acuícola debe dirigirse a generar alimentación de manera sustentable.

La política nacional para el desarrollo de la acuicultura la concibe como una actividad productiva que permite, además de incrementar la producción, diversificar las opciones para la generación de empleos y divisas, involucrando elementos económicos en la visión pesquera y acuícola de México más allá de la soberanía alimentaria.

126 Como se ha descrito, el marco legal contiene múltiples instrumentos orientados a desarrollar de manera sustentable la acuicultura a través de la planeación. Sin embargo, es claro que no se ha realizado de manera que integre las necesidades sociales, priorice los diferentes usos del agua y del suelo y derive en un plan de largo plazo basado en un diseño espacial que permita la ubicación de granjas de manera estratégica. De este modo, el ordenamiento acuícola, la Carta Nacional Acuícola, los instrumentos de manejo y la administración (concesiones, permisos, sanidad, inocuidad, calidad y medidas sanitarias) operan de manera desconectada y atendiendo cada caso o grupo en particular.

La situación es similar al manejo monoespecífico y sin visión de ecosistema en las pesquerías del país. Atender esta falta de planeación integral debería ser prioridad de todo gobierno, considerando el crecimiento y la importancia de la acuicultura y las proyecciones a futuro de los efectos del cambio climático (Reyes-Bonilla, *et al.*, 2021a).

La LGPAS incluye buenas intenciones, plasmadas como principios o acciones de investigación, ordenamiento y promoción de una actividad sustentable, pero trece años después de su publicación aún no se promulga su reglamento, por lo que hoy en día se aplica el Reglamento de la Ley de Pesca, el cual data de 1999, mientras que dicha ley fue abrogada en 2007.

Un aspecto esencial para fomentar el desarrollo acuícola es proveer los instrumentos que den certidumbre a la producción (concesiones y permisos), pues es necesario dar certeza a las inversiones y al desarrollo de granjas acuícolas. Empero, depende en gran medida del entendimiento espacial sobre la distribución de los recursos a nivel nacional (agua, tierra, especies de cultivo), los conflictos de uso que existen, el conocimiento de la capacidad de carga de los ecosistemas y la toma de decisiones con base en el análisis de datos científicos, con el fin de diseñar un plan de inversión y crecimiento, potencializando las ventajas (tecnología y disponibilidad de recursos) y minimizando los riesgos (impactos relacionados con el cambio climático, traslape de derechos, impacto ambiental). Estos elementos, a pesar de que se encuentran en la ley, no se aplican y resultan críticos.

En cuanto a la vinculación con otras leyes, es relevante priorizar el uso de agua para la acuicultura en la Ley de Aguas Nacionales. La actividad acuícola no consume agua, sino que la reutiliza. En los sistemas controlados para el cultivo, el agua que se consume es por evaporación, ya que los organismos cultivados no la consumen. Por lo tanto, el manejo de aguas residuales y su tratamiento representan un área de oportunidad para reforzar las buenas prácticas y encontrar otros usos, como el tratamiento de agua y su utilización en sistemas integrados con la agricultura, opción que ya comienza a posicionarse en el país y que significa una alternativa a futuro (Fedoroff et al., 2010). Aun cuando el sector acuícola demanda que cambie el orden de prelación del uso de agua para la acuicultura, esto debe analizarse profundamente en función del estado de las cuencas, balance hídrico y proyecciones futuras, ya que solo cambiar el uso podría contribuir a un problema social y ambiental más grave en las entidades federativas que enfrentan estrés hídrico.

Actualmente, se cuenta con tecnologías para mejorar la calidad del agua en la acuicultura mediante el equilibrio de carbono y nitrógeno en el sistema (biofloc), un método sustentable para controlar la calidad del agua (Crab et al., 2012). Otra manera para minimizar el consumo de agua y controlar las condiciones de cultivo y el flujo de residuos es el empleo de sistemas acuícolas de recirculación (Martins et al., 2010). En México, ya existen instalaciones de vanguardia en la acuicultura, que incluyen el cultivo multitrófico, los sistemas de recirculación y la reutilización de agua para la producción de vegetales (conocida como acuaponía) (Bauer et al., 2019; Gómez-Merino

et al., 2015). Muchos de estos avances no son considerados en la estructura de normas y legislación vigente. Es necesario revisar y actualizar las normas vigentes considerando los retos a futuro, incluyendo cambio climático, uso de suelo y control de impactos. Además, las normas enfocadas en la operación acuícola son insuficientes. Por último, en múltiples estudios se ha propuesto que la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal debería modificarse para separar a la pesca y la acuicultura del sector agropecuario y del desarrollo rural. Es una medida que implicaría un gran costo, por lo que necesita un análisis más profundo. Por ende, sería relevante evaluar el costo de crear una nueva dependencia o de habilitar a la CONAPESCA como una instancia con personalidad jurídica propia y dependencia directa del Ejecutivo Federal (Reyes Delgadillo *et al.*, 2015; Consejo Mexicano para el Desarrollo Rural Sustentable, 2019; Aguilar Ramírez, 2019).

5. Oportunidades para desarrollar una estrategia

La acuicultura ha sido históricamente una actividad con poca atención por parte de las instituciones de gobierno, pero en las últimas dos décadas ha ganado importancia por su contribución al valor y el volumen de la producción nacional de pescados y mariscos.

En los últimos dos periodos de gobierno, ha existido una voluntad clara de impulsar al sector, por lo que las condiciones son favorables. Sin embargo, existe un rezago histórico en la planeación y la estructuración normativa de la actividad; en parte, ha sido producto de la inestabilidad institucional, la complejidad del marco normativo en el que opera la acuicultura y la falta de inversión en el desarrollo científico y tecnológico en la materia.

Diferentes análisis han concluido que es necesario integrar una visión integral en la planeación que incluya los tres órdenes de gobierno y considere la planeación espacial explícita de los diferentes recursos para tener un desarrollo ordenado, que optimice la disponibilidad de agua, territorio y especies con potencial de cultivo.

En 2016, se conformó un grupo de trabajo llamado Impacto Colectivo por la Pesca y la Acuicultura Mexicanas, que reunió a más de treinta organizaciones, con el propósito de promover un espacio para la generación de propuestas y acciones consensuadas entre productores pesqueros y acuícolas, comunidades pesqueras, sector privado, sector público, consumidores y sociedad civil organizada, para mejorar la competitividad, la sustentabilidad y la equidad de la pesca y la acuicultura en el país. Esta red representa una gran oportunidad para incidir en el fortalecimiento del marco jurídico de la acuicultura, ya que ha logrado un buen avance en sus propuestas y en integrar organizaciones de la sociedad civil, productores acuícolas e investigadores.

Impacto Colectivo por la Pesca y la Acuicultura Mexicanas presentó una propuesta que incluye componentes relacionados con la actividad acuícola, en la que la SADER reconoció temas de interés comunes como:

- Publicar el reglamento de la LGPAS.

- Actualizar y publicar anualmente la Carta Nacional Pesquera y la Carta Nacional Acuícola.
- Impulsar la regularización del esfuerzo acuícola mediante la elaboración y la publicación de ordenamientos y planes de manejo acuícolas de manera participativa y con un enfoque sistémico.
- Garantizar la participación efectiva del sector en consejos y comités de consulta para la gestión.
- Asegurar la coordinación intersecretarial para la atención y el bienestar social de comunidades.
- Transparentar los incentivos y los subsidios a la pesca y la acuicultura.
- Asegurar la coordinación con la SEMARNAT.

130 Finalmente, en materia de cambio climático y sus efectos en el sector acuícola, se presentan oportunidades importantes para fortalecer los acuerdos internacionales a los que México se ha adherido. En cuanto a las leyes nacionales, es clave impulsar la vinculación y armonización de las leyes estatales y municipales para maximizar la operación de los programas y proyectos destinados para atender la problemática. En una revisión de estos programas, se observa que más de la mitad de las entidades federativas presentan rezagos importantes en cuánto a los instrumentos normativos que vinculan al sector acuícola y pesquero con la Ley General de Cambio climático y el Sistema Nacional de Cambio Climático (Vázquez-Vera y Aranceta-Garza, 2021).

6. Conclusiones:

La acuacultura mexicana enfrenta muchos retos que pueden atenderse mediante la creación y el fortalecimiento de las políticas públicas.

En materia normativa, resultan críticos para el desarrollo de la actividad acuícola los siguientes aspectos:

- La revisión y la actualización de la LGPAS, a fin de contar con una definición de acuacultura que incluya no solo las operaciones actuales, sino las que están desarrollándose con fines de optimizar recursos y restaurar especies.
- La elaboración del reglamento, que, como indica el artículo sexto transitorio del decreto promulgatorio de la LGPAS, debió expedirse dentro de los seis meses siguientes a la entrada en vigor de la propia LGPAS, lo cual no ha sucedido a pesar de que ya han transcurrido catorce años. No contar con un reglamento vigente impide que dicha ley cumpla cabalmente el objeto para el que fue creada, comprometiendo la sustentabilidad de los recursos marinos y costeros.
- La planeación estratégica, participativa y basada en ciencia para la ubicación de las unidades de producción, que incluya un plan de comercialización y considere los efectos potenciales del cambio climático.
- La revisión y la actualización de la normatividad vigente. En el caso de las normas de sanidad e inocuidad no se han realizado los ajustes necesarios para atender las necesidades y los retos actuales, incluyendo el efecto del virus SARS-CoV-2.
- La vinculación y la revisión de las leyes en materia ambiental y de desarrollo rural (Ley Agraria, Ley de Energía para el Campo) para impulsar la acuacultura, dar certeza jurídica a los inversionistas sobre el uso de suelo y homologar el costo de la energía en el sector productivo.
- El fortalecimiento de capacidades en las instituciones y el sector productivo para impulsar un desarrollo controlado e incentivar la organización del sector acuícola y su participación en foros para incidir en la política pública con una visión de equidad de género.

- La armonización y vinculación de leyes estatales y municipales en materia de cambio climático representa una oportunidad importante para atender los problemas que afectan al sector acuícola y promover un desarrollo acuícola exitoso.

7. Referencias

- Aguilar Ramírez, D. (2019). Lineamientos de política pública para el desarrollo y crecimiento de la pesca y acuicultura en México y bienestar del sector. Sindicato Democrático de Trabajadores de Pesca y Acuicultura de la SADER.
- Bauer J., Vázquez-Vera, L., Espinoza-Montes, A., Lorda, J., Beas-Luna, R., Vela-Gallo, C. y Reyes-Bonilla, H. (2019). Multi-trophic aquaculture of the green abalone *Haliotis fulgens* and the warty sea cucumber *Apostichopus parvimensis* enhances production. *Journal of Shellfish Research*, 38(2), 455-461. <https://doi.org/10.2983/035.038.0229>.
- Calzada Rovirosa, J. E. y Rocatti Velázquez, M. (2017). Memoria y prospectiva de las secretarías de estado: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, Secretaría de Cultura, INEHRM, SAGARPA.
- CEDRSSA (2018). La acuicultura en México y el mundo. México, LXIII Legislatura, Cámara de Diputados. Consultado en <http://www.cedrssa.gob.mx/descargas.htm>.
- CONAPESCA (2017). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- (2019a). Fortalecen acciones SADER y SEMAR en beneficio del sistema productivo pesquero y acuícola. [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/fortalecen-acciones-sader-y-semar-en-beneficio-del-sistema-productivo-pesquero-y-acuicola-190505>.
- (2019b). Prepara Sader Plan Nacional de Acuicultura Sustentable 2019-2024. [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/prepara-sader-plan-nacional-de-acuicultura-sustentable-2019-2024-214752?idiom=es>.
- (2020). Desarrollará Agricultura proyectos acuícolas en las zonas áridas y semiáridas del país. [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/conapesca/es/articulos/desarrollara-agricultura-proyectos-acuicolas-en-las-zonas-aridas-y-semiaridas-del-pais-234312?idiom=es>.

- CONAPESCA-Acuasesor (s. f.). Consultado el 10 de mayo de 2020, en https://acuasesor.conapesca.gob.mx/transparencia_permisos.php
- Consejo Mexicano para el Desarrollo Rural Sustentable (2019). Propuestas de políticas públicas para el desarrollo rural sustentable. Gobierno de México.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. y Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, Vol. 356-357, 351-356. ISSN 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.
- DOF (1976). Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Última reforma publicada el 11 de enero de 2021.
- (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada el 18 de enero de 2021.
- (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas. Última reforma publicada el 21 de mayo de 2014.
- 134 – (2007). Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables. Artículos 17, fracciones I, II, III, IV y VII; 19; 20, fracción VIII; 28, fracciones I y VII; 33, fracción III; 44; 59, fracción I; 78, fracción IV; 89; 104. Última reforma publicada el 24 de abril de 2018.
- (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado el 12 de julio de 2019.
- (2020). Programa Nacional de Pesca y Acuacultura 2020-2024. Publicado el 30 de diciembre de 2020.
- Espinosa-Romero, M. J., Rodríguez, L. F., Weaver, A. H., Villanueva-Aznar, C. y Torre, J. (2014). The Changing Role of NGOs in Mexican Small-Scale Fisheries: From Environmental Conservation to Multi-Scale Governance. *Marine Policy*, vol. 50, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.07.005>.
- Esquivel-López, G. y Ruelas-Monjardín, L. C. (2019). Propuestas para impulsar el desarrollo sustentable en la acuicultura mexicana. Un análisis a través de los paradigmas de manejo ambiental. Ciudad de México, CEDRSSA, LXIV Legislatura, Cámara de Diputados.
- FAO (2017). The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: The challenge for aquaculture development and management. Elaborado por John Hambrey. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1141. Roma, FAO.

- (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Fedoroff, N. V., Battisti, D. S., Beachy, R. N., Cooper, P. J. M., Fischhoff, D. A., Hodges, C. N., Knauf, V. C., Lobell, D., Mazur, B. J., Molden, D., Reynolds, M. P., Ronald, P. C., Rosegrant, M. W., Sanchez, P. A., Vonshak, A. y Zhu, J.-K. (2010). Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science*, 327(5967), 833-834.
- Freitas, J., Vaz-Pires, P. y Câmara, J. S. (2020). From aquaculture production to consumption: Freshness, safety, traceability and authentication, the four pillars of quality, *Aquaculture*, 518, 7348-57. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734857>.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R. y Halpern, B. S. (2017). Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture's role in resource management, *Biological Conservation*, 215, 162-168. ISSN 0006-3207. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.012>.
- 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, DOI: 10.1080/23308249.2019.1678111.
- Gobierno de México (s. f.). Recuperado el 10 de mayo de 2020, de www.gob.mx.
- Gómez-Merino, F. C., Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Páez, R., Salazar-Marcial, E. y Salazar-Ortiz, J. (2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Revista Agro Productividad*, año 8, vol. 8.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., W., Glaser, G., Kanie, N. y Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305-307. <https://doi.org/10.1038/495305a>.
- INEGI (2020). Censo nacional. Red nacional de metadatos. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/632>
- INEGI-DENUE (2020). Directorio estadístico nacional de unidades económicas. México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O. , Blancheton, J. P., Roque d'Orbcastel, E. y Verreth J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability, *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83-93. ISSN 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.
- Moyer, J. D. y Hedden, S. (2020). Are we on the right path to achieve the sustainable development goals? *World Development*, 127, 1047-1049. ISSN: 0305 50X. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104749>.
- Patterson, J. T. (2019). The growing role of aquaculture in ecosystem restoration. *Restor Ecol*, 27: 938-941. DOI: 10.1111/rec.13002.
- Ramos Tristán, F. (2016). La jerarquía convencional en los tratados internacionales en México. *Ex lege*, año 8, no. 26. Consultado en http://bajio.delasalle.edu.mx/delasalle/contenidos/revistas/derecho2013/numero_27/m_lajerarquia.php
- Reyes-Bonilla, H., Fueyo-MacDonald, L., Abas, M., Vázquez-Vera, L., Aranceta Garza, F., Cruz Piñón, G., Marín Monroy, E. A., Martínez Castañeda, C., Morzaria Luna, H. N., Ojeda Ruiz de la Peña, M. Á., Petatán Ramírez, D., Vergara Solana, F. J., Calderón Alvarado, J. M., Anaya Reyna, G., Nah Orozco M. y Portilla, J. (2021)a. Cambio climático en México: Recomendaciones de política pública para la adaptación y resiliencia del sector pesquero y acuícola. Environmental Defense Fund. México. 78 p. <https://www.icpmx.org/uploads/1/1/8/1/118130934/cambioclimaticoenmexico.pdf>
- Reyes-Bonilla, H., Morzaria-Luna, H., Cruz-Piñón, G., Petatán Ramírez, D., Vázquez-Vera, L., Torres-Origel, J.F. y Dorantes, J.M. (2021) b. Reporte Interno: Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México. Banco Internacional de Desarrollo, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Ciudad de México. México.
- Reyes Delgadillo, A., Gámez Flores, H. y Reyes Lomelín, P. (2015). Marco jurídico normativo para el desarrollo de la acuicultura en México. LXII Legislatura, Cámara de Diputados, Congreso de la Unión. ISBN: 978-607-8501-29-8.
- Rodríguez-Mejía, G. (2003). El fisco. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 106, 25-114. México.

Suprema Corte de Justicia de la Nación (2006). El sistema jurídico mexicano. México, Poder Judicial Federal.

Teutli Otero, G. (2018). El artículo 133 y la jerarquía jurídica en México. En Curso de actualización de profesores de Derecho Internacional Privado. Seminario de Derecho Internacional, Facultad de Derecho, UNAM. ISBN: 9786070207945.

Torre, J. y Fernández Rivera-Melo, F. (2018). Acción sin daño: Un análisis de las intervenciones de una organización de la sociedad civil ambientalista en comunidades costeras del Noroeste de México. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 39(153), 69-97. <https://dx.doi.org/10.24901/rehs.v39i153.391>.

Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C., Arrow, K. J., Barrett, S., Crépin, A. S., Ehrlich, P. R., Gren, A., Kautsky, N., Levin, S. A., Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B. H., Xepapadeas, T. y Zeeuw, A. de (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(37), 13257-13263. <https://doi.org/10.1073/pnas.1404067111>.

Vázquez-Vera, L. y Aranceta-Garza, F. (2021) Revisión de los programas y proyectos que le dan marco a la gobernanza climática y acuícola-pesquera del país. https://www.icpmx.org/uploads/1/1/8/1/118130934/lt1-2a_revisio%CC%81n_programas_proyectos_cc.pdf
EDF-ICPMX. México.

Anexo 1. Registro histórico de especies que han sido concesionadas para la acuicultura comercial y/o permitidas bajo el esquema de fomento.

No. ID	Permiso para la acuicultura de fomento	Concesión de acuicultura comercial
1	Anadara grandis	Argopecten irradians concentricus
2	Anadara labiosa	Artemia salina
3	Anadara multicostata	Atractoscion nobilis
4	Anadara spp.	Atractoscion spp.
5	Anadara tuberculosa	Atrina maura
6	Apostichopus californicus	Centropomus undecimalis
7	Argopecten circularis	Chione californiensis
8	Argopecten irradians concentricus	Chione cortezi
9	Argopecten ventricosus	Chione gnidia
10	Atractoscion nobilis	Chione fluctifraga
11	Atrina maura	Chione spp.
12	Atrina tuberculosa	Chione succinta
13	Centropomus medius	Chione tumens
14	Centropomus nigrescens	Chione undatella
15	Centropomus parallelus	Chionista fluctifraga
16	Centropomus undecimalis	Coryphaena equiselis
17	Centropomus viridis	Coryphaena hippurus
18	Chaetodipterus zonatus	Crassostrea corteziensis
19	Chione californiensis	Crassostrea gigas
20	Chione gnidia	Crassostrea iridescens
21	Chione spp.	Crassostrea sikamea
22	Chione undatella	Crassostrea virginica
23	Chionista fluctifraga	Cynoscion parvipinnis
24	Chirostoma sphyraena	Haliotis corrugata
25	Cichlasoma urophthalma	Haliotis fulgens
26	Crassostrea corteziensis	Ictalurus furcatus
27	Crassostrea gigas	Ictalurus punctatus
28	Crassostrea iridescens	Katsuwonus pelamis

29	<i>Crassostrea sikamea</i>	<i>Litopenaeus stylirostris</i>
30	<i>Crassostrea</i> spp.	<i>Litopenaeus vannamei</i>
31	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Lutjanus</i> spp.
32	<i>Cynoscion othonopterus</i>	<i>Menidia estor</i>
33	<i>Cynoscion parvipinnis</i>	<i>Morone saxatilis</i>
34	<i>Cyprinus carpio communis</i>	<i>Morone</i> spp.
35	<i>Donax</i> spp.	<i>Mytilus californianus</i>
36	<i>Dosinia ponderosa</i>	<i>Mytilus edulis</i>
37	<i>Eisenia arborea</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
38	<i>Epinephelus analogus</i>	<i>Oreochromis mossambicus</i>
39	<i>Euvola vogdesi</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>
40	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>oreochromis aureus</i>
41	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	<i>Oreochromis</i> spp.
42	<i>Glycymeris</i> spp.	<i>Ostrea edulis</i>
43	<i>Gracilaria pacifica</i>	<i>Paralichthys californicus</i>
44	<i>Haliotis fulgens</i>	<i>Pinctada mazatlanica</i>
45	<i>Haliotis rufescens</i>	<i>Pinna rugosa</i>
46	<i>Holothuria floridana</i>	<i>Pteria sterna</i>
47	<i>Holothuria</i> spp.	<i>Ruditapes philippinarum</i>
48	<i>Hyporthodus acanthistius</i>	<i>Seriola lalandi</i>
49	<i>Ictalurus balsanus</i>	<i>Seriola</i> spp.
50	<i>Ictalurus punctatus</i>	<i>Tapes japónica</i>
51	<i>Isostichopus badionotus</i>	<i>Thunnus alalunga</i>
52	<i>Isostichopus fuscus</i>	<i>Thunnus albacares</i>
53	<i>Litopenaeus setiferus</i>	<i>Thunnus obesus</i>
54	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	<i>Thunnus orientalis</i>
55	<i>Litopenaeus vannamei</i>	<i>Totoaba macdonaldi</i>
56	<i>Lutjanus aratus</i>	
57	<i>Lutjanus argentiventris</i>	
58	<i>Lutjanus campechanus</i>	
59	<i>Lutjanus colorado</i>	
60	<i>Lutjanus fulgens</i>	
61	<i>Lutjanus griseus</i>	
62	<i>Lutjanus guttatus</i>	

63	Lutjanus jordani
64	Lutjanus novemfasciatus
65	Lutjanus peru
66	Lutjanus spp.
67	Lutjanus synagris
68	Macrocystis pyrifera
69	Megapitaria aurantiaca
70	Megapitaria squalida
71	Menippe mercenaria
72	Mesocentrotus franciscanus
73	Micropterus salmoides
74	Modiol spp.
75	Modiolus capax
76	Morone saxatilis
77	Morone spp.
78	Mycteroperca rosácea
79	Mycteroperca xenarcha
80	Mytella strigata
81	Mytilus californianus
82	Mytilus edulis
83	Mytilus galloprovincialis
84	Mytilus galloprovinsialis
85	Mytilus spp.
86	Nodipecten subnodosus
87	Ocyurus chrysurus
88	Oncorhynchus mykiss
89	Oreochromis aureus
90	Oreochromis mossambicus
91	Oreochromis niloticus
92	Oreochromis spp.
93	Panopea generosa
94	Panopea globosa
95	Panopea spp.
96	Paralabrax auroguttatus

97	Paralabrax clathratus
98	Paralabrax maculatofasciatus
99	Paralabrax nebulifer
100	Paralichthys californicus
101	Parastichopus parvimensis
102	Pinctada mazatlanica
103	Pinctada radiata
104	Pinna rugosa
105	Prionace glauca
106	Pteria sterna
107	Rachycentron canadum
108	Rangia cuneata
109	Ruditapes philippinarum
110	Saccostrea palmula
111	Sciaenops ocellatus
112	Seriola lalandi
113	Seriola rivoliana
114	Seriola spp.
115	Siliqua spp.
116	Sphoeroides annulatus
117	Thunnus albacares
118	Thunnus orientalis
119	Tilapia rendalli
120	Totoaba macdonaldi
121	Trachinotus carolinus
122	Trachinotus kennedyi
123	Trachinotus paitensis
124	Trachinotus rhodopus
125	Ulva lactuca

Anexo 2. Objetivos de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables

- I. Establecer y definir los principios para ordenar, fomentar y regular el manejo integral y el aprovechamiento sustentable de la pesca y la acuicultura, considerando los aspectos sociales, tecnológicos, productivos, biológicos y ambientales;
- II. Promover el mejoramiento de la calidad de vida de los pescadores y acuicultores del país a través de los programas que se instrumenten para el sector pesquero y acuícola;
- III. Establecer las bases para la ordenación, conservación, la protección, la repoblación y el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, así como la protección y rehabilitación de los ecosistemas en que se encuentran dichos recursos;
- IV. Fijar las normas básicas para planear y regular el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas, en medios o ambientes seleccionados, controlados, naturales, acondicionados o artificiales, ya sea que realicen el ciclo biológico parcial o completo, en aguas marinas, continentales o salobres, así como en terrenos del dominio público o de propiedad privada;
- V. Procurar el derecho al acceso, uso y disfrute preferente de los recursos pesqueros y acuícolas de las comunidades y pueblos indígenas, en los términos de la presente Ley, de los lugares que ocupen y habiten;
- VI. Establecer las bases y los mecanismos de coordinación entre las autoridades de la Federación, las entidades federativas y los municipios, para el mejor cumplimiento del objeto de esta Ley;
- VII. Determinar y establecer las bases para la creación, operación y funcionamiento de mecanismos de participación de los productores dedicados a las actividades pesqueras y acuícolas;
- VIII. Apoyar y facilitar la investigación científica y tecnológica en materia de acuicultura y pesca;
- IX. Establecer el régimen de concesiones y permisos para la realización de actividades de pesca y acuicultura;
- X. Establecer las bases para el desarrollo e implementación de medidas de sanidad de recursos pesqueros y acuícolas;
- XI. Establecer las bases para la certificación de la sanidad, inocuidad y calidad de los productos pesqueros y acuícolas, desde su obtención o captura y hasta su procesamiento primario, de las actividades relacionadas con éstos y de los establecimientos e instalaciones en los que se produzcan o conserven;
- XII. Establecer el Sistema Nacional de Información de Pesca y Acuicultura y el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura;
- XIII. Establecer las bases para la realización de acciones de inspección y vigilancia en materia de pesca y acuicultura, así como los mecanismos de coordinación con las autoridades competentes;
- XIV. Establecer las infracciones y sanciones correspondientes por incumplimiento o violación a las disposiciones de esta Ley, sus reglamentos y las normas oficiales mexicanas que deriven de la misma, y
- XV. Proponer mecanismos para garantizar que la pesca y la acuicultura se orienten a la producción de alimentos.

Anexo 3. Normas oficiales mexicanas que consideran las actividades acuícolas de manera directa (1) o indirecta (0)

Clave	Título	Objetivo	Fecha de publicación	Fecha de inicio de vigencia	Actividad
NOM-012-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-012-SAG/PESC-2014, Para regular el aprovechamiento de los recursos pesqueros en el embalse de la presa El Cuchillo-Solidaridad, ubicada en el Municipio de China, N.L	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros de la fauna acuática existentes en el embalse de la presa El Cuchillo- Solidaridad, en el Municipio de China, en el Estado de Nuevo León.	26-dic-14	24-feb-15	0
NOM-026-SAG/PESC-2016	Norma Oficial Mexicana NOM-026-SAG/PESC- 2016, Que establece regulaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros en el embalse de la presa Aguamilpa, ubicado en el Estado de Nayarit.	Establecer los términos y las condiciones para el adecuado aprovechamiento de las especies de la fauna acuática existentes en el embalse de la presa Aguamilpa, ubicado en los municipios de El Nayar, Tepic y Santa María del Oro, en el Estado de Nayarit.	06-sep-16	05-nov-16	0
NOM-028-SAG/PESC-2016	Norma Oficial Mexicana NOM-028-SAG/PESC-2016, Pesca responsable en la presa Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán), en Hidalgo y Querétaro. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros existentes en el embalse de la Presa "Ing. Fernando Hiriart Balderrama" (Zimapán), ubicada en los límites de los municipios de Tasquillo, Tecozautla y Zimapán, en el Estado de Hidalgo, y Cadereyta de Montes, en el Estado de Querétaro.	23-sep-16	22-nov-16	0
NOM-032-SAG/PESC-2015	NOM-032-SAG/PESC-2015, Pesca responsable en el Lago de Chapala, ubicado en los estados de Jalisco y Michoacán. Especificaciones para el	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de las especies pesqueras de la fauna acuática existentes en el Lago de Chapala.	19-jun-15	18-ago-15	0

	aprovechamiento de los recursos pesqueros.				
NOM-033-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/PESC-2014, Pesca responsable en el Sistema Lagunar Champayán y Río Tamesí, incluyendo las lagunas Chairel y La Escondida, ubicados en el Estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de las especies pesqueras de la fauna acuática existentes en el Sistema Lagunar Champayán y el río Tamesí, incluyendo las lagunas Chairel y La Escondida.	23-dic-14	21-feb-15	0
NOM-034-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-034-SAG/PESC-2014, Pesca responsable en el embalse de la presa Emilio Portes Gil (San Lorenzo), ubicada en el Estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer los términos y las condiciones para el adecuado aprovechamiento de los recursos pesqueros de la fauna acuática existentes en el embalse de la presa "Emilio Portes Gil" (San Lorenzo), ubicada en el estado de Tamaulipas.	10-dic-14	08-feb-15	0
NOM-035-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-035-SAG/PESC-2014, Pesca responsable en el embalse de la presa José S. Noriega (Vaquerías o Mimbres), ubicada en el Estado de Nuevo León. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer los términos y las condiciones para el adecuado aprovechamiento de los recursos pesqueros de la fauna acuática existentes en el embalse de la Presa "José S. Noriega" (Vaquerías o Mimbres), ubicada en el Municipio de General Terán, Nuevo León.	26-dic-14	24-feb-15	0

NOM-036-SAG/PESC-2015	Norma Oficial Mexicana NOM-036-SAG/PESC-2015, Pesca responsable en el Lago de Pátzcuaro ubicado en el Estado de Michoacán. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros de la fauna acuática existentes en el Lago de Pátzcuaro, ubicado en el Estado de Michoacán.	11-jun-15	10-ago-15	0
NOM-037-PESC-2004	Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-037-PESC-2004, Pesca responsable en el Sistema Lagunar formado por los Humedales del Usumacinta, en los municipios de Catazajá, Palenque y La Libertad en el Estado de Chiapas; Jonuta, Emiliano Zapata y Balancán en el Estado de Tabasco, Ciudad del Carmen y Palizadas en el Estado de Campeche. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros, publicada el 21 de marzo de 2007, para precisar que las actividades de pesca deportivo-recreativa podrán efectuarse todos los días de la semana.	Establecer que las actividades de pesca deportivo-recreativa podrán efectuarse cualquier día de la semana, según horario que se señala.	29-may-07	28-jul-07	0
NOM-041-PESC-2004	Norma Oficial Mexicana NOM-041-PESC-2004, Pesca responsable en el lago de Catemaco, ubicado en el Estado	Establecer regulaciones para el adecuado aprovechamiento de las especies de la fauna acuática existentes en el Lago de	15-mar-07	14-may-07	0

	de Veracruz. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Catemaco, ubicado en el Municipio de Catemaco, en el Estado de Veracruz.			
NOM-042-PESC-2003	Norma Oficial Mexicana NOM-042-PESC-2003, Pesca responsable en el embalse de la presa Falcón en el Estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer regulaciones para el aprovechamiento responsable de las especies de la fauna íctica existentes en el embalse de la presa Falcón.	19-jul-06	17-sep-06	0
NOM-043-PESC-2003	Norma Oficial Mexicana NOM-043-PESC-2003, Pesca responsable en el embalse de la presa Marte R. Gómez, en el Estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer regulaciones para el aprovechamiento responsable de las especies de la fauna acuática existente en el embalse de la presa Marte R. Gómez.	20-jul-06	18-sep-06	0
NOM-044-SAG/PESC-2017	NOM-044-SAG/PESC-2017, Pesca responsable en el embalse de la Presa La Boquilla en el Estado de Chihuahua. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer regulaciones para el aprovechamiento responsable de las especies de fauna acuática existentes en la presa "La Boquilla".	23-ago-17	22-oct-2017	0
NOM-046-SAG/PESC-2017	NOM-046-SAG/PESC-2017, Pesca responsable en el embalse de la Presa La Amistad en el Estado de Coahuila. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer regulaciones para el aprovechamiento responsable de las especies de fauna acuática existentes en la presa "La Amistad".	27-jul-17	26-sep-17	0

NOM-047-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-047-SAG/PESC-2014, Para la identificación del origen de camarones cultivados, de aguas marinas y de esteros, marismas y bahías.	Establecer el procedimiento para diferenciar el origen de camarones, ya sea que provengan de cultivo, o de captura en aguas marinas, esteros, marismas o bahías.	15-abr-14	14-jun-14	0
NOM-050-PESC-2004	Norma Oficial Mexicana NOM-050-PESC-2004, Pesca responsable en el embalse del Lago de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer regulaciones para el aprovechamiento responsable de las especies de la fauna acuática existente en el Lago de Tecocomulco.	14-ago-06	13-oct-06	0
NOM-060-SAG/PESC-2016	Norma Oficial Mexicana NOM-060-SAG/PESC-2016, Pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.	Establecer los términos y las condiciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros de la fauna acuática en los cuerpos de aguas continentales de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	19-sep-16	18-nov-16	0
NOM-074-SAG/PESC-2014	Norma Oficial Mexicana NOM-074-SAG/PESC-2014, Para regular el uso de sistemas de exclusión de fauna acuática (SEFA) en unidades de producción acuícola para el cultivo de camarón en el Estado de Sinaloa.	Esta Norma Oficial Mexicana establece las características, especificaciones técnicas y criterios para el uso de Sistemas de Exclusión de Fauna Acuática (SEFA) en Unidades de Producción Acuícola para el cultivo de camarón en el Estado de Sinaloa.	28-abr-14	27-jun-14	1

NOM-027-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados fresco-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.	03-mar-95	02-abr-95	0
NOM-028-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-028-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados en conserva. Especificaciones sanitarias.	03-mar-95	02-abr-95	0
NOM-029-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-029-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.	27-feb-95	29-mar-95	0
NOM-030-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-030-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Crustáceos en conserva. Especificaciones sanitarias.	31-ene-95	02-mar-95	0
NOM-031-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos- refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.	06-mar-95	05-mar-96	0
NOM-032-SSA1-1993	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos en conserva. Especificaciones sanitarias.	06-mar-95	05-abr-95	0
NOM-128-SSA1-1994	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-128-SSA1-1994, bienes y servicios. Que establece la aplicación de un sistema de análisis de riesgo y control de puntos críticos en la planta industrial procesadora de productos de la pesca.	12-jun-96	01-dic-97	0
NOM-129-SSA1-1995	Norma Oficial Mexicana emitida por la Secretaría de Salud	Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995, bienes y servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados.	10-dic-97	02-may-98	0

NOM-022-SEMARNAT-2003	Norma Oficial Mexicana emitida por SEMARNAT	Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, especificaciones para la preservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. (Acuerdo que adiciona la especificación 4.43 D.O.F. 07-mayo- 2004).	10-abr-03	09-jun-03	0
NOM-001-SEMARNAT-1996	Norma Oficial Mexicana emitida por SEMARNAT	Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (Aclaración D.O.F. 30-abril-1997).	06-ene-97	07-mar-97	1

IV. Acuacultura como opción de desarrollo. Estrategias y planeación.

José Alberto Torres Martínez,^a Marian Rodríguez-Fuentes,^b José Alberto Zepeda Domínguez^c

^a C IBNOR. La Paz, Baja California Sur, México.

^b Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México.

^c Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California, México

1. Introducción

La acuicultura se proyecta como una actividad económica que, durante los próximos cien años, contribuirá de manera cada vez más importante al bienestar de la humanidad. Es el sector productor de alimentos de mayor crecimiento en las últimas tres décadas. Provee empleos, renta y bienestar a más de 18.7 millones de personas a nivel mundial (Guillen et al., 2019). Actualmente, aporta 42% del pescado que se consume a nivel global (FAO, 2020). Además, es un sector atractivo para la inversión en términos económicos, debido a que existe una tendencia en la industria hacia la sustentabilidad y la rentabilidad al mismo tiempo (Todinanahary et al., 2017; Froehlich et al., 2020). En términos de beneficios, la acuicultura ofrece una mayor tasa de rendimiento en comparación con otros sectores del sector primario. De acuerdo con Belton y Filipski (2019), la acuicultura genera mayores beneficios respecto a la agricultura en términos de uso de suelo. Guillen et al. (2019) afirman que cada vez se puede contar con sistemas más intensivos de producción, resultado de innovaciones tecnológicas. Es una industria que representa, en muchos casos, un modelo de negocio con una amortización rápida (Todinanahary et al., 2017). Considerando el rápido crecimiento y su alta interacción con las personas, el apoyo público podría facilitar el desarrollo tecnológico del sector.

2. Distintos tipos de acuicultura

En general, la acuicultura se conceptualiza como una actividad de un solo perfil, pero es importante reconocer que existen diferentes tipos y cada uno brinda resultados distintos. La acuicultura puede desarrollarse en el contexto económico de manera comercial y rural (Brummett y Williams, 2000). En el primer caso, regularmente, las empresas utilizan especies de alto valor y su principal beneficio se mide en términos de renta. Por otro lado, la acuicultura rural está enfocada en especies de bajo valor comercial y que requieren bajos niveles de tecnificación, y su impacto se mide en seguridad alimentaria y reducción de la pobreza. Cabe señalar que, para ambos casos, el éxito del cultivo depende de su manejo adecuado.

3. Estrategias en políticas públicas

Las estrategias para la promoción de uno o ambos tipos de acuicultura dependen del contexto y las necesidades de cada país. Desde el punto de vista socioecológico, se contemplan factores biológicos, ecológicos, sociales y de gobernanza (Froehlich *et al.*, 2020). De acuerdo con Frankic y Hershner (2003), es muy común que los formuladores de políticas traten a la acuicultura de manera aislada de otros sectores, ignorando aspectos políticos, sociales, ambientales, económicos y legales. Para Abbott *et al.* (2014), es necesario crear políticas que promuevan el desarrollo económico de forma integral. Además, en el contexto de desafíos locales, se deben buscar vías que permitan un desarrollo justo en lo social y ambiental (Ertör-Akyazi, 2020).

Por lo tanto, las políticas públicas utilizadas por los diferentes países son diversas. Pueden dirigirse a la seguridad alimentaria (Rice y Garcia, 2011), a darle valor agregado a su producción (Sun y Van der Ven, 2020) o a desarrollar un plan integral, como en Europa, donde su estrategia se basa en el crecimiento azul (Ertör-Akyazi, 2020). Es importante señalar que generalmente no se cuenta con un objetivo único (aunque sí alguno primordial), por lo que deben hacerse planes regionales e integrales en función de los objetivos de cada caso específico.

Un nuevo planteamiento en el ordenamiento acuícola puede ayudar a mitigar los problemas de seguridad alimentaria y de pobreza. Con políticas públicas adecuadas a cada contexto, se puede incentivar al sector para contribuir a satisfacer la creciente demanda de alimentos, generar empleos y formular estrategias de adaptación al cambio climático. En regiones lluviosas, se pueden cultivar peces dulceacuícolas (Johnson *et al.*, 2018). En regiones de gran tradición pesquera, la planeación debería ser transgeneracional. En lugares como Camboya, el aumento del nivel del mar permitiría el desplazamiento de agua salada tierra adentro, lo cual representa una oportunidad para cultivar especies salobres, pero puede implicar una amenaza para los cultivos ya establecidos de bagre (Williams y Rota, 2011). A su vez, el cambio climático significa una oportunidad para desarrollar el cultivo de otras especies, pero es probable que

las fuerzas de mercado, más que los aspectos técnicos, sea lo que determine si las especies actuales serán reemplazadas (Callaway *et al.*, 2012)

Entre los países en vías de desarrollo, el enfoque más común para dirigir la acuicultura es garantizar alimento. En Camboya, se estimuló el crecimiento del sector acuícola para incrementar el consumo doméstico de pescado (Van Brakel *et al.*, 2011). Otro ejemplo es el régimen de Myanmar, que ha convertido espacios utilizados tradicionalmente para arrozales en granjas acuícolas de especies dulceacuícolas de bajo valor económico, pero alta productividad y fácil manejo (Vicol y Pritchard, 2020). Si el objetivo del desarrollo es en términos de seguridad alimentaria, se deben desarrollar estrategias similares a las de algunos países de Asia y África subsahariana, donde se ha promovido el cultivo de peces herbívoros, enfoque que evita el uso de harinas y aceites provenientes de otros peces (Guillen *et al.*, 2019).

154 En muchos países, la mayoría de ellos en vías de desarrollo, el objetivo fue mixto, es decir, garantizar la provisión de proteína y de empleo legal; y, en caso de haber excedentes, se espera que su venta contribuya con recursos financieros. En consecuencia, la principal estrategia es el desarrollo de la acuicultura de traspatio, que significa pequeños estanques familiares o comunitarios de baja tecnificación. Su adopción en los hogares rurales ha tenido efectos positivos en el ingreso, el consumo y el empleo en países como Bangladesh, China, la India, Indonesia, Tailandia y Vietnam (Sun y Van der Ven, 2020). A su vez, en Camboya se hicieron reformas políticas en el sector pesquero y acuícola para reducir la pobreza a través de acuicultura de pequeña escala con peces de agua dulce (Van Brakel *et al.*, 2011). Según Hishamunda *et al.* (2009), en Camboya y Filipinas existen laboratorios públicos de especies dulceacuícolas locales, con la intención de facilitar la adquisición de alevines para sus productores de pequeña escala. Por otra parte, respecto a los empleos, la acuicultura es una industria que presenta más oportunidades de empleo para mujeres en comparación con la pesca (Alleway *et al.*, 2019). En el caso particular de México, las mujeres representan 8% de los empleos directos de las pesquerías, de los cuales 26% son empleos permanentes; en el sector acuícola, 50% de los empleos de las mujeres son permanentes (López-Ercilla y López-Sagástegui, 2018).

La acuicultura comercial puede producir grandes beneficios económicos, pero su crecimiento debe considerar aspectos de producción y variabilidad en el mercado. Como parte de las estrategias utilizadas para mejorar el valor de la producción, por ejemplo, el gobierno tailandés garantizó entrenamiento técnico a sus productores, esfuerzo que resultó en una producción más sustentable y de calidad para su industria de camarón (Sun y Van der Ven, 2020). Si el propósito es multiplicar los beneficios financieros, es importante enfocarse en darle valor agregado a la producción, con esquemas de certificación para acceder a mercados con estándares más elevados de calidad (Bostock et al., 2010). En este sentido, el gobierno de Vietnam realizó acciones para fortalecer su industria acuícola: subsidió la capacitación de acuicultores y los costos de certificación para acceder a mercados internacionales, lo cual permitió mejorar la calidad de su producción de camarón en granjas (Sun y Van der Ven, 2020). El esfuerzo se extendió después a la industria del pangasio y la tilapia (FAO, 2017). También se deben tomar en cuenta la infraestructura y los suministros para garantizar el éxito de la acuicultura comercial (Hishamunda y Ridler, 2002), pues es importante contar con laboratorios suficientes, suministro de alimento y plantas procesadoras y bodegas para los productos derivados de la actividad.

4. Planeación

Uno de los aspectos que debe tomar en cuenta la planeación de la acuicultura es su impacto ambiental. Los principales enfoques están relacionados con el monitoreo de los cuerpos de agua donde se desarrolla la actividad. En este sentido, Alleway *et al.* (2019) sugieren que las políticas se orienten hacia los servicios ecosistémicos. Se deben monetizar los impactos de la industria acuícola para internalizar los efectos negativos. Es necesario que se establezcan condiciones operativas apropiadas para el desarrollo sustentable de la acuicultura, incluyendo indicadores ambientales en los espacios utilizados por la industria (Frankic y Hershner, 2003). Se ha reportado que en Latinoamérica la expansión de la acuicultura comercial de camarón propició la deforestación de manglares (Hamilton, 2013).

156

La planeación espacial es otro factor que debe considerarse para el desarrollo de la acuicultura y las pesquerías; de lo contrario, pueden ocasionarse conflictos por el acceso a los recursos. El estudio de Froehlich *et al.* (2020) mostró una clara tendencia al desarrollo global de la acuicultura en aguas oceánicas respecto a cuerpos de aguas interiores. Es necesario considerar a todos los usuarios de los espacios oceánicos en la toma de decisiones; si no se hace, se pueden desplazar actividades recreativas o a pescadores de pequeña escala (Brueckner-Irwin *et al.*, 2019; Weir y Kerr, 2020). En varios estudios se ilustra el problema de la pérdida de acceso a cuerpos de agua que ahora se destinan a la maricultura (Brueckner-Irwin *et al.*, 2019; Weir y Kerr, 2020).

Por otra parte, es importante tener claro a qué mercado se quiere acceder en el supuesto de que haya un crecimiento significativo de la producción. Para ello, es necesario que los impulsores de los cambios sociales y de gobierno tengan en cuenta la variabilidad en los mercados (Creighton *et al.*, 2016); que se considere la gobernanza para abordar mejoras en los mecanismos de mercado (Abbott *et al.*, 2014); y que haya una mayor transparencia en los sistemas de trazabilidad de los productos, para tener mejores oportunidades de

mercado. En este sentido, algunos productores podrían tener dificultades en el futuro para acceder a mercados en países desarrollados; de acuerdo con Mariojouis y Wessells (2002), los consumidores y el mercado de estos países son cada vez más exigentes sobre la certificación de los productos.

5. Conclusiones

La acuicultura no puede contextualizarse como una actividad única en términos de requerimientos, potencialidades y beneficios acotados. Si bien es una actividad con gran proyección, también es cierto que, sin la planeación adecuada, puede no ofrecer los beneficios presupuestados. Antes que invertir recursos públicos basándose en supuestos no probados es necesario definir la agenda del sector. México, en función de su complejidad, necesita planear un ordenamiento acuícola con enfoque socioecológico; el riesgo de no hacerlo es el desperdicio de recursos públicos muy necesarios en un contexto de crisis económica y muy valiosos ante el escenario social que se enfrenta. Dicho en otras palabras, la acuicultura no existe, sino que existen múltiples tipos de *acuicultura* con distintos requerimientos y potencialidades. Antes de decidir por invertir en acuicultura se debe reflexionar sobre las prioridades locales, regionales y nacionales y, en función de esto, decidir el tipo de acuicultura adecuada en cada caso.

6. Referencias

- Abbott, J., Anderson, J. L., Campling, L., Hanneson, R., Havice, E., Lozier, M. S., Smith, M. D. y Wilberg, M. J. (2014). Steering the Global Partnership for Oceans. *Marine Resource Economics*, 29(1), 1-16.
- Alleway, H. K., Gillies, C. L., Bishop, M. J., Gentry, R. R., Theuerkauf, S. J. y Jones, R. (2019). The Ecosystem Services of Marine Aquaculture: Valuing Benefits to People and Nature. *BioScience*, 69(1), 59-68. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy137>.
- Barton, J. R. (1997). Environment, sustainability and regulation in commercial aquaculture: The case of Chilean salmonid production. *Geoforum*, 28, 313-328.
- Belton, B. y Filipski, M. (2019). Rural transformation in central Myanmar: By how much, and for whom? *Journal of Rural Studies*, 67, 166-176.
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I. y Corner R. (2010). Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2897-2912.
- Brueckner-Irwin, I., Armitage, D. y Courtenay, S. (2019). Applying a social-ecological well-being approach to enhance opportunities for marine protected area governance. *Ecology and Society*, 24(3). <https://www.jstor.org/stable/26796974>.
- Brummett, R. E. y Williams, M. J. (2000). The evolution of aquaculture in African rural and economic development. *Ecological Economics*, 33, 193-203.
- Callaway, R., Shinn, A. P., Grenfell, S. E., Bron, J. E., Burnell, G., Cook, E. J., Crumlish, M., Culloty, S., Davidson, K., Ellis, R. P., Flynn, K. J., Fox, C., Green, D. M., Hays, G. C., Hughes, A. D., Johnston, E., Lowe, C. D., Lupatsch, I., Malham, S., Mendzil, A. F., Nickell, T., Pickerell,

- T., Rowley, A. F., Stanley, M. S., Tocher, D. R., Turnbull, J. F., Webb, G., Wootton, E. y Shields, R. J. (2012). Review of Climate Change Impacts on Marine Aquaculture in the UK and Ireland. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 22, 389-421.
- Corsin, F., Funge-Smith, S. y Clausen, J. (2007). A qualitative assessment of standards and certification schemes applicable to aquaculture in the Asia-Pacific region. Bangkok, FAO. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016065487>.
- Creighton, C., Hobday, A. J., Lockwood, M. y Pecl, G. T. (2016). Adapting Management of Marine Environments to a Changing Climate: A Checklist to Guide Reform and Assess Progress. *Ecosystems*, 19(2), 187-219.
- Ertör-Akyazi, P. (2020). Contesting growth in marine capture fisheries: The case of small-scale fishing cooperatives in Istanbul. *Sustainability Science*, 15(1), 45-62. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00748-y>.
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Frankic, A. y Hershner, C. (2003). Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, 11, 517-530.
- Froehlich, H. E., Couture, J., Falconer, L., Krause, G., Morris, J. A., Perez, M., Stentiford, G. D., Vehviläinen, H. y Halpern, B. S. (2020). Mind the gap between ICES nations' future seafood consumption and aquaculture production. *ICES Journal of Marine Science*.
- Guillen, J., Asche, F., Carvalho, N., Fernández-Polanco, J. M., Llorente, I., Nielsen, R., Nielsen, M. y Villasante, S. (2019). Aquaculture subsidies in the European Union: Evolution, impact and future potential for growth. *Marine Policy*, 104, 19-28.
- Hamilton, S. (2013). Assessing the Role of Commercial Aquaculture in Displacing Mangrove Forest. *Bulletin of Marine Science*, 89, 585-601.
- Hishamunda, N. y Ridler, N. B. (2002). Macro policies to promote sustainable commercial aquaculture. *Aquaculture International*, 10(6), 491-505. <https://doi.org/10.1023/A:1023985430206>.

- Hishamunda, N., Ridler, N. B., Bueno, P. y Yap, W. G. (2009). Commercial aquaculture in Southeast Asia: Some policy lessons. *Food Policy*, 34, 102-107.
- Johnson, J. E., Bell, J. D., Allain, V., Hanich, Q., Lehodey, P., Nicol, S., Moore, B. R., Pickering, T., Senina, I. (2017). The Pacific Island Region: Fisheries, Aquaculture and Climate Change. En B. F. Phillips and M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis, I* (pp. 333-379). John Wiley & Sons.
- Lam, M. E. y Pitcher, T. J. (2012). The ethical dimensions of fisheries. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(3), 364-373. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.06.008>.
- López Ercilla, I. y López-Sagástegui, R. (2018). Las mujeres y el sector pesquero en México. dataMares. Recurso interactivo.
- Mariojouis, C. y Wessells, C. R. (2002). Certification and Quality Signals in the Aquaculture Sector in France. *Marine Resource Economics*, 17(2), 175-180.
- Phillips, B. F. y Welch, D. J. (2017). Impacts of Climate Change on Eastern Australia Fisheries. En B. F. Phillips and M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis, I* (pp. 129-157). John Wiley & Sons.
- Rice, J. C. y Garcia, S. M. (2011). Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: Characteristics of the sector and perspectives on emerging issues. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1343-1353. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr041>.
- Sun, Y. y Van der Ven, H. (2020). Swimming in their own direction: Explaining domestic variation in homegrown sustainability governance for aquaculture in Asia. *Ecological Economics*, 167.
- Todinanahary, G. G. B., Lavitra, T., Andrifanilo, H. H., Puccini, N., Grosjean, P. y Eeckhaut, I. (2017). Community-based coral aquaculture in Madagascar: A profitable economic system for a simple rearing technique? *Aquaculture*, 467, 225-234.
- Van Brakel, M. L. y Ross, L. G. (2011). Aquaculture development and scenarios of change in fish trade and market access for the poor in Cambodia. *Aquaculture Research*, 42(7), 931-942.

- Vicol, M. y Pritchard, B. (2020). Rethinking rural development in Myanmar's Ayeyarwady Delta through a historical food regimes frame. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 42, 264-283.
- Weir, S. y Kerr, S. (2020). Enclosing the right to fish: A Q-study into fishers' attitudes to rights in Scottish fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 187.
- Williams, L. y Rota, A. (2011). Impact of climate change on fisheries and aquaculture in the developing world and opportunities for adaptation. Roma, Technical Advisory Division, International Fund for Agricultural Development.

V. Impacto ambiental, social y económico de la acuacultura

Leonardo Vázquez-Vera, Fernando Aranceta Garza,^a Francisco J. Vergara-Solana,^b Daniel Peñalosa-Martinell,^c Daniel Vázquez-Arced y Luis Mariano Sánchez Avelare

^a CIBNOR. La Paz, Baja California Sur, México.

^b Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras. La Paz, Baja California Sur México.

^c Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México.

^d Kampachi Farms México. San Juan de la Costa, Baja California Sur, México.

1. Contexto internacional y nacional del desarrollo acuícola

Garantizar el suministro de alimentos nutritivos y de alta calidad es uno de los grandes retos para la humanidad. Alimentar una población creciente con nuevos hábitos de consumo es solo una parte del desafío, ya que prevalece un contexto de pérdida de biodiversidad y degradación ambiental ligado no solo al desarrollo, sino a cambios climáticos. La ONU estima que la población mundial alcanzará los 9,700 millones de personas en 2050, lo cual requerirá un aumento de 25% a 70% en el suministro de alimentos cultivados (Hunter et al., 2017; ONU, 2019).

La actividad acuícola mundial contribuye de manera importante a la producción de proteína y ha tenido un crecimiento importante en las últimas décadas. De acuerdo con las proyecciones, se espera que la contribución de la acuicultura sea un componente cada vez más significativo no solo en el aporte de alimentos, sino como una alternativa económica y de desarrollo social. Los volúmenes de productos acuícolas registrados, el número de personas involucradas y el valor estimado en los últimos años sustentan esta idea (FAO, 2020). Sin embargo, ante el escenario prometedor para el sector acuícola que se propone, es importante evaluar el impacto de la actividad con una visión integral del sector agroalimentario alineada con el desarrollo sustentable. Por ejemplo, aunque la acuicultura reporta una alta tasa de crecimiento anual, en volumen de producción no supera la producción de carne (pollo, cerdo y res). Si bien se reporta que la producción acuícola ha superado a la pesca en cuanto a su aportación al consumo humano directo, la producción pesquera todavía es más importante si se consideran los productos derivados (Edwards, *et al.*, 2019). Con esto, no se demerita de ninguna manera la importancia de la acuicultura, solo se contextualiza su aportación relativa en la producción agroalimentaria.

A nivel mundial, el desarrollo de la acuicultura ha sido impulsado principalmente por China y otros países de Asia desde la década de los años noventa. En México, el desarrollo de la acuicultura se ha acelerado en los últimos seis años. Como referencia, mientras a nivel mundial la tasa de crecimiento del sector es de 8% anual, en el ámbito nacional, la autoridad en materia acuícola reporta una tasa media

de 4.5% anual y hasta 6%, solo considerando el periodo 2016-2018 para los sistemas controlados (CONAPESCA, 2018).

A nivel nacional, se ha promovido el desarrollo de la acuicultura en áreas rurales y costeras como una alternativa económica para aumentar la producción de alimentos y generar oportunidades de empleo (DOF, 2019). Uno de los principales retos, tanto del gobierno como de comunidades empresas y organizaciones de productores, será lograr esta meta e impulsar el sector acuícola minimizando el impacto ambiental, esfuerzo que deberá ser atendido de manera integral con académicos, OSC e instituciones financieras.

2. La acuicultura y el medio ambiente

En términos globales, la camaronicultura produce 4.5 millones de toneladas y esta actividad se ha asociado con la pérdida de hábitats costeros, siendo la disminución de la cobertura de manglares uno de los principales indicadores (Dierberg y Kiattisimkul, 1996). De acuerdo con Boyd, *et al.*, (2021), se emplean 5.16 millones de hectáreas de las costas del mundo para producir alimento para el cultivo y en la operación de granjas de camarón en alguna de sus modalidades, y más de medio millón de hectáreas se han relacionado a la destrucción de manglares (Primavera, 2006). Sin embargo, esta mala práctica se ha reducido de manera importante en la última década debido al desarrollo de tecnologías para el cultivo y en parte para mitigar la percepción negativa de los consumidores (Boyd, *et al.*, 2021). Independientemente de los avances, en México la mayor parte del camarón producido por acuicultura proviene de estanques construidos cerca de la línea de costa, por lo que se ha continuado generando impactos sobre la zona costera (Páez-Osuna *et al.*, 1998). El cultivo de camarón se desarrolló sin conocimiento de las capacidades de carga ambientales de los ecosistemas costeros y experimentó las consecuencias de prácticas ineficientes de cultivo (eutrofización y enfermedades emergentes) y de uso de recursos. De las más de ochenta mil hectáreas destinadas al cultivo de camarón en México, menos de 2% implicó la destrucción de manglares, siendo Sonora y Nayarit los estados en los que se ha documentado el mayor impacto. Comparando con el contexto nacional, de las más de setecientas setenta mil hectáreas de manglar en el país, la acuicultura ha impactado menos de 1% de la cobertura y se suma al daño provocado por el desarrollo de complejos turísticos y la agricultura (Berlanga-Robles *et al.*, 2011).

Los datos comparativos no justifican el daño de un ecosistema crítico y legalmente protegido como el manglar, sino solo contribuyen a dimensionar el impacto de la actividad acuícola y a contrastarla con otras actividades productivas y de desarrollo costero. Por otro lado, evidencian la falta de integración y análisis de las dependencias que impulsan el desarrollo económico en la zona marino-costera del país y el manejo de los recursos naturales. Por lo tanto, es relevante considerar el impacto del conjunto de actividades productivas

que se realizan y que se pretenden seguir fomentando para construir una visión integral y encontrar estrategias para promover un desarrollo balanceado e inteligente que no comprometa la salud de los ecosistemas costeros y de las comunidades que dependen de sus servicios ambientales.

Aunado a los impactos de la zona costera, la acuicultura puede alterar las redes tróficas, pues el alimento no consumido es aprovechado por la fauna periférica al cultivo, modificando la estructura de las poblaciones silvestres y generando impactos tanto en la columna de agua como en el fondo marino. Aunque la legislación establece pautas sobre el uso de agua para la acuicultura, no se tiene la información suficiente ni los mecanismos para regular las descargas y no se practica ni incentiva el reciclamiento o el doble uso del agua residual en las instalaciones acuícolas. Por consiguiente, los productores no son responsables del contenido del agua de los estanques cuando se vierten al ambiente. Cabe resaltar que, a pesar de que las descargas son pocas comparadas con el total de descargas orgánicas de origen antropogénico (menos de 2%), los impactos de la acuicultura son localizados y profundos (Páez-Osuna *et al.*, 1998).

El saneamiento de las instalaciones acuícolas entre un ciclo de producción y otro genera desechos que deben ser tratados en lagunas de oxidación; no obstante, se ha documentado vertimiento y desbordamiento a ecosistemas aledaños. Muchas veces estos impactos son en detrimento de la misma actividad, ya que se reduce la calidad de agua disponible y se fomenta la transmisión de enfermedades entre las unidades de producción acuícola y las poblaciones silvestres (Whitmarsh y Wattage, 2006; Shinn *et al.*, 2018; Kragestein *et al.*, 2019).

3. La acuicultura para la restauración y conservación

La acuicultura es una actividad rentable que interactúa con diversos usuarios y zonas destinadas a la conservación o protección de ecosistemas marino-costeros. Actualmente, encontramos decenas de concesiones y permisos acuícolas (Fig. 1) con fecha de vencimiento en el año 2020 o posterior sobre espacios ubicados en áreas naturales protegidas (CONAPESCA-Acuasesor, s. f.). Por ejemplo, en la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno y la Reserva Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, la demanda de la sociedad para realizar el cultivo de bivalvos, como concha espina, ostión y mano de león, podría contraponerse a los objetivos del Área Natural Protegida (ANP) si no se identifican los sitios óptimos y se define el tipo de cultivo que sea compatible. Sin embargo, hoy en día se cultivan especies de bivalvos en esos lugares, lo también podría puede contribuir a los objetivos de conservación y recuperación, debido a que estos organismos filtradores pueden mejorar la calidad del agua. La acuicultura para la restauración y la conservación se ha definido como “el uso del cultivo humano de un organismo acuático para el manejo planeado y la protección de un recurso natural”. Si bien es una línea de investigación en desarrollo a nivel mundial (Froehlich *et al.*, 2017), es fundamental integrar este tipo de conceptos en la creación de políticas que anticipen y orienten la demanda social para realizar la acuicultura en ANP de manera que sea compatible y justa con la sociedad y los ecosistemas.

168

A la acuicultura para la restauración se le atribuyen una serie de directrices que incluye la selección de sitios óptimos para contribuir a la recuperación de especies y ecosistemas clave. Para esto es fundamental identificar la escala de cultivo que el medio puede soportar y las artes de cultivo que sean más adecuadas. Otro componente clave es reconocer el valor económico y social de los beneficios ambientales. Esto permitirá reconocer las oportunidades que pueden presentarse en el mediano plazo y que deberán de atenderse mediante la creación de políticas públicas que puedan favorecer a los operadores locales y comunidades (The Nature Conservancy, 2021).

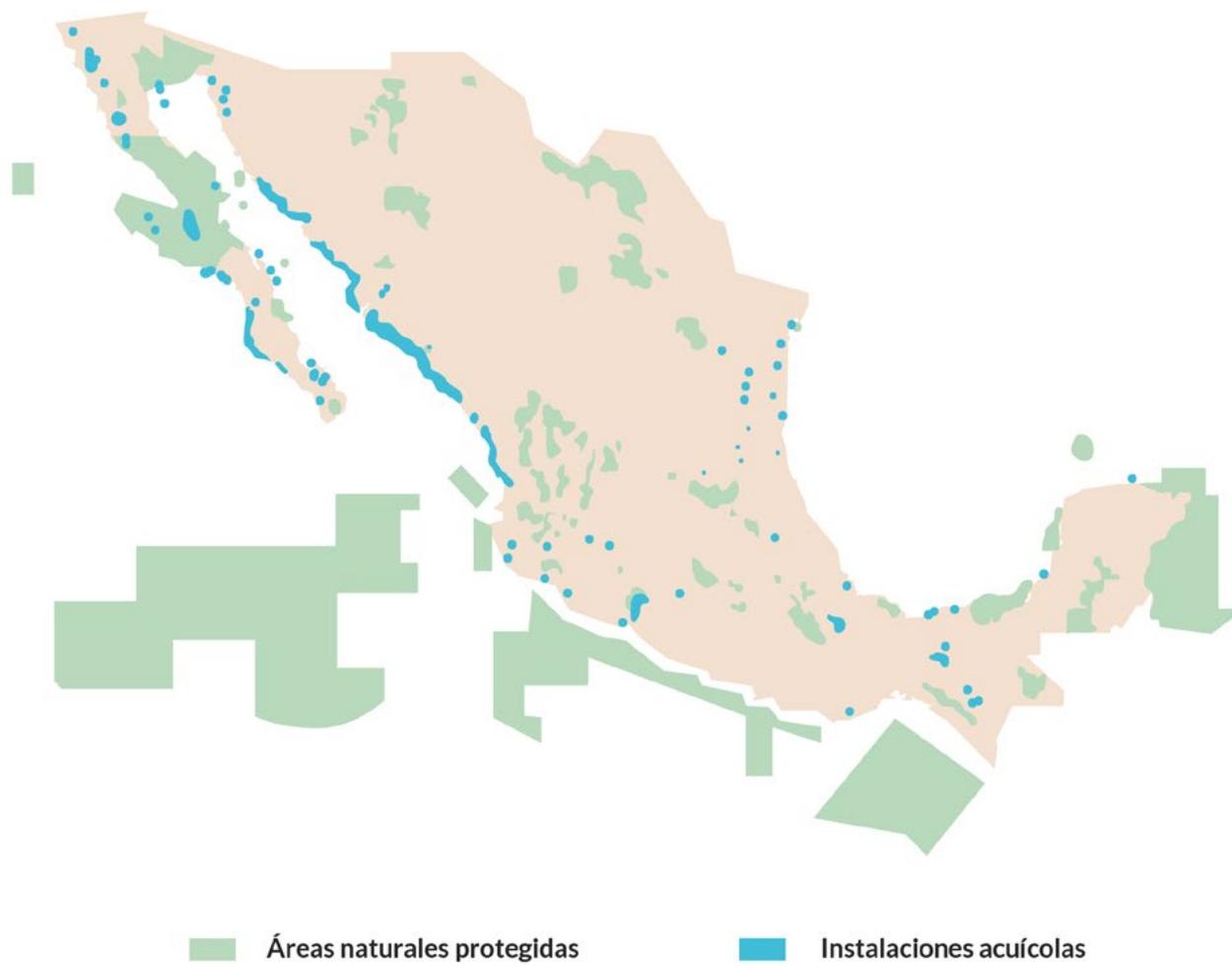


Figura 1. Concesiones y permisos acuícolas con fecha de vencimiento en 2048.

Fuente: Elaboración propia con datos públicos de la CONANP y la CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

4. La dependencia de la acuicultura sobre las pesquerías de reducción, cada vez menor

Una de las críticas más recurrentes a la acuicultura, que también es de las principales restricciones para el crecimiento de la producción acuícola, es la dependencia de pelágicos menores para formulación de dietas balanceadas (Tacon y Metian, 2009). Se estima que, en 2006, la acuicultura consumió 23.8 millones de toneladas de pelágicos menores, por lo que la actividad constituye el principal destino de las capturas de estas especies para consumo no humano (Tacon y Metian, 2009). Así, se podría argumentar que, sin una opción alimenticia para la producción acuícola, no se puede considerar a la acuicultura como una alternativa a las pesquerías (Emerson, 1999). Además, la remoción de grandes volúmenes de organismos de las bases de las cadenas tróficas marinas tiene implicaciones ecológicas inciertas.

170

Como evidencia, en general, la biomasa de pelágicos menores requerida para producir un kilogramo de productos acuícolas requiere en promedio de un factor de 2 a 3 (Emerson, 1999), el cual aumenta con especies carnívoras, llegando al extremo en la producción de atún aleta azul, que requiere en promedio entre 10 y 20 kilogramos de sardina o macarela para producir un kilogramo de atún, aunque puede alcanzar un requerimiento de hasta 28 kilogramos (Estess *et al.*, 2014; Metian *et al.*, 2014; Naylor y Burke, 2005; Ottolenghi, 2008; Volpe, 2005). Para mitigar esto, se han desarrollado formulaciones con mayor contenido de proteína vegetal y se ha fomentado el reaprovechamiento de los residuos del procesamiento de los productos acuícolas y pesqueros (*e.g.* vísceras, capturas incidentales) para la producción de alimentos. Este avance en el desarrollo de alimentos formulados con bases vegetales y la preferencia por los cultivos de moluscos bivalvos y otras especies que no requieren ser alimentados, es clave para que el uso de harinas se optimice y la dependencia se reduzca.

Una de las estrategias en materia de política pública dedicadas a proteger la fauna silvestre mientras se impulsa la pesca es el cierre del mar abierto a la pesca (White y Costello, 2014; Sumaila *et al.*, 2015). La propuesta consiste en prohibir la pesca fuera de la zona marítima

exclusiva, creando un espacio en mar abierto donde las especies explotadas puedan reproducirse, manteniendo la población natural, medida que impulsaría la producción pesquera, mejoraría la producción y no acarrearía un efecto significativo sobre el rendimiento de la mayoría de la acuicultura a nivel mundial (Peñalosa-Martinell *et al.*, 2020).

En México, la biomasa de pelágicos menores destinada a la reducción (*e.g.* convertirla en harinas) ha disminuido considerablemente en los últimos diez años, pasando de casi 40% del volumen nacional en 1998 a menos de 15% desde 2014 (Fig. 2). Si consideramos que en este mismo tiempo las actividades de cultivo en el país han aumentado considerablemente, podemos ver que no se relaciona con una mayor demanda de harinas de pescado (CONAPESCA, 2018).

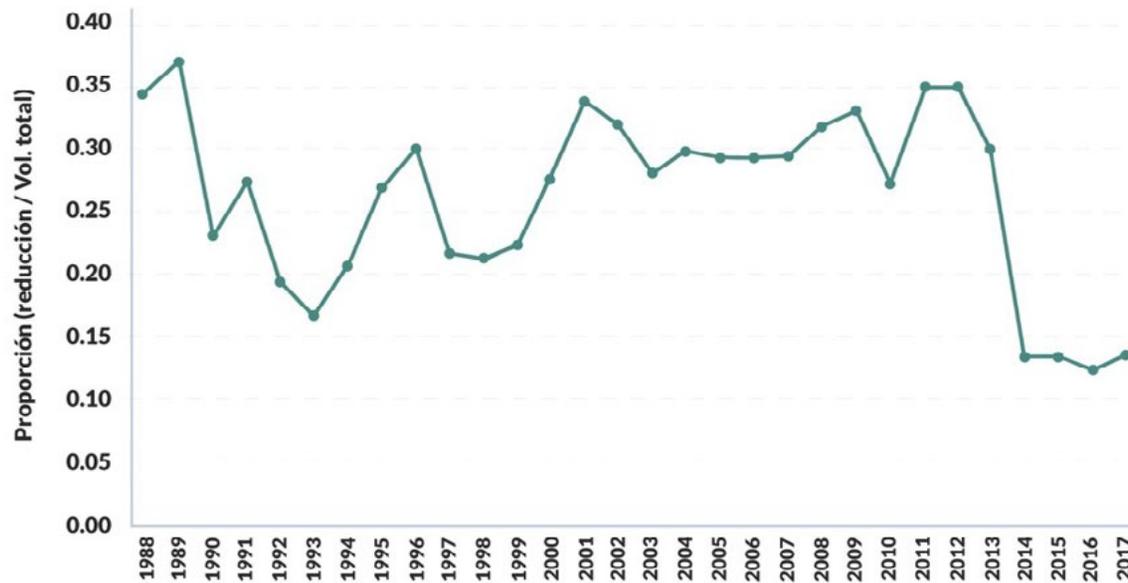


Figura 2. Proporción del volumen de pesca anual que se destina para la reducción (harinas).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA, 2018.

5. El uso de semillas o individuos del medio natural para engorda

De manera similar al uso de pesquerías de reducción para la formulación de alimentos, la acuicultura también depende del medio natural para la adquisición de semillas o juveniles para engorda. Esta práctica es conocida como acuicultura basada en capturas. Si bien ya existe la tecnología y la infraestructura para la producción de semillas de las principales especies (*e.g.* camarón, ostión, mejillón, tilapia, bagre y salmón), se estima que, en 2008, 20% del valor de la producción acuícola marina mundial proviene de semillas de poblaciones silvestres (Lovatelli y Holthus, 2008). La remoción de organismos de la población natural, si bien es una manera de añadir valor a organismos que cuentan con alta tasa de mortalidad natural, no está libre de externalidades negativas (*i.e.* genera impactos negativos que no se reflejan en el costo de las semillas). Además, es una restricción para el crecimiento de la industria, ya que el volumen de la producción será siempre proporcional al tamaño de la población natural. Aunque se resalta que la mayor parte de las especies en producción comenzaron siendo CBA, conforme creció la producción se generó la justificación y la demanda para desarrollar los paquetes tecnológicos para cerrar los ciclos de producción (*e.g.* camarón, ostión).

6. Impactos negativos en la conservación genética y la biodiversidad

Una práctica ampliamente difundida a nivel mundial es el uso de la acuicultura como fuente para reabastecer recursos pesqueros silvestres, al liberar intencionalmente larvas o juveniles de organismos de interés comercial. Si bien algunos programas han tenido éxito, existen preocupaciones al respecto, pues pueden disminuir la variabilidad genética de las poblaciones haciéndolas más vulnerables a largo plazo (Perez-Enriquez *et al.*, 2001).

Otro riesgo es el escape de organismos de producción. Aunque en algunos casos se trate de especies nativas, los organismos en producción muchas veces se tratan de líneas genéticas seleccionadas para fines productivos (*e.g.* mayor tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, aumento de tolerancia a condiciones subóptimas), por lo que la transferencia de estas características hacia las poblaciones silvestres puede modificar de manera importante las comunidades locales (Svåsand *et al.*, 2007; Baskett *et al.*, 2013).

A pesar de lo anterior, el riesgo más claro para la diversidad es la introducción de especies invasoras, ya que son vectores de enfermedades ocasionadas por el comercio de semillas y de peces reproductores, o directamente por los escapes de organismos en engorda de las granjas (Murray y Peeler, 2005). Por ejemplo, las enfermedades del ostión japonés introducidas en Norteamérica provocaron la reducción de los recursos nativos de ostiones en la costa occidental de Estados Unidos (Emerson, 1999).

7. La acuicultura y el cambio climático

El sector agroalimentario mundial tiene la presión de producir un volumen cada vez mayor para proveer alimentos a una población estimada de 9,700 millones de personas en 2050. Esto es solo una parte del reto, ya que lograrlo provocando el mínimo impacto en los ecosistemas y en el contexto del cambio climático es, en realidad, el mayor obstáculo. Como ya se ha mencionado, el uso de agua y suelo para las instalaciones acuícolas es básico y puede tener repercusiones en el entorno si no hay planeación adecuada y manejo de las descargas de agua. En términos mundiales, el desarrollo tecnológico de la acuicultura es muy avanzado para evitar impactos que contribuyan a la degradación de los ecosistemas. Sin embargo, la transferencia de tecnología a países en desarrollo, como México, enfrenta retos que obstaculizan la implementación; por ejemplo, la falta de capacidades (profesionalización de la actividad), inversión financiera y el acceso limitado para la mayoría de los productores a la tecnología de vanguardia, debido a los costos o capacidades técnicas.

174

La producción de alimentos mediante la acuicultura puede exacerbar los efectos del cambio climático en el país al propiciar la degradación de hábitats, la modificación de costas, el cambio de uso de suelo, las descargas de agua residual, el uso de combustibles fósiles y conflictos entre usuarios que compiten por espacio y recursos (e.g. agricultura y turismo). Este escenario debe evitarse mediante la inversión estratégica en planeación, estudios de capacidad de carga, desarrollo de capacidades y profesionalización. De manera transversal, la inversión en ciencia y desarrollo de tecnología es fundamental para innovar y adaptar las tecnologías de vanguardia al contexto nacional. En el capítulo VII de este diagnóstico, se abordarán los impactos del cambio climático y la vulnerabilidad del sector acuícola mexicano de manera más profunda.

8. Resumen de impactos ambientales

Los impactos ambientales de la acuicultura en México no han sido analizados de manera exhaustiva. Sin embargo, se han documentado efectos directos por el cultivo de determinadas especies en ciertas entidades federativas. El balance de los impactos depende fundamentalmente del manejo, el tipo de cultivo y el acceso a la ciencia y la tecnología, así como de la evaluación preventiva para el establecimiento de unidades de producción. Para lograr un desarrollo acuícola de bajo impacto ambiental es clave contar con un marco legal y reglamento actualizado, con objetivos de desarrollo definidos que fomenten la sostenibilidad de la actividad a largo plazo. De esta manera, se podría realizar la acuicultura con métodos actualizados basados en ciencia y tecnología, buscando revertir y mitigar los efectos negativos, haciendo un uso eficiente de los recursos.

La acuicultura es una actividad sensible a la alteración de los ecosistemas. La planeación misma de esta actividad productiva debe conducir a un uso razonable y equilibrado de los recursos; en particular, la planeación territorial debe identificar los espacios apropiados para la acuicultura, las especies susceptibles de desarrollo de acuerdo con la vocación natural de las zonas y el tipo de tecnologías pertinentes y acordes a la capacidad de carga de los ecosistemas.

En la actualidad, los impactos son cada vez menores gracias al uso de tecnologías, como los sistemas recirculación, los cultivos multitróficos, la maricultura en aguas abiertas y el cultivo de especies nativas. Es claro que, sin un plan nacional de largo plazo que incluya planeación espacial, estudios de capacidad de carga de los sistemas con potencial acuícola, recuperación de ecosistemas (e.g. zonas de manglar) y colaboración estrecha entre los productores, gobierno y academia, el desarrollo de la acuicultura puede derivar en daños incalculables a los ecosistemas y acarrear problemas sociales aún mayores.

Es fundamental priorizar los estudios de capacidad de carga, ya que es la base para una planeación eficiente que permita reducir los impactos negativos asociados con la mala ubicación y el crecimiento desordenado de la actividad acuícola. En términos generales, se

define la capacidad de carga de cualquier sistema como el nivel de uso que puede tener un organismo y que puede ser sostenido en el largo plazo por la capacidad regenerativa de la naturaleza. Esta idea se complementa con otras, como la capacidad de asimilación¹⁶ y la capacidad ambiental.¹⁷ La evaluación de capacidad de carga es una de las herramientas más importantes para analizar no solo la sustentabilidad ambiental de las granjas o los volúmenes de producción, sino que puede aplicarse a nivel del ecosistema, a escala regional e incluso global. En años recientes, el concepto se ha ampliado para considerar un análisis sistémico en la estimación de la capacidad de carga, por lo que se divide en cuatro categorías que incluyen los componentes a) físicos, b) productivos, c) ecológicos y d) sociales (McKindsey *et al.*, 2006).

176 En 2006, la FAO reconoció la necesidad de orientar el desarrollo acuícola con un enfoque basado en el ecosistema, con la finalidad de fortalecer el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995). La propuesta consistió en visibilizar la acuicultura y sus interacciones con el ecosistema de manera que promoviera el desarrollo sustentable, la equidad y la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos interconectados, para lo cual establecieron tres principios:

1. El desarrollo y el ordenamiento de la acuicultura deben tener en cuenta la gama completa de funciones y servicios de los ecosistemas, y no comprometerlos para el beneficio de la sociedad.
2. La acuicultura debe mejorar el bienestar humano y la equidad para todas las partes interesadas pertinentes.
3. La acuicultura debe desarrollarse en el contexto de otros sectores, políticas y objetivos.

¹⁶La capacidad de un área para mantener un medio ambiente saludable y procesar los desechos (Fernandes *et al.*, 2001).

¹⁷La capacidad del medio ambiente para mantener una actividad o tasa de actividad sin que el impacto deteriore sus funciones (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 1986).

Estas recomendaciones no han sido consideradas en el desarrollo acuícola de nuestro país, pero se reconoce la necesidad de incorporar estudios de capacidad de carga, instrumentos de planeación espacial que integren a los diferentes usuarios y recursos (e.g. agua, suelo, energía), así como una visión holística que involucre también criterios ante los efectos asociados con el cambio climático. La problemática ambiental es inherente a la acuicultura; por ende, es importante analizar los impactos, de manera balanceada, considerando otras actividades agroalimentarias y comprendiendo los polos (positivos y negativos). A continuación, se muestra un análisis de impactos positivos y negativos.

Tipo	Impacto	Temática	Descripción
Ambiental	Positivo	Disminución de la presión pesquera	Producción de proteína animal (pescados y mariscos) altamente eficiente, independiente a la captura.
	Positivo	Restauración de ecosistemas y poblaciones	El cultivo puede enfocarse en restaurar poblaciones de organismos diezmados y/o amenazados (corales, abulón, totoaba, erizos, pepino de mar etc.); y el cultivo de moluscos filtradores (ostión) es útil como biorremediación de bahías y lagunas
	Positivo	Protección natural ante huracanes	La restauración de bancos de ostión puede servir como arrecifes artificiales que reducen el oleaje de marea durante huracanes y tormentas, brindando protección costera.
	Positivo	Protección de facto y disponibilidad de hábitat artificial	Las zonas concesionadas a la maricultura representan zonas de exclusión pesquera; por lo tanto, brindan un refugio para especies comerciales. Las estructuras proveen sustrato para la fijación de larvas, juveniles de diversas especies (ver anexo) y fauna que es atraída.
	Negativo	Captura de carbono Nutrientes y productos de desecho	El cultivo de algas (macro y micro) contribuye a capturar CO2 atmosférico.
	Negativo	Modificación de hábitats	Aumento del nivel de nutrientes (nitrógeno y fósforo), eutrofización del agua, favorecimiento al desarrollo de algas nocivas.
	Negativo	Variabilidad genética y biodiversidad	Destrucción, fragmentación y alteración de hábitats críticos como los manglares. Modificación de la estética del paisaje.
	Negativo	Sanidad acuícola	Disminución de la diversidad genética si hay un cruce con especies silvestres.
	Negativo	Contaminación por químicos y antibióticos	Amplificación y transmisión de enfermedades y parásitos a poblaciones silvestres.
	Negativo	Fuga de especies	El uso de antibióticos y otras sustancias químicas para el control de enfermedades puede afectar a las poblaciones silvestres. Introducción de especies exóticas que pueden causar daños profundos en los ecosistemas, desplazando especies nativas.

Tabla 1. Impactos ambientales (positivos y negativos)
Fuente: Elaboración propia con base en la revisión bibliográfica y experiencia de los autores.

9. Impactos socioeconómicos

178

La acuicultura no solo provee alimentos de alta calidad, sino trabajos y un medio de vida para más de veinte millones de personas en el mundo (FAO, 2020). En la última década, el interés social para emprender proyectos acuícolas en México ha incrementado. Sin embargo, la serie de reglas e instituciones que enmarcan la actividad son determinantes para que los resultados sean principalmente positivos para la sociedad y los proyectos sean rentables. Por otro lado, existen también varios ejemplos de conflictos sociales relacionados con el sector acuícola. La modificación del paisaje por la instalación de granjas acuícolas es una de las consecuencias que genera conflictos con las industrias turística, pesquera y agrícola. Es variable en función del tipo de cultivo, ya sea por operaciones marítimas o por la instalación de estanques y tinas en tierra que requieren un uso de suelo que en algunos casos interfiere con otros usuarios. Asimismo, las granjas acuícolas pueden promover el desplazamiento de empleos locales debido a la interacción y los conflictos de uso de los recursos (Emerson, 1999). Un caso icónico se presentó en 2016, cuando se registró la mortalidad de 100,000 toneladas de salmón en Chile, de las cuales, según se reportó, entre 6,000 y 75,000 toneladas se descartaron en el mar, lo que causó conflicto con las comunidades pesqueras que reclaman que esta solución causó una marea roja que afectó a las pesquerías de moluscos (Gerhart, 2017).

Otro tipo de conflicto social se ha dado cuando se establecen pequeñas iniciativas para fomentar el empleo acuícola. Conforme crecen las unidades económicas¹⁸, los operadores más eficientes tienden a desplazar o absorber a las pequeñas operaciones. Ascende la eficiencia de la producción, a costa de la reducción del empleo y del aumento de la inequidad en el ingreso en las comunidades (Emerson, 1999). En México, un ejemplo es el cultivo del camarón blanco, que compite en el mercado con las especies de captura que han mantenido una tendencia negativa en las producciones de los últimos diez años. En este sentido, la producción acuícola, al ser constante y controlada,

¹⁸Son los establecimientos que se dedican a realizar diversas actividades económicas y se agrupan en 20 sectores de actividad, incluyendo la acuicultura (INEGI, 2020).

tiene un impacto en el valor de los productos y la demanda. El valor y el volumen de los productos acuícolas mexicanos se ha incrementado en los últimos seis años, alcanzando un valor de 16,000 millones de pesos por la producción de más de 240,000 toneladas (CONAPESCA, 2018). La producción acuícola mexicana representa aproximadamente 40% del valor total de la producción de peces y mariscos del país, estimado en 36,000 millones de pesos (Fig. 3). Por otro lado, el número de personas involucradas en el sector acuícola sigue en aumento; más de 56,000 personas integran el sector, operando 9,320 unidades de producción acuícola en México (CONAPESCA, 2018).

En lo que corresponde a las condiciones sociales del sector acuícola, existen varias necesidades y áreas de oportunidad para mejorar. De acuerdo con SAGARPA-IICA (2019), con base en la Encuesta Nacional de Pesca y Acuicultura 2016, se estima que 25% de los productores no están registrados y por lo tanto no cuentan con los permisos vigentes. Datos de la misma encuesta muestran cierta atomización del sector, ya que, en promedio, hay dos trabajadores por UE acuicultoras, con un salario promedio semanal de mil pesos, considerando todas las formas de acuicultura en el país.

Los acuicultores acceden a mejores salarios en comparación con el promedio salarial mensual en las UE pesqueras, el cual es de 750 pesos (SAGARPA-IICA, 2019). Por otro lado, en términos de bienestar, se identifica que 78% de los acuicultores reconocen tener un tipo de seguridad social (incluyendo seguro popular, ahora extinto), dato que podría ser significativo en comparación con el sector pesquero. No obstante, con los cambios recientes en la Secretaría de Bienestar, sería importante abordar nuevamente este componente y actualizar el cálculo. Otro instrumento que se ha estudiado poco a nivel mundial es el del uso de subsidios en la producción acuícola. Se ha demostrado que los subsidios que incrementan la capacidad productiva (e.g. al combustible) en el sector pesquero tienen un impacto ambiental y social negativo a largo plazo (Sumaila et al., 2019; Skerrit & Sumaila, 2021). Además, existe un debate significativo sobre el efecto de los subsidios en agricultura, sus impactos y, finalmente, sobre el grupo que realmente se beneficia de este instrumento (Kurdi et

al., 2020; Mockshell & Birner, 2020). A pesar de esto, existen subsidios acuícolas que pueden tener un importante efecto socioambiental negativo, como los subsidios energéticos o asociados al consumo de combustibles (Peñalosa-Martinell, 2021). La clasificación, análisis y distribución de recursos utilizados para el subsidio de las actividades acuícolas requiere de mayor atención para su correcta planeación

180

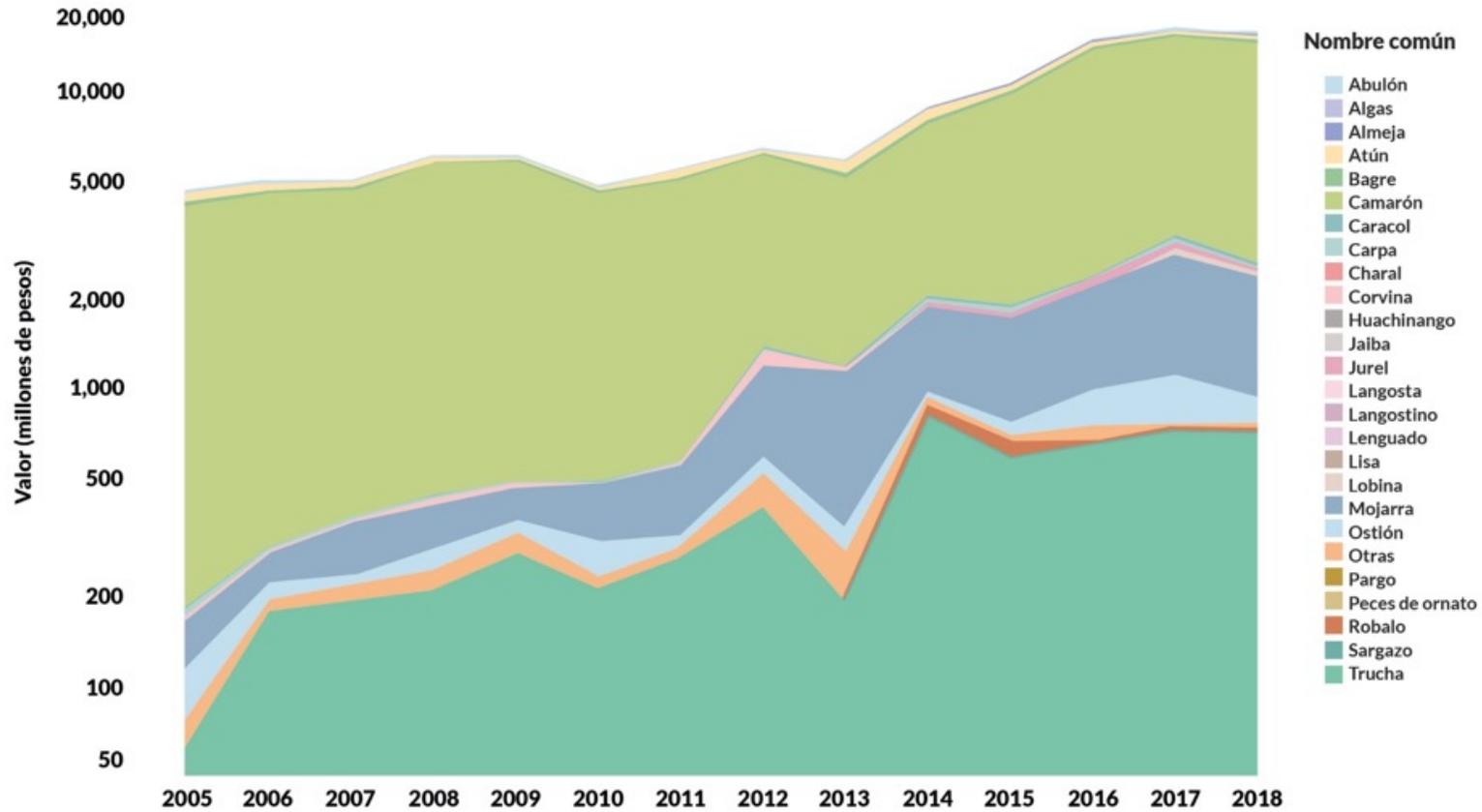


Figura 3. Valor histórico de las producciones acuícolas en México. Las categorías son las que registra CONAPESCA, debe considerarse que la tilapia está etiquetada como mojarra y para las langostas y langostinos, se agrupan invertebrados de agua dulce (*Machrobrachium* spp. y *Cherax* spp.).

Fuente: datos públicos de la CONAPESCA, 2020.

Tipo	Impacto	Temática	Descripción
Socioeconómico	Positivo	Seguridad alimentaria	Producción de proteína animal rica en nutrientes y alta calidad.
	Positivo	Energía	Los cultivos son compatibles con energías alternativas y pueden contribuir a reducir el uso de combustibles fósiles.
	Positivo	Empleo	La acuicultura es una fuente de empleo formal.
	Positivo	Ingresos económicos	La relación de volumen y valor es alta, generando buenos ingresos a nivel municipal, estatal y nacional.
	Positivo	Inversiones	El potencial acuícola atrae la inversión económica.
	Positivo	Ciencia y tecnología	Al ser una actividad basada en ciencia, los centros acuícolas son candidatos para recibir apoyos federales y privados para incrementar el conocimiento científico y desarrollar tecnología.
	Negativo	Competencia y traslape de espacios	La actividad puede desplazar o competir con otros usuarios de áreas terrestres y marinas (turismo y pesca).
	Negativo	Mercados	Aumenta la demanda de mariscos y pescados. Por otro lado, puede controlar los precios debido a la producción menos variable.

Tabla 2. Impactos socioeconómicos relacionados con la acuicultura

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión bibliográfica y experiencia de los autores.

10. El camino a la sustentabilidad

El impacto medioambiental dependerá, en gran medida, de la ubicación de las instalaciones, la especie seleccionada, el método de cultivo, la densidad del recurso, el tipo de alimentación, las características del sitio y las condiciones hidrográficas (Borja, 2002). Para cada efecto negativo que ha tenido la acuicultura, se ha generado una alternativa de mitigación y actualmente se cuenta con herramientas tecnológicas y científicas suficientes para reducir el daño ambiental. Por ejemplo, se ha mejorado la producción de alimentos considerando el tiempo que duran en el agua, para evitar que se deshagan y generen desechos; la sustitución del alimento a base de plantas en la mayor parte de la engorda ha permitido optimizar el uso de harinas de pescado y aceites, aplicándola en la fase previa a la cosecha para proporcionar sabor a la carne; se han reemplazado los antibióticos por probióticos, prebióticos y técnicas de limpieza (baños de agua dulce), y algunos cultivos integran especies de peces limpiadores que mantienen un control natural de los parásitos. Algunas de estas prácticas ya se aplican en México y cuentan con el reconocimiento internacional, por lo que derivan en productos de alta calidad y de bajo impacto ambiental como el jurel (*Seriola rivoliana*) de Baja California producido por Kampachi Farms México (Fig. 4), el ostión producido por Marimex/Sol Azul, las certificaciones de callo de hacha, tilapia, camarón y recientemente la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) producida por la empresa Earth Ocean Farms en La Paz, Baja California Sur. En el capítulo I se puede consultar un mapa para ubicar estas empresas.

Generar conciencia hacia la sustentabilidad es una tarea que integra el diseño y la aplicación de leyes, políticas y reglamentos. La participación de los diferentes sectores es clave, incluyendo al gobierno, los productores, los académicos y las OSC usando la ciencia y tecnología como estrategia transversal para generar acuerdos y tomar decisiones. En el documento “Desarrollo de la acuicultura: Enfoque ecosistémico a la acuicultura” (FAO, 2011), se establece que el enfoque ecosistémico de la acuicultura como estrategia debe ser el medio para alcanzar un nivel superior de políticas que refleje los objetivos y los acuerdos relevantes de desarrollo a nivel nacional,

regional e internacional, encauzados hacia la sustentabilidad, la equidad y la capacidad de recuperación de los sistemas socio-ecológicos interconectados.

Con el desarrollo científico se han diseñado metodologías y herramientas para la ubicación de granjas marinas, que incluyen el análisis espacial y el uso de modelos oceanográficos que ayudan a ubicar los sitios óptimos para el cultivo de determinadas especies. Esto, en conjunto con la estimación de la capacidad de carga de los sistemas, es fundamental para el desarrollar la acuicultura sustentable.



Figura 4. Estructuras para el maricultivo de jurel (*Seriola rivoliana*).
Fotos: Daniel Vázquez-Arce, Kampachi Farms México.

11. Conclusiones y recomendaciones

- La acuicultura es una actividad basada en el desarrollo científico y tecnológico para generar alimentos de alta calidad que puedan compensar el costo de operación. La búsqueda de alternativas para mitigar los impactos ambientales ha sido clave para posicionar la reputación de la actividad no solo como una actividad sustentable, sino como alternativa para la restauración de ecosistemas, la protección costera, la recuperación de pesquerías y la generación de empleos dignos y bien remunerados.
- El avance es contundente ante la demanda de los productos acuícolas, y el camino hacia la sustentabilidad es una de las principales metas al iniciar proyectos acuícolas.
- El grado de impacto ambiental depende de:
 - La ubicación del sitio.
 - La especie que se cultive.
 - La modalidad del cultivo.
 - La disponibilidad de los recursos (suelo, agua, energía).
 - La interacción con otros usuarios de recursos compartidos.
 - El desarrollo claro y objetivo de un marco legal bien definido y actualizado.
 - La correcta aplicación de la legislación.
- En términos socioeconómicos, la acuicultura es una actividad importante, que emplea a 56,250 personas en México, que operan 9,320 unidades de producción distribuidas en todas las entidades federativas, las cuales generan, en promedio, 15,376 millones de pesos anuales (2016-2018), cifra que representa 40% del valor total de la producción de pescados y mariscos a nivel nacional (incluyendo pesca en aguas interiores).

- Es importante reconocer que, además de los impactos positivos en términos socioeconómicos, existen retos importantes para integrar un patrón de productores a nivel nacional y dar seguimiento a todas las operaciones acuícolas. Entre los principales retos, se puede identificar el cambio de uso de suelos y la interacción con otros usuarios, que puede ser conflictiva (turismo, pescadores y ejidatarios), debido a la sobreposición de derechos de acceso.
- La principal recomendación para minimizar los impactos ambientales y maximizar el beneficio socioeconómico consiste en la planeación de mediano y largo plazo mediante un proceso participativo que incorpore a los diferentes actores (gobierno, productores, empresarios, académicos y OSC) para identificar dónde, cómo, cuánto y qué cultivar para alcanzar las metas de producción sin comprometer el estado de los recursos naturales y asegurando el desarrollo social y económico.
- La planeación espacial integral y estudios de capacidad de carga pueden ser directrices del crecimiento de la acuicultura. Sin embargo, solo son unos de los componentes, ya que también es crítico invertir en la profesionalización de la actividad, en investigación científica y en modelos que integren políticas públicas adecuadas que permitan canalizar los fondos necesarios y adaptar el marco legal para que esto ocurra y sea prioridad en la administración pública de cada gobierno.
- Es necesario evaluar el potencial de la acuicultura para la restauración y conservación en el territorio nacional. Las directrices internacionales pueden dirigir los esfuerzos para fortalecer una parte del desarrollo de la actividad acuícola.
- El crecimiento de la actividad acuícola es un fenómeno reciente en la historia del país. A diferencia de lo sucedido con otros sectores agroalimentarios, esa tendencia ha coincidido con significativos avances científicos y tecnológicos que conviene aprovechar. Se debe documentar reconocer y evaluar de manera fina el potencial de la acuicultura nacional; fomentar el desarrollo sustentable debe ser compromiso y responsabilidad de todos los actores involucrados.

12. Referencias

- Baskett, M. L., Burgess, S. C. y Waples, R. S. (2013). Assessing strategies to minimize unintended fitness consequences of aquaculture on wild populations. *Evolutionary Applications*, 6(7), 1090-1108. <https://doi.org/10.1111/eva.12089>.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Bocco, G. y Vekerdy, Z. (2011). Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 54(7), 535-543. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.04.004>.
- Borja, Á. (2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, 18(1-4), 41-49. ISSN: 0074-0195.
- 186 Boyd, C. E., Davis, R. P., & McNevin, A. A. (2021). Perspectives on the mangrove conundrum, land use, and benefits of yield intensification in farmed shrimp production: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, jwas.12841. <https://doi.org/10.1111/jwas.12841>
- CONAPESCA (2018). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. México*, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- CONAPESCA-Acuasesor (s. f.). Consultado el 10 mayo de 2020, en https://acuasesor.conapesca.gob.mx/transparencia_permisos.php.
- Dierberg, F. E. y Kiattisimkul, W. (1996). Issues, impacts, and implications of shrimp aquaculture in Thailand. *Environmental Management*, 20(5), 649-666.
- DOF (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Publicado el 12 de julio de 2019. Consultado en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019.
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B. y Little, D. C. (2019). Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*, 106, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103547>.

Emerson, C. (1999). Aquaculture impacts on the environment. Cambridge Scientific Abstracts.

Estess, E. E., Coffey, D. M., Shimose, T., Seitz, A. C., Rodriguez, L., Norton, A., Block, B. y Farwell, C. (2014). Bioenergetics of captive Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture*, 434, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.08.002>.

FAO (1995). *Code of Conduct for Responsible Fisheries*.

– (2011). *Desarrollo de la acuicultura. Enfoque ecosistémico a la acuicultura*. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 5, Supl. 4. Roma, FAO. 60 pp.

– (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

Fernandes, T. F., Eleftheriou, A., Ackefors, H., Eleftheriou, M., Ervik, A., Sanchez-Mata, A., Scanlon, T., White, P., Cochrane, S., Pearson, T. H. y Read, P. A. (2001). The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, 17, 181-193.

Froehlich, H. E., Gentry, R. R. y Halpern, B. S. (2017). Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture's role in resource management. *Biological Conservation*, 215, 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.012>.

Gerhart, A. (2017). Petri dishes of an archipelago: The ecological rubble of the Chilean salmon farming industry. *Journal of Political Ecology*, 24(1), 726-742. <https://doi.org/10.2458/v24i1.20963>.

Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W. y Mortensen, D. A. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *BioScience*, 67(4), 386-391. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>.

INEGI (2020). México. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2020, Información para la actualización e incorporación de unidades económicas al DENU; datos a noviembre de 2020. Información general*. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/rnm/>

index.php/catalog/587.

Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (1986). Environmental Capacity, an Approach to Marine Pollution Prevention. *GESAMP Reports and Studies*, No. 30. 62 pp. Disponible en <https://www.unep.org/resources/report/gesamp-environmental-capacity-approach-marine-pollution-prevention>.

Kragestein, T. J., Simonsen, K., Visser, A. W. y Andersen, K. H. (2019). Optimal salmon lice treatment threshold and tragedy of the commons in salmon farm networks. *Aquaculture*, 512, 734329. .

Kurdi, S., Mahmoud, M., Abay, K. A., & Breisinger, C. (2020). Too much of a good thing? Evidence that fertilizer subsidies lead to overapplication in Egypt (Vol. 27). Intl Food Policy Res Inst.

Lovatelli, A. y Holthus, P. F. (eds.) (2008). *Capture-based aquaculture. Global overview*. Roma, FAO. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016007462>.

188

Metian, M., Pouil, S., Boustany, A. y Troell, M. (2014). Farming of bluefin tuna–Reconsidering global estimates and sustainability concerns. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(3), 184-192. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.907771>.

McKindsey, C. W., Thetmeyer, H., Landry, T. y Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, 261(2), 451-462.

Mockshell, J., & Birner, R. (2020). Who has the better story? On the narrative foundations of agricultural development dichotomies. *World Development*, 135, 105043.

Murray, A. G. y Peeler, E. J. (2005). A framework for understanding the potential for emerging diseases in aquaculture. *Preventive Veterinary Medicine*, 67(2), 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.012>.

Naylor, R. y Burke, M. (2005). Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 185-218. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.081804.121034>.

ONU (2019). *World population prospects*. <https://population.un.org/wpp/>

Ottolenghi, F. (2008). *Captured-based aquaculture of bluefin tuna. Capture-based aquaculture*. Global overview, 169-182.

Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruiz-Fernández, A. C. (1998). The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 36(1), 65-75. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90035-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90035-2).

Peñalosa - Martinell, D., Vergara-Solana, F. J., Padilla, M. A., Díaz, G. P., Mejaes, A., Lafuente, M. M. V., & Sumaila, U. R. (2021). Social effects of energy subsidies and taxes on CO2 emissions: The case of Mexican aquaculture public policies. *Marine Policy*, 128, 104481.

Peñalosa-Martinell, D., Cashion, T., Parker, R. y Sumaila, U. R. (2020). Closing the high seas to fisheries: Possible impacts on aquaculture. *Marine Policy*, 115, 103854. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103854>.

Perez-Enriquez, R., Takemura, M., Tabata, K. y Taniguchi, N. (2001). Genetic diversity of red sea bream *Pagrus major* in western Japan in relation to stock enhancement. *Fisheries science*, 67(1), 71-78. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00201.x>. 189

Primavera, J.H. (2006). Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean & Coastal Management*, 49, 531-545.

SAGARPA-IICA (2019). *El sector pesquero en México descrito a partir de la Encuesta Nacional de Pesca y Acuicultura 2016*. México. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de https://www.academia.edu/38373761/IICA_EL_Sector_Pesquero_en_Mexico_Feb_14_2019_pdf.

Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Griffiths, D., Trong, T. Q., Vu, N. T., Jiravanichpaisal, P. y Briggs, M. (2018). Asian shrimp production and the economic costs of disease. *Asian Fisheries Science*, 31S, 29-58.

Skerritt, D. J., & Sumaila, U. R. (2021). Broadening the global debate on harmful fisheries subsidies through the use of subsidy intensity metrics. *Marine Policy*, 128, 104507.

Sumaila, U. R., Lam, V. W. Y., Miller, D. D., Teh, L., Watson, R. A., Zeller, D., Cheung, W. W. L., Côté, I. M., Rogers, A. D., Roberts, C., Sala, E. y Pauly, D. (2015). Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Scientific Reports*, 5(1), 1-6..

- Sumaila, U. R., Ebrahim, N., Schuhbauer, A., Skerritt, D., Li, Y., Kim, H. S., Mallory T G, Lam V. W. & Pauly, D. (2019). Updated estimates and analysis of global fisheries subsidies. *Marine Policy*, 109, 103695.
- Svåsand, T., Crosetti, D., García-Vázquez, E. y Verspoor, E. (2007). Genetic impact of aquaculture activities on native populations. *Genimpact final scientific report* (EU contract n. RICA-CT-2005-022802).
- Tacon, A. G. J. y Metian, M. (2009). Fishing for aquaculture: Non-food use of small pelagic forage fish. A global perspective. *Reviews in Fisheries Science*, 17(3), 305-317..
- The Nature Conservancy. 2021. Global Principles of Restorative Aquaculture. Arlington, VA
- Volpe, J. P. (2005). Dollars without sense: The bait for big-money tuna ranching around the world. *BioScience*, 55(4), 301-302. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0301:DWSTBF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0301:DWSTBF]2.0.CO;2).
- 190 White, C. y Costello, C. (2014). Close the high seas to fishing? *PLOS Biology*, 12(3), e1001826. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001826>.
- Whitmarsh, D. y Wattage, P. (2006). Public attitudes towards the environmental impact of salmon aquaculture in Scotland. *European Environment*, 16(2), 108-121. <https://doi.org/10.1002/eet.406>.

Anexo 1. Identificación de fauna asociada a las estructuras de cultivo de pez fuerte (Seriola rivoliana) en la bahía de La Paz, Baja California Sur.

Las estructuras flotantes y submarinas de los centros de maricultura proveen sustrato y potencialmente pueden tener efectos importantes para completar una parte o la totalidad del ciclo de vida de flora y fauna. Al encontrarse ubicadas relativamente alejadas de la costa, proporcionan a las especies silvestres sitios de descanso, alimentación, refugio, protección, reproducción o congregación. Las especies marinas que se asocian con estas estructuras son de hábitos pelágicos, arrecifales y costeros (en algunos casos), así como de presencia constante o migratoria.

Las estructuras pueden ser centros importantes para larvas y juveniles, así como un área de alimentación para otros organismos. El impacto que pueden tener en términos de captación y exportación de organismos no es concluyente y esta es una primera aproximación para identificar los organismos asociados. En Kampachi Farms México, se realiza un estudio piloto para la identificación de flora y fauna asociada. A continuación, se presentan los resultados parciales (datos recopilados por Vázquez-Arce, coautor).

No.	Grupo	Especie	Nombre común
1	Macroalgas	<i>Chaetomorpha</i>	Alga verde
2		<i>Codium simulans</i>	Alga verde
3		<i>Colpomenia phaeodactyla</i>	Alga café
4		<i>Sargassum sinicola</i>	Alga café
5		<i>Jania adherens</i>	Alga roja
7	Invertebrados	<i>Aglaophenia</i> sp.	Pluma hidroide
8		<i>Aiptasia californica</i>	Anémona prolifera
9		<i>Anthopleura elegantissima</i>	Anémona gregaria
10		<i>Anthopleura xanthogrammica</i>	Anémona verde gigante
11		<i>Antipathes galapagensis</i>	Coral negro
12		<i>Aplysia californica</i>	Vaquita de mar o liebre de mar

13	<i>Arbacia stellata</i>	Erizo estrellado
15	<i>Baeolidia moebii</i>	Eólido grande de Mobius
16	<i>Barbatia</i> sp.	ND
17	<i>Bolocerooides</i> sp.	Pequeña picadora
18	<i>Bunodosoma californica</i>	Anémona verrugosa
19	<i>Calliactis polypus</i>	Anémona pidiendo raite
20	<i>Catriona rickettsi</i>	Eólido de Ed Ricketts
21	<i>Centrostephanus coronatus</i>	Erizo bandeado
22	<i>Cerberilla pungoarena</i>	Luchador en arena
23	<i>Clatharia pennata</i>	Esponja roja
24	<i>Crassostrea gigas</i>	Ostión japonés
25	<i>Diadema mexicanum</i>	Diadema mexicana
26	<i>Diaperoforma californica</i>	Briozoario cuerno de venado
27	<i>Echinometra vanbrunti</i>	Erizo puntas rotas
28	<i>Epizoanthus</i> sp.	Epizoántido rojo
29	<i>Eriphia squamata</i>	Cangrejo ojo rojo
30	<i>Eucidaris thouarsii</i>	Erizo punta de lápiz
31	<i>Eurythoe</i> sp.	Gusano de fuego común
32	<i>Felimare ghiselini</i>	Cromodórido de Ghiselini
33	<i>Flabellina marcusorum</i>	Eólido de los Marcus
34	<i>Hermisenda opalescens</i>	Hermisenda opalina
35	<i>Hydractinia</i> cf. <i>milleri</i>	Hidroide puercoespín
36	<i>Isoaulactinia hespervolita</i>	Anémona Western Flyer
37	<i>Lepas anserifera</i>	Percebe ganso
38	<i>Leucetta losangelensis</i>	Esponja blanca
39	<i>Octopus bimaculatus</i>	Pulpo manchado
40	<i>Okenia cochimi</i>	ND
41	<i>Ophiocoma alexandri</i>	Estrella quebradiza espinosa de Alexander
42	<i>Ophionereis annulata</i>	Estrella quebradiza anillada
43	<i>Ophionereis variegatum</i>	Estrella quebradiza multicolor
44	<i>Ophiothrix spiculata</i>	Estrella quebradiza espinosa

45		<i>Ostrea</i> sp.	Ostra
46		<i>Pachygrapsus crassipes</i>	Cangrejo rayado
47		<i>Palaemonella holmesi</i>	Camarón quelas largas
48		<i>Panulirus inflatus</i>	Langosta azul
50		<i>Petrolisthes edwardsii</i>	Cangrejo porcelana de Edwards
51		<i>Phidolopora pacifica</i>	Briozoario encaje
52		<i>Pilumnus spinohirsutus</i>	Cangrejo peludo
53		<i>Pinauay crocea</i>	Tubularia
54		<i>Pinctada mazatlanica</i>	Madre perla
55		<i>Platypodiella rotundata</i>	Cangrejo guijarro naranja
56		<i>Polycera alabe</i>	Nudibranquio mancha de tinta
57		<i>Polycera hedgpethi</i>	Dórido de Hedgpethi
58		<i>Porpita porpita</i>	Botón azul
59		<i>Pugettia venetidae</i>	Cangrejo kelp de Venecia
60		<i>Pseudoceros mexicanus</i>	Bailarín mexicano
61		<i>Pycnoclavella</i> sp.	Tunicado
62		<i>Pycnogonum</i> sp.	Pycnogónidos
63		<i>Physalia physalis</i>	Fragata portuguesa
64		<i>Sphaciospongia confoederata</i>	ND
65		<i>Spirobranchus spinosus</i>	Gusano árbol de navidad
66		<i>Stenorhynchus debilis</i>	Cangrejo araña
67		<i>Stramonita biserialis</i>	ND
68		<i>Tetraclita rubescens</i>	Balanos
69		<i>Tetraclita stalactifera</i>	Balanos
70		<i>Thysanozoon californicum</i>	Gusano plano velludo
73	Peces	<i>Abudefduf troschelii</i>	Mulegino
74		<i>Acanthemblemaria</i> sp.	Trambollín
75		<i>Alphestes immaculatus</i>	Maranguana
76		<i>Aluterus scriptus</i>	Lija
77		<i>Balistes polylepis</i>	Cochito
78		<i>Caranx caballus</i>	Jurel cojinua
79		<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>	Halcón de coral

80		<i>Cirrhitus rivulatus</i>	Mero chino
81		<i>Coryphaena hippurus</i>	Dorado
82		<i>Cypselurus collopterus</i>	Pez volador manchado
83		<i>Euthynnus lineatus</i>	Barrilete
84		<i>Fodiator acutus</i>	Pez volador picudo
85		<i>Hemiramphidae</i>	Pez pajarito
86		<i>Hyporthodus niphobles</i>	Estacuda
87		<i>Hypsoblennius brevipinnis</i>	Cachudito vacilón
88		<i>Hypsoblennius gentilis</i>	Cachudito de bahía
89		<i>Kyphosus sp.</i>	Chopa
90		<i>Labrisomus xanti</i>	Trambollo verde
91		<i>Mobula sp.</i>	Cubana
92		<i>Ophioblennius steindachneri</i>	Cachudito mono
93		<i>Paranthias colonus</i>	Cadernal
94		<i>Sarda orientalis</i>	Bonito
95		<i>Scomber japonicus</i>	Macarela
96		<i>Seriola lalandi</i>	Jurel de Castilla
97		<i>Seriola rivoliana</i>	Pez fuerte
98		<i>Spheroides annulatus</i>	Botete diana
99		<i>Sphyrna sp.</i>	Tiburón martillo
100		<i>Stegastes flavilatus</i>	Dama bicolor
101		<i>Strongylura stolzmanni</i>	Agujón azul
102		<i>Thalassoma lucasanum</i>	Señorita arcoíris
103	Reptiles	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde
104		<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga carey
105		<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga pico de loro
106	Aves	<i>Ardea herodias</i>	Gran garza azul
107		<i>Fregata magnificens</i>	Tijereta
108		<i>Larus heermanni</i>	Gaviota ploma
109		<i>Larus livens</i>	Gaviota patas amarillas
110		<i>Larus occidentalis</i>	Gaviota occidental
111		<i>Chroicocephalus philadelphia</i>	Gaviota de Bonaparte
112		<i>Leucophaeus atricilla</i>	Gaviota reidora

112		<i>Leucophaeus atricilla</i>	Gaviota reidora
113		<i>Leucophaeus pipixcan</i>	Gaviota de Franklin
114		<i>Oceanodroma sp.</i>	Petrel de tormenta
115		<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelicano café
116		<i>Phalacrocorax auritus</i>	Cormorán orejudo
117		<i>Phalacrocorax penicillatus</i>	Cormorán de Brant
118		<i>Podiceps nigricollis</i>	Zambullidor orejudo
119		<i>Puffinus sp.</i>	Pardela
120		<i>Sula dactylatra</i>	Bobo enmascarado
121		<i>Sula leucogaster</i>	Bobo patas cafés
122		<i>Sula nebouxii</i>	Bobo patas azules
123		<i>Synthliboramphus craveri</i>	Mérgulo californiano
124		<i>Thalasseus elegans</i>	Gallito marino elegante
125	Mamíferos	<i>Myotis vivesi</i>	Murciélago pescador
126		<i>Delphinus sp.</i>	Delfín de hocico corto y de hocico largo
127		<i>Zalophus californianus</i>	Lobo marino de California

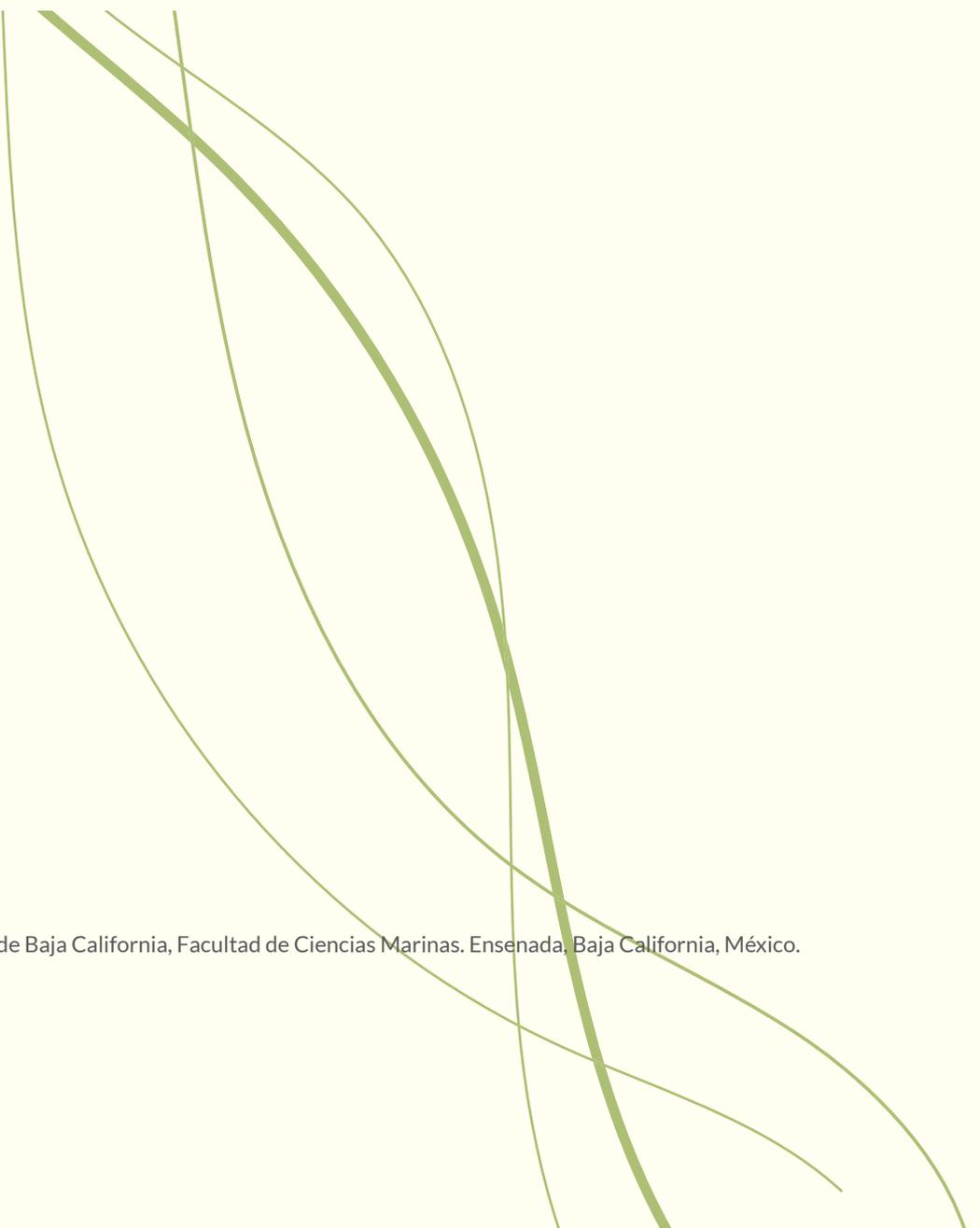
Fuente: datos recopilados por Daniel Vázquez Arce



VI. Relación de la acuacultura y la pesca en México

Leonardo Vázquez-Vera y José Alberto Zepeda Domínguez^a

^a Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California, México.



1. Análisis de las tendencias de producción por pesca y acuicultura

Las actividades de captura y el cultivo de organismos marinos proporcionan suficiente proteína y beneficios para la salud, además de una forma de subsistencia para un gran sector de la población mundial. Durante cuatro décadas, la producción pesquera mundial fue ascendente (1950-1990) hasta que la producción se estabilizó en 80 millones de toneladas anuales en la década de 1990, manteniéndose así hasta la fecha (FAO, 2020). La capacidad y el esfuerzo pesqueros, por el contrario, mantuvieron su incremento en todos los países hasta mediados de la década de 2010 y se han duplicado desde 1950, año en que, se estima, había 1.7 millones de embarcaciones (Rousseau *et al.*, 2019). La flota asiática siempre ha dominado y sigue creciendo, mientras que en la mayoría de las regiones del mundo el esfuerzo pesquero se ha mantenido estable o, en el caso de Europa, ha disminuido considerablemente. En contraste, la acuicultura es la actividad con mayor expansión entre las industrias productoras de alimento, con una tasa de crecimiento anual de 5.8% (para el periodo 2001-2016) (Anticamara *et al.*, 2011).

La acuicultura ha tomado mayor relevancia en la producción de pescados y mariscos en comparación con la actividad de captura. De acuerdo con datos de la FAO, en 2018, se produjeron 210.9 millones de toneladas de pescados, mariscos y algas marinas a nivel mundial; la acuicultura fue responsable de 54% del volumen de producción (FAO, 2020). Las proyecciones más recientes de la FAO apuntan a que la producción pesquera (excluidas las plantas acuáticas) se expanda de 179 millones de toneladas, en 2018, a 204 millones de toneladas, en 2030 (Fig. 1). Las proyecciones de producción, utilización, comercio, precios y cuestiones clave para la pesca y la acuicultura describen una perspectiva que podría influir en la oferta y la demanda futuras. La proyección de crecimiento del sector acuícola de Latinoamérica se estima en 119.7% (World Bank, 2013). Es importante aclarar que estas proyecciones son escenarios factibles que permiten conocer cómo se comportarán estos sectores sin considerar efectos climáticos severos como tormentas tropicales (ciclones, huracanes y tifones), inundaciones y enfermedades emergentes.

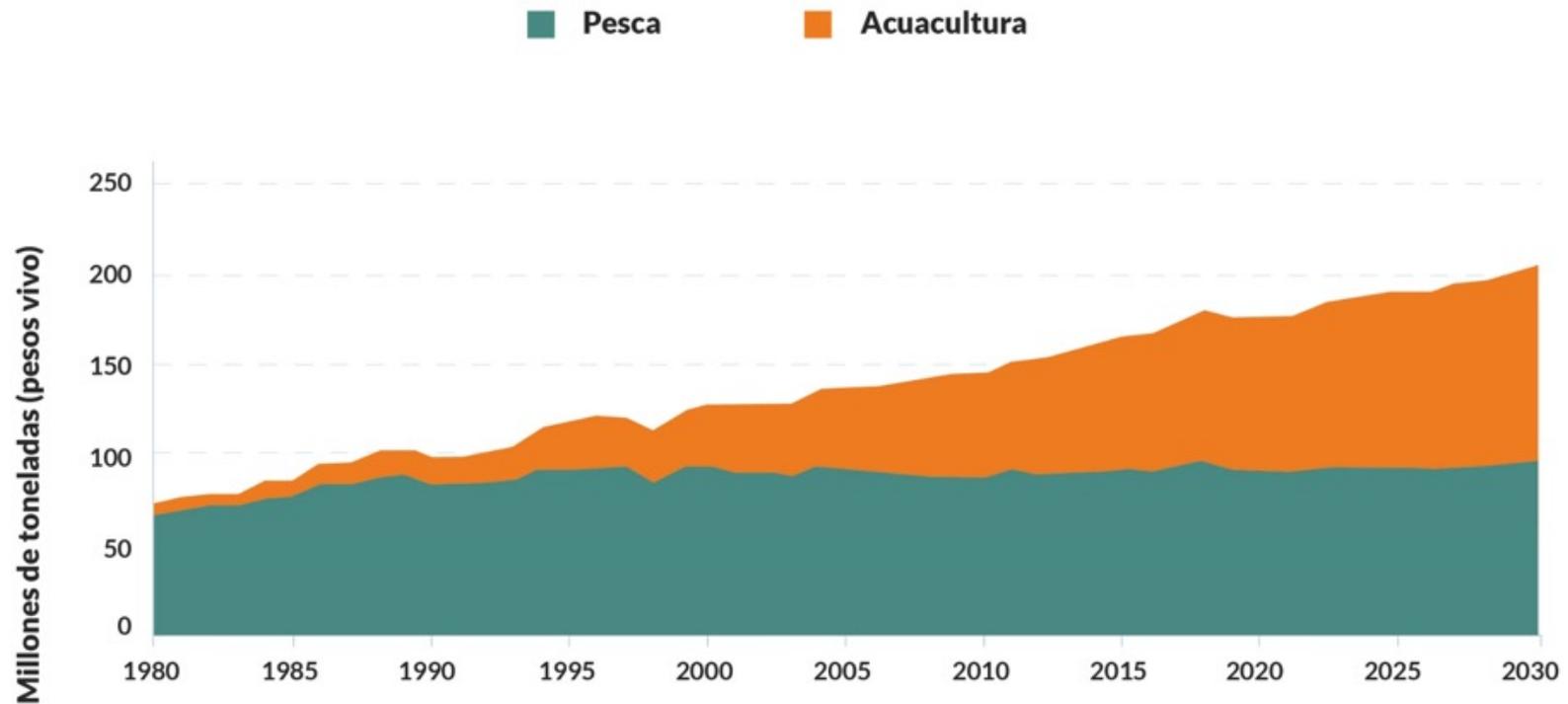


Figura 1. Proyección de las producciones de captura y de acuicultura en el mundo hasta 2030.

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2020.

Considerando el último año de datos disponibles a nivel mundial (2018), se sabe que 39 países, distribuidos en cuatro continentes (se exceptúa Oceanía), produjeron más organismos por cultivo que por captura (FAO, 2020). En conjunto, estos países albergan a más de la mitad de la población mundial y cultivaron un total de 63.6 millones de toneladas de peces y moluscos. Las especies que seguirán contribuyendo a la expansión de la industria son el camarón, el salmón, la tilapia, el pangasio y la carpa, con un promedio anual proyectado de sus tasas de crecimiento superiores a 2% anual durante el periodo 2010-2030 (FAO, 2020). La acuicultura continuará dominando el futuro suministro de pescados a nivel mundial, y el continente asiático seguirá siendo el motor de su crecimiento (Kobayashi *et al.*, 2015; FAO, 2020).

Considerando el último año de datos disponibles a nivel mundial (2018), se sabe que 39 países, distribuidos en cuatro continentes (se exceptúa Oceanía), produjeron más organismos por cultivo que por captura (FAO, 2020). En conjunto, estos países albergan a más de la mitad de la población mundial y cultivaron un total de 63.6 millones de toneladas de peces y moluscos. Las especies que seguirán contribuyendo a la expansión de la industria son el camarón, el salmón, la tilapia, el pangasio y la carpa, con un promedio anual proyectado de sus tasas de crecimiento superiores a 2% anual durante el periodo 2010-2030 (FAO, 2020). La acuicultura continuará dominando el futuro suministro de pescados a nivel mundial, y el continente asiático seguirá siendo el motor de su crecimiento (Kobayashi *et al.*, 2015; FAO, 2020).

Latinoamérica no es líder en lo que a acuicultura se refiere, pero tampoco se excluye de esta tendencia global. La producción acuícola ha tenido grandes avances en cuanto a crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, Brasil se ha consolidado como un gran productor de tilapia; Chile se encuentra a la vanguardia del sector en la región y en particular, en el cultivo de salmón; Ecuador está bien posicionado en la producción de camarón. Sin embargo, en Latinoamérica, la actividad acuícola aporta, en promedio, 18% del volumen total de la producción de pescados y mariscos (FAO, 2020).

En México, la producción acuícola promedio (sistemas controlados), entre 2016 y 2018, fue de 238,400 toneladas (peso vivo), con un valor de primera compra de 15,300 millones de pesos al valor total de las producciones nacionales. La acuicultura ha crecido a una tasa de 6% anual en este periodo y la producción anual contribuye con 12% del total nacional de producción de proteína acuática.

Analizando la variación histórica (2005-2018) de la contribución porcentual al volumen de producción por pesca y acuicultura, se aprecia que existe una relación inversa. Por un lado, la contribución de la pesca al volumen total describe una pendiente negativa, mientras que la acuicultura ha ido creciendo en los últimos años (Fig. 2). Si bien la acuicultura participa con un porcentaje relativamente bajo respecto al volumen, es contundente su importancia cuando se considera que aporta 40% del valor total de la producción nacional. La producción acuícola nacional aún está lejos de aprovechar plenamente el potencial, como lo hacen los países de Asia, donde 55% de la producción proviene del cultivo (FAO, 2020).

En la última década (2011-2020), la CONAPESCA ha estado promoviendo el aumento del consumo de pescado de la población, y México ha pasado de consumir 8 a 12 kg per cápita durante ese periodo. Parte del aumento está relacionado con el desarrollo del sector acuícola y pesquero, pero principalmente debido a la demanda nacional de proteína acuática en una presentación que el mercado nacional no provee y que se refleja en el incremento de importaciones de tilapia, basa, atún, camarón, calamar y salmón hasta por 334,000 toneladas en 2018 (CONAPESCA, 2018). Aun así, México está lejos del consumo promedio global, de 20.5 kg (FAO, 2020).

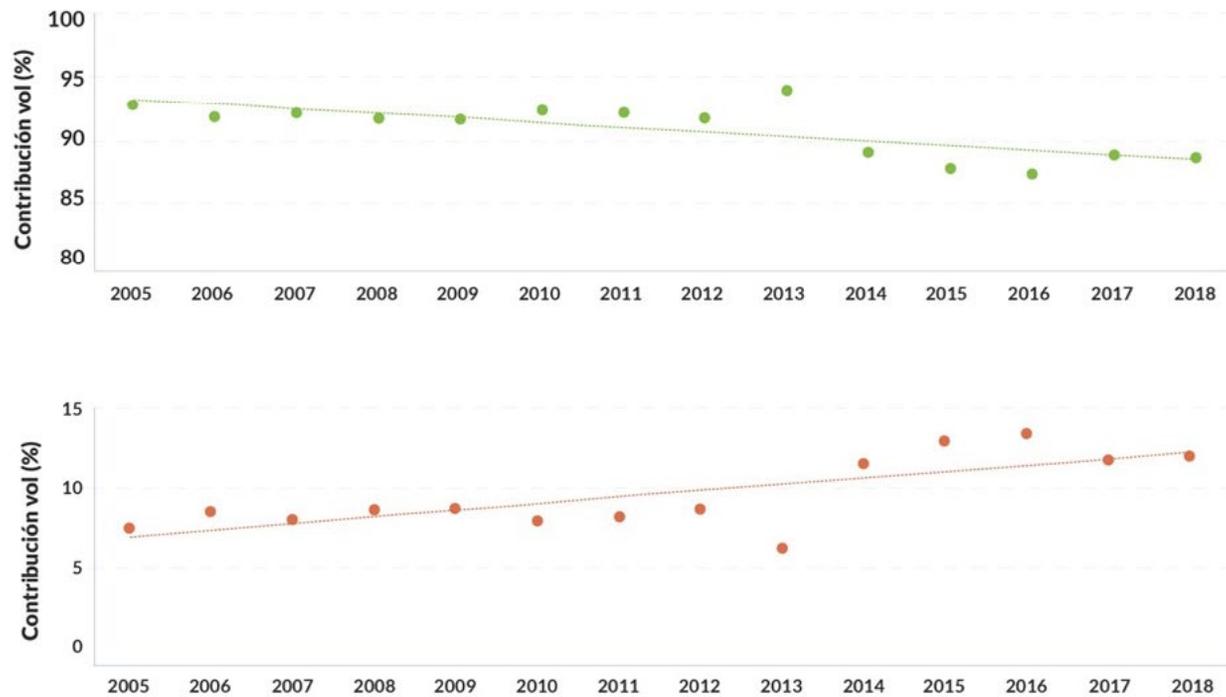


Figura 2. Participación histórica (%) de la pesca (arriba) y la acuicultura (abajo) respecto al volumen total de pescados y mariscos. Fuente: Elaboración propia con datos públicos de la CONAPESCA, 2020.

La combinación de la producción pesquera y acuícola es crucial para asegurar no solo la demanda alimenticia del país, sino también ingresos necesarios para los 295,000 mexicanos registrados en ambos sectores (Pérez-Castañeda et al., 2015). Con una población nacional y mundial creciente, México cuenta con aumentar las prácticas y el volumen de producción acuícola para satisfacer las demandas nacionales e internacionales de pescados y mariscos, garantizar empleos dignos, impulsar la economía rural, garantizar la seguridad alimentaria y promover el consumo de proteína acuática para mejorar la salud de los mexicanos (DOF, 2019, 2020). Entre la pesca y la acuicultura, la producción nacional alcanza 1.7 millones de toneladas anuales de proteína acuática, y las instituciones de gobierno proponen incrementar en un millón de toneladas la producción para 2030. La CONAPESCA ha desarrollado y emitido directivas gubernamentales para promover la expansión de la acuicultura. Sin embargo, no se cuenta con una planeación basada en ciencia y en el largo plazo, es decir, la meta de incrementar en un millón de toneladas las producciones carece de un plan sólido que considere de manera integral y espacial el uso de recursos, la capacidad de carga y el impacto a ecosistemas. La propuesta de las autoridades pesqueras para el periodo actual de gobierno (2018-2024) es el impulso de la camaronicultura y la tilapia, con particular énfasis en el sureste del territorio nacional. Para esto, se ha tenido un acercamiento con la Asociación Nacional de Productores de Larvas de Camarón, A. C, para proveer insumos técnicos y larvas de calidad y desarrollar un plan para operar en el Golfo de México (CONAPESCA, 2019). La SADER, por conducto de la CONAPESCA, y el Ministerio de Agricultura de China firmaron un convenio para impulsar la pesca y la acuicultura a través de la cooperación técnica y científica y del intercambio sobre avances en la comercialización y el manejo de fondos (CONAPESCA, 2012).

201

El impulso de la acuicultura es una estrategia que debe formalizarse en colaboración con productores, comerciantes, científicos y representantes de la sociedad civil, que han propuesto puntos clave para considerar la pesca y la acuicultura conjunta y ordenadamente. Incluir este enfoque en la planeación será determinante para evitar que aumente la pendiente en la tendencia negativa de la pesca y asegurar que la pesca y la acuicultura tengan resultados a largo plazo y justos con el ambiente, la sociedad y la economía.

2. Proyecciones para México

Se estima que México tendrá 138.1 millones de habitantes en 2030 y 148.2 millones en 2050 (CONAPO, 2018). De acuerdo con el reporte más reciente sobre el estado mundial de la pesca y la acuicultura, el crecimiento proyectado de la acuicultura mexicana para 2030 es de 47.7%, pues se pasaría de producir 247,000 toneladas a 365,000 toneladas. Las especies que seguirán dominando serían el camarón y la tilapia, lo cual coincide con la propuesta del gobierno en curso. Los modelos de la FAO (2020) sobre el probable incremento

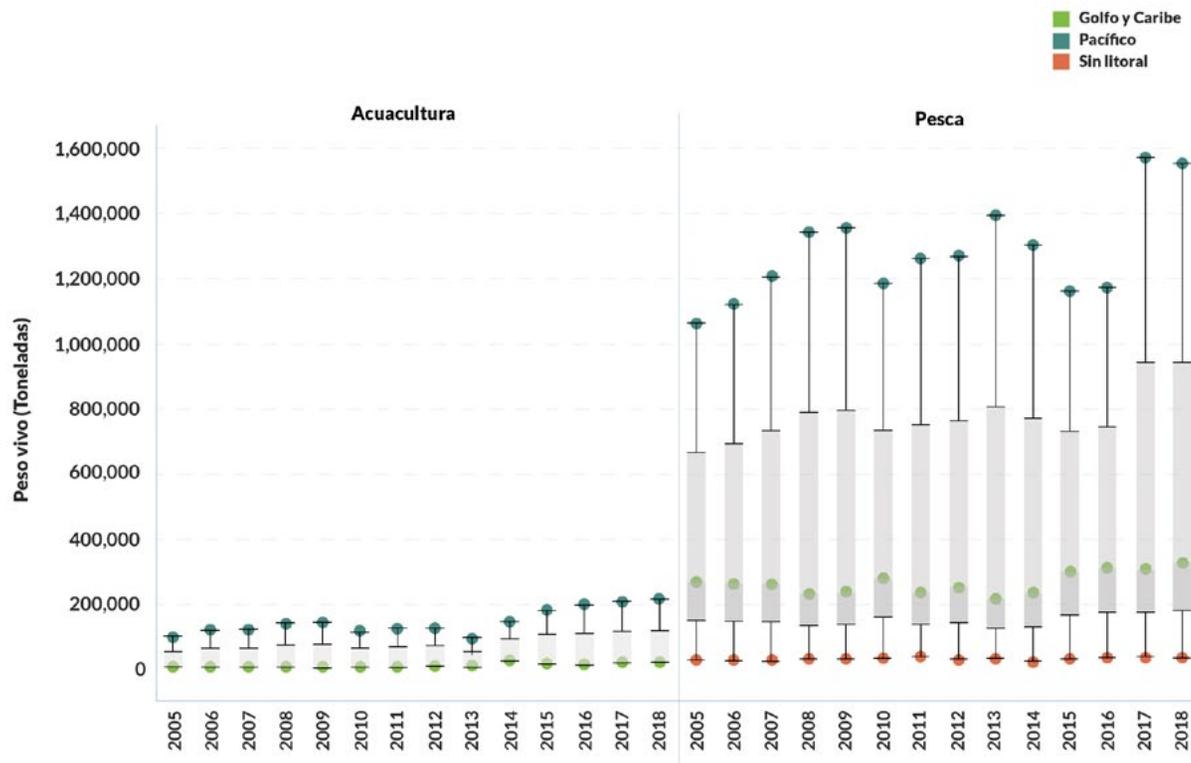


Figura 3. Volumen de producción pesquera y acuícola a nivel nacional.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

de la producción pesquera y acuícola dejan la propuesta del gobierno mexicano de incrementar la producción en un millón de toneladas para 2030 como una buena intención carente de soporte científico y planeación.

Analizando las tendencias nacionales de manera regional, se observa que la acuicultura y la pesca han tenido un desarrollo diferencial entre el Pacífico, el Golfo de México, el Caribe y los estados sin litoral (Fig. 3). Históricamente, el litoral del Pacífico ha contribuido con el mayor volumen de producción, debido a las especies aprovechadas en Sonora y Sinaloa (sardina, camarón, jaiba), que han impulsado consistentemente el crecimiento de ambos sectores; en el caso del camarón, la producción pesquera se ha estabilizado en 70,000 toneladas, mientras que la producción acuícola ha crecido hasta aportar más de 150,000 toneladas en 2018.

En el Golfo de México y el Caribe, Veracruz y Tamaulipas son los que aportan la mayor parte del volumen, aunque no se ha observado una tendencia de incremento significativa. Finalmente, los estados sin litoral muestran un avance importante tanto en la acuicultura como en la pesca. En cuanto a la parte pesquera, se relaciona con el aprovechamiento de la trucha, la carpa y la tilapia que se capturan en embalses, y en lo que corresponde a la acuicultura, con la producción de peces de ornato (Fig. 4).

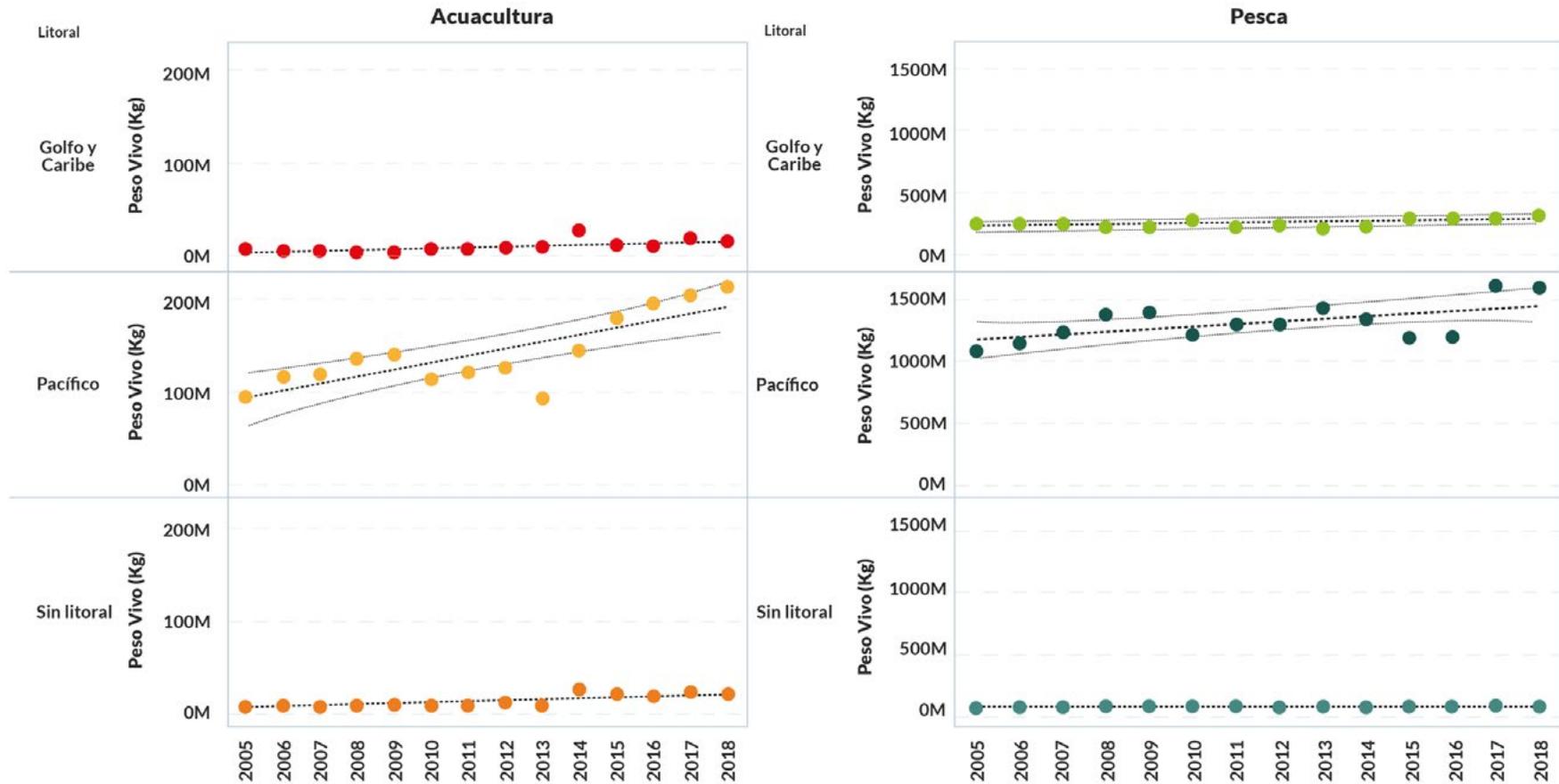


Figura 4. A. Tendencia en las producciones acuícolas agrupadas por región. Valores del análisis estadístico muestran tendencias positivas significativas para el Pacífico ($r = 0.4135$, $p = 0.0015$; $r^2 = 0.1710$) y los estados sin litoral ($r = 0.4424$, $p = 0.0006$; $r^2 = 0.1958$). Para el Golfo de México y el Caribe se tiene una tendencia negativa, no significativa ($r = -0.0942$, $p = 0.4900$; $r^2 = 0.0089$). B. Tendencia en las producciones pesqueras (escala logarítmica) agrupadas por región. Valores del análisis estadístico muestran tendencias positivas significativas para el Golfo de México y el Caribe ($r = 0.5106$, $p = 0.00006$; $r^2 = 0.2608$) y los estados sin litoral ($r = 0.6942$, $p = 0.00000$; $r^2 = 0.4819$). Para el Pacífico no se obtiene una tendencia significativa ($r = 0.2600$, $p = 0.05300$; $r^2 = 0.0676$). Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPESCA-Acuasesor, s. f.

3. Interacciones entre la acuicultura y la pesca

El futuro de la pesca y la acuicultura será influenciado por diferentes factores y desafíos interconectados a escala global, regional y local. Se espera que el crecimiento demográfico y económico, junto con la urbanización y el desarrollo tecnológico, creen una expansión en la demanda de alimentos y en particular de productos animales, incluyendo pescados y mariscos.

A pesar de la situación de las capturas mundiales, la caída de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y la abundancia de las especies de interés comercial, la flota pesquera mundial sigue aumentando. Si las tendencias pasadas continúan, podrían aparecer hasta otro millón de embarcaciones con motor en la flota pesquera mundial en las próximas décadas, lo que implica mayor presión para los recursos marinos y mayores emisiones de CO₂, factores que contribuyen al cambio climático (Greer et al., 2019).

La acuicultura es considerada como una actividad con potencial para desarrollar soluciones al problema de sobrepesca, ya que la expansión de la piscicultura puede reducir presiones sobre las poblaciones silvestres (Frankic y Hershner, 2003) y el aumento de la producción acuícola podría reemplazar cantidades similares en capturas silvestres (Valderrama y Anderson, 2010), razonamiento que subyace en la idea de sustitución.

3.1 Competencia

La eficiencia de la acuicultura ha propiciado una mayor demanda y disponibilidad de productos, lo cual puede contribuir al estancamiento y el decremento de los precios en los productos pesqueros y acuícolas (Anderson, 1985). Por lo tanto, en esta competencia, los pescadores de pequeña escala son los que podrían verse más afectados. Además, es importante reconocer que la pesca en México realiza un gran esfuerzo para el rescate del valor de productos y que los precios de productos acuícolas han sido, en general, más altos y atienden la demanda de un sector particular. En promedio, un kilogramo de producto cultivado tiene un precio tres veces mayor que un kilogramo de producto pesquero, considerando la totalidad de especies y regiones registradas en los anuarios estadísticos (Fig. 5).

Otra circunstancia que puede derivar en un resultado inesperado de esta competencia del mercado es un posible incremento de la pesca ilegal para producir cantidades rentables y alcanzar la eficiencia. En México, se estima que más de 30% de la pesca es ilegal, y los esfuerzos institucionales siguen siendo insuficientes para atender la problemática (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013; Instituto Mexicano para la Competitividad, 2013). Si bien es pronto para asegurar que realmente representa un riesgo, si debe ser considerado en estudios futuros y en el diseño de políticas públicas para prevenirlo.

En cuanto a la sustitución de la actividad pesquera por la acuícola, la idea de que el pescador puede volverse acuicultor no es generalizada y la alternativa es real para muy pocos pescadores que cuentan con derechos exclusivos para el aprovechamiento de especies,

206

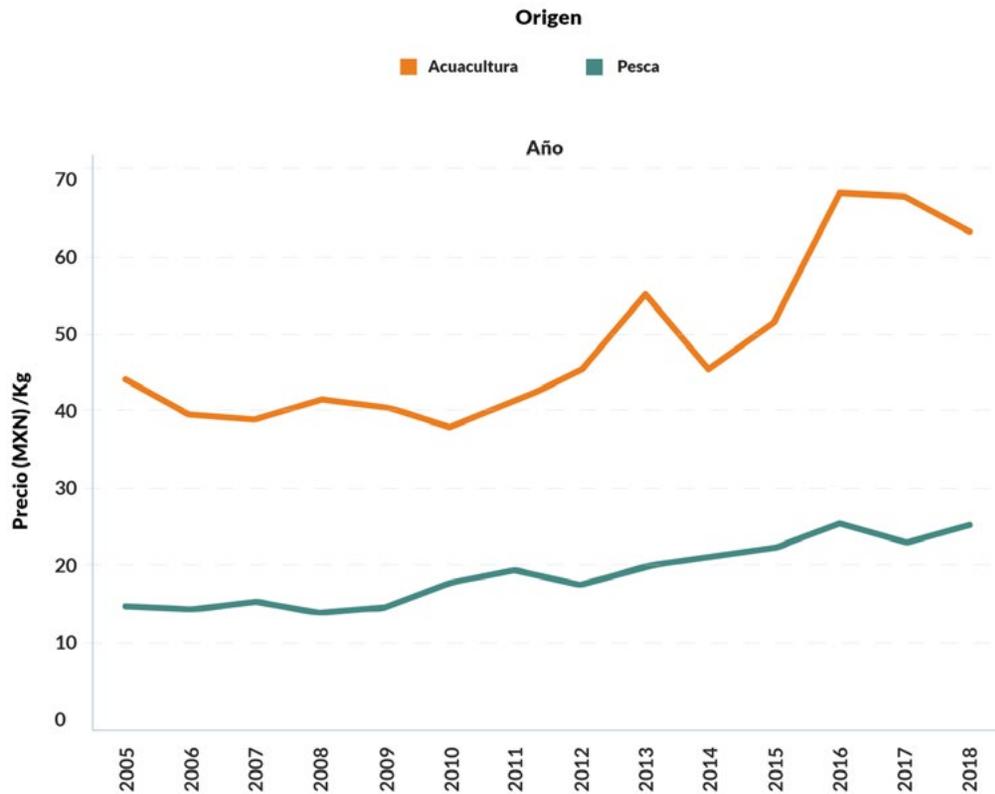


Figura 5. Comparación del precio (pesos) por kilogramo de producto acuícola y pesquero entre 2005 y 2018. Fuente: Elaboración propia con datos públicos de la CONAPESCA, 2020.

infraestructura y acceso a créditos y a ciencia y tecnología. Por ejemplo, el maricultivo de invertebrados (ostión, abulón, pepino de mar, erizo, almejas, algas) es viable con una inversión relativamente baja y el acompañamiento de técnicos especializados para el ajuste y el desarrollo de la tecnología de cultivo.

Otro efecto posible por la competencia entre productos acuícolas y pesqueros es promover el deterioro de los recursos pesqueros. Ante la debilidad de las agencias encargadas de la inspección, la pérdida de eficiencia relacionada con el incremento de la competencia con la acuicultura puede ocasionar el incremento del esfuerzo pesquero sobre recursos ya de por sí al límite de sus capacidades. Para que la competencia con la acuicultura no tenga efectos negativos sobre los recursos pesqueros es necesario reforzar los mecanismos de observancia de la norma. Por otro lado, la trazabilidad y el reconocimiento del mercado (certificaciones) pueden incentivar positivamente la revalorización de los productos silvestres respecto a los de cultivo, lo cual puede contribuir a compensar las pérdidas ocasionadas por la competencia con la acuicultura (Natale *et al.*, 2013).

3.2 Sustitución

La idea de sustitución ha sido evaluada recientemente. Se ha encontrado que el desplazamiento o sustitución que puede existir es relativamente bajo a nivel mundial y que la producción acuícola complementa las capturas pesqueras para satisfacer la demanda mundial. Al respecto, un análisis realizado por Stefano Longo *et al.* (2019) considera información de series de tiempo de 1970 a 2014 para evaluar el desplazamiento de las capturas de las pesquerías en todos los países que tenían datos disponibles. Se corrieron nueve modelos para evaluar si la producción de la acuicultura suprime las capturas una vez que otros factores relacionados con la demanda han sido controlados. Como conclusión, solamente un modelo pronosticó la supresión de las capturas de las pesquerías asociadas con los sistemas de acuicultura en los países a lo largo del tiempo. En otro estudio, realizado por Costello *et al.* (2020), se analizó la sustentabilidad de las curvas de desarrollo de la pesca y de la maricultura de peces y de bivalvos para proveer alimento a la población de 2050, estimada en 9,700 millones de personas. Los resultados indican que las producciones de proteína acuática podrían incrementarse

entre 30% y 76% respecto a los volúmenes actuales, es decir, entre 22 millones y 44 millones de toneladas, siendo la maricultura de bivalvos la que presentó el mayor potencial de desarrollo sustentable.

El potencial de desarrollo de la acuicultura puede entenderse si tomamos en cuenta que el volumen mundial de pesca podría producirse utilizando menos de 0.015% del área oceánica global. Sin embargo, existen muchos componentes sociales, como el marco político en cada país, la tecnología disponible, la transferencia y el desarrollo de conocimiento, entre otros, que pueden explicar por qué la acuicultura no crecerá de manera desmedida (Gentry *et al.*, 2017; FAO, 2020). El potencial acuícola de México no ha sido estimado de manera integral y solo se cuenta con algunos estudios para ciertas entidades federativas y especies. Es común hacer cálculos generales en función de la gran diversidad biológica, la variedad de ambientes acuáticos y la extensión territorial, pese a que la factibilidad es desconocida y se sigue apostando a estrategias sin sustento científico y modelos obsoletos.

3.3 Ilegalidad, una barrera para la competitividad

208

Las actividades ilegales que ocurren en el sector acuícola y pesquero del país son en parte un reflejo de la desorganización que existe en diferentes niveles de la sociedad y la administración pública. Se estima que un 25% de las actividades acuícolas ocurren al margen de la ley y esto se manifiesta al revisar los datos de aviso de cosecha que no cuentan con un permiso o registro nacional (SAGARPA-IICA, 2016, CONAPESCA, 2020). Adicionalmente, un tema aún más complejo es la operación de organizaciones criminales en los 17 estados costeros del país y la presión que ejercen principalmente en el sector pesquero para controlar precios, comerciar especies bajo protección, exigir cuotas para laborar o “derechos de piso” e incluso conformar empresas procesadoras en algunos puertos principales del país (Aceves-Bueno, *et al.*, 2021, EDF, 2013, Zeta, 2022). Es importante reconocer este problema social para definir responsabilidades y acciones puntuales en los tres órdenes de gobierno así como establecer acuerdos internacionales que permitan detener el tráfico de especies (Felbab-Brown, 2022). Atender los puntos mencionados es necesario para seguir fortaleciendo la organización social mediante oportunidades formales y legales de empleo, inspección, vigilancia que permita una plataforma pareja para la competencia y el desarrollo social.

4. Conclusiones

- Se espera que la producción mundial de pescado (excluidas las plantas acuáticas) se expanda de 179 millones de toneladas, en 2018, a 204 millones de toneladas, en 2030. Para esto que ocurra, es fundamental encontrar maneras sustentables para satisfacer la demanda de pescados y mariscos en el futuro, y la acuicultura es una opción viable.
- De acuerdo con la FAO (2020), el crecimiento proyectado para la acuicultura mexicana en 2030 es de más de 40%, pues pasaría de producir 247,000 toneladas a 365,000 toneladas; por su parte, el volumen total de la pesca ascendería de 1.9 millones de toneladas, registradas en 2018, a 2.1 millones de toneladas, en 2030. Estos modelos no coinciden con las propuestas del gobierno mexicano de incrementar en un millón de toneladas la producción nacional.
- Existen distintos tipos de acuicultura (e.g. rural, industrial); cada uno, con distintos requerimientos y efectos socio-ecológicos. Por lo tanto, para que la acuicultura tenga un crecimiento sostenible, debe basarse en información científica con enfoque integral, para responder a las exigencias económicas, sociales y ambientales.
- El análisis de tendencias de producción acuícola muestra incrementos significativos para el Pacífico ($r = 0.4135$, $p = 0.0015$; $r^2 = 0.1710$) y los estados sin litoral ($r = 0.4424$, $p = 0.0006$; $r^2 = 0.1958$).
- Para el Golfo y el Caribe se tiene una tendencia negativa, no significativa ($r = -0.0942$, $p = 0.4900$; $r^2 = 0.0089$).
- El rápido crecimiento y la importancia de la contribución de la acuicultura a la producción mundial de pescados y mariscos ha hecho suponer que podría desplazar a la pesca. Estudios recientes descartan este escenario y reconocen que la producción pesquera y acuícola son fundamentales para aportar alimento y trabajo y mantener la economía de una población creciente.
- Un análisis global de las producciones demuestra que la acuicultura no desplaza a las pesquerías, pues solo en uno de los casos (de nueve) se observó el desplazamiento.

- La ilegalidad afecta a ambos sectores, por lo que es clave fortalecer los sistemas de inspección y vigilancia, facilitar los procesos para ordenar al sector acuícola, incentivar el cumplimiento y coordinar esfuerzos entre los tres órdenes de gobierno para atender el problema del crimen organizado.
- Producir alimento para una población de 9,700 millones de personas, dato estimado para 2050, implica un incremento de entre 30% y 76% del volumen que actualmente se produce globalmente. El reto será realizarlo de manera sustentable, para lo cual se identifica a la maricultura de bivalvos como la principal actividad en comparación con la pesca y el cultivo de peces marinos.
- El incremento de la presión pesquera y el deterioro de los recursos pesqueros en México son posibles efectos indirectos de la competencia entre productos acuícolas y pesqueros. El ordenamiento, la inspección y la vigilancia serán cruciales para evitarlos, así como la trazabilidad de los productos y el control de precios.
- El potencial acuícola mexicano se estima de manera general. Sin embargo, es necesario evaluar la factibilidad de manera integral para identificar las condiciones, los sitios y las especies idóneas para evitar un impacto negativo en los ecosistemas y otros sectores.

5. Referencias

- Aceves-Bueno, E., Read, A. J., & Cisneros-Mata, M. A. (2021). Illegal fisheries, environmental crime, and the conservation of marine resources. *Conservation Biology*, 35(4), 1120-1129. <https://doi.org/10.1111/cobi.13674>
- Anderson, J. L. (1985). Market interactions between aquaculture and the common-property commercial fishery. *Marine Resource Economics*, 2(1), 1-24. <https://doi.org/10.1086/mre.2.1.42628874>.
- Anticamara, J. A., Watson, R., Gelchu, A. y Pauly, D. (2011). Global fishing effort (1950–2010): trends, gaps, and implications. *Fisheries Resources*, 107, 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.10.016>.
- Cisneros-Montemayor, A. M., Cisneros-Mata, M. A., Harper, S. y Pauly, D. (2013). Extent and implications of IUU catch in Mexico's marine fisheries. *Marine Policy*, 39, 283-288. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.003>.
- CONAPESCA (2012). Firman México y China Acuerdo de Cooperación en materia pesquera y acuícola. Consultado el 10 de junio de 2020 en <http://www.gob.mx/conapesca/prensa/firman-mexico-y-china-acuerdo-de-cooperacion-en-materia-pesquera-y-acuicola>.
- (2017). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- (2018). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018. México, CONAPESCA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- (2019). Coordinará Conapesca acciones con sistema productivo para impulsar la acuicultura en zonas de extrema pobreza. Consultado el 10 de junio de 2020, en <http://www.gob.mx/conapesca/prensa/coordinara-conapesca-acciones-con-sistema-productivo-para-impulsar-la-acuicultura-en-zonas-de-extrema-pobreza-199728>.
- (2020). Base de datos de avisos de cosecha y arribo 2020. Datos públicos.

- CONAPESCA-Acuasesor (s. f.). Recuperado el 10 de mayo de 2020, de <https://acuasesor.conapesca.gob.mx>.
- CONAPO (2018). Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 2016-2050. CONAPO. <https://www.gob.mx/conapo>.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., Plantinga, A. J., Thilsted, S. H. y Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588, 95-100. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>.
- DOF (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado el 12 de julio de 2019.
- (2020). Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024. Publicado el 25 de junio de 2020.
- 212 EDF (2013). La pesca ilegal e irregular en México: una barrera a la competitividad. EDF. IMCO. Cdmx, México.
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Frankic A. y Hershner C. (2003). Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, 11, 517-530.
- Felbab-Brown, V. (2022). China-linked wildlife poaching and trafficking in México. *Foreign Policy*. Brookings. Washington D.C. E.U.A.
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., Gaines, S. D. y Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 1317-1324. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0257-9>.
- Greer, K., Zeller, D., Woroniak, J., Coulter, A., Winchester, M., Palomares, M. L. D. y Pauly, D. (2019). Global trends in carbon dioxide (CO₂) emissions from fuel combustion in marine fisheries from 1950 to 2016. *Marine Policy*, 107, 103382. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.12.001>.

Instituto Mexicano para la Competitividad (2013). Pesca ilegal e irregular en México: una barrera a la competitividad. México, Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C., Centro de Colaboración Cívica, A. C., Comunidad y Biodiversidad, A. C., Environmental Defense Fund de México, A. C., Fundación Idea, A. C., Sociedad de Historia Natural Niparajá, A. C.

Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M. y Anderson, J. L. (2015). Fish to 2030: The role and opportunity for aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 19(3), 282-300. <https://doi.org/10.1080/13657305.2015.994240>.

Longo, S. B., Clark, B., York, R. y Jorgenson, A. K. (2019). Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*, 33, 832-841. <https://doi.org/10.1111/cobi.13295>.

Natale, F., Hofherr, J., Fiore, G. y Virtanen, J. (2013). Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*, 38, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.037>.

Pérez-Castañeda, R., Sánchez-Martínez, J. G., Aguirre-Guzmán, G., Rábago-Castro, J. L. y Vázquez-Sauceda, M. L. (2015). Interaction of fisheries and aquaculture in the production of marine resources: Advances and perspectives in Mexico. En C. W. Finkl y C. Makowski (eds.), *Environmental Management and Governance: Advances in Coastal and Marine Resources* (pp. 111-140). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06305-8_5.

213

Rousseau, Y., Watson, R. A., Blanchard, J. L. y Fulton, E. A. (2019). Evolution of global marine fishing fleets and the response of fished resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (25), 12238-12243. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820344116>.

SAGARPA-IICA(2019). *El sector pesquero en México descrito a partir de la Encuesta Nacional de Pesca y Acuicultura 2016*. México. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de https://www.academia.edu/38373761/IICA_EL_Sector_Pesquero_en_Mexico_Feb_14_2019_pdf.

Valderrama D. y Anderson J. L. (2010). Market interactions between aquaculture and common-property fisheries. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 115-128.

World Bank (2013). Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper, 3. Washington, D. C., World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17579> License: CC BY 3.0 IGO.

ZETA (2022). La pesca en manos del narco. Consultado el 10 de feb 2022. <https://zetatijuana.com/2022/02/la-pesca-en-manos-del-narco/>

VII. Cambio climático y efecto en el desarrollo de la acuacultura

Fernando Aranceta Garza,^a Francisco J. Vergara-Solana,^b Daniel Peñalosa-Martinell,^c Germán Ponce Díaz,^c Roberto Ascencio Michel,^c Leonardo Vázquez-Vera y Héctor Reyes Bonilla^d

^a CIBNOR. La Paz, Baja California Sur, México.

^b Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras. La Paz, Baja California Sur, México.

^c Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México.

^d Universidad Autónoma de Baja California Sur, Laboratorio de Ecología de Arrecifes Coralinos.

1. Cambio climático y efectos en el desarrollo de la acuicultura

Considerando el crecimiento poblacional mundial y el aumento del ingreso per cápita, se estima que la producción agropecuaria mundial deberá aumentar 70% para 2050 (Conforti y Sarris, 2011; Tilman *et al.*, 2011; Levin y Stevenson, 2012), lo cual significa un reto porque no solo la tasa de crecimiento de la producción de alimentos actual es insuficiente para lograr esta meta, sino que existen restricciones fundadas en la disponibilidad limitada de tierra arable y agua, además del entorno climático incierto y el impacto medioambiental, que implica un aumento de la producción con las tecnologías actuales (Rockstrom *et al.*, 2009; Tilman *et al.*, 2011; Dutia, 2014).

En este contexto, se considera que la acuicultura jugará un papel clave para cerrar esta brecha alimentaria (World Bank, 2013). Actualmente, la acuicultura cuenta con la tasa de crecimiento más alta entre todas las industrias de producción de alimentos y se proyecta, conforme a escenarios optimistas, que podría satisfacer dos tercios de la demanda estimada, pues tiene una producción potencial seis veces superior a la producción actual, además de que provee empleo a 20.5 millones de personas y el valor de los productos acuícolas genera una derrama de 250 millones de dólares (Costello *et al.*, 2019; FAO, 2020).

Para lograr alcanzar los niveles de producción proyectados se necesita promover el crecimiento con políticas adecuadas, desarrollo tecnológico y un marco institucional apropiado, con el objetivo de sortear los desafíos que tiene el sector, como el agotamiento de áreas ecológicamente importantes, la emisión de efluentes altamente nutritivos o el uso de organismos silvestres como alimento y semillas para determinadas especies de producción acuícola. Algunos desafíos significativos para el sector incluyen adaptarse y mitigar la incertidumbre y los riesgos asociados con el cambio climático, así como aprovechar sus efectos favorables (Costello *et al.*, 2019).

2. Descripción de las variables forzantes principales relacionadas con el cambio climático y su efecto en organismos de interés acuícola

La pesca y la acuicultura son temas de seguridad nacional alimentaria y parte esencial del quehacer económico y social del país. En 2018, la producción acuícola mundial reportada fue de 82 millones de toneladas, 46% de la producción total de pesca y acuicultura, y se valuó en 263,600 millones de dólares (incluyendo las algas acuáticas) (FAO, 2020). México se encuentra dentro de los primeros 15 países productores y se espera que para 2030 aumente su producción acuícola 47% (FAO, 2020). Sin embargo, las predicciones no consideran el efecto climático a corto y largo plazo. Se reconoce que los factores causantes del cambio climático que impactan la producción acuícola son regionalmente heterogéneos, directos o indirectos, positivos o negativos, y de origen multifactorial (Cochrane *et al.*, 2009).

Los cuerpos de agua mexicanos presentan características biológicas, meteorológicas, fisicoquímicas y oceanográficas particulares que los hacen sistemas heterogéneos (Tab. 1), con respuestas diferenciales ante los efectos del cambio climático (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2014). En términos globales, las zonas de surgencia en el Pacífico Norte y el Golfo de Tehuantepec se verán mayormente afectadas por la acidificación, la hipoxia y la temperatura. En el Pacífico (corriente de California y corriente Norecuatorial), se han medido los efectos por el incremento de los vientos, las anomalías térmicas, el aumento de la intensidad de la surgencia, la alta productividad, el menor pH y las bajas de oxígeno que se han asociado con la mortalidad de organismos sésiles y a la dificultad para producir estructuras calcáreas (conchas) en instalaciones acuícolas (Micheli *et al.*, 2012; Boch *et al.*, 2018; Woodson *et al.*, 2019; Fuhrmann *et al.*, 2019).

El Golfo de México presentará huracanes, hipoxia, aumento del nivel del mar, acidificación y florecimiento de algas. Los cuerpos de agua interiores se verán afectados por la temperatura del aire, las precipitaciones, la eutrofización, la estratificación y la hipoxia; y las zonas costeras, también por los huracanes, las inundaciones, los cambios en la salinidad y el aumento del nivel del mar.

Los organismos acuícolas presentan gran sensibilidad ante la temperatura del medio, debido principalmente a que son organismos

ectotérmicos, es decir, incapaces de regular su temperatura basal, por lo que los cambios térmicos ambientales afectarán directamente sus funciones metabólicas. La afectación dependerá de la sensibilidad, la exposición y la etapa del ciclo de vida; y repercutirá a nivel poblacional en cuanto a supervivencia, velocidad y eficiencia de desarrollo larvario, tasas de crecimiento y madurez y estacionalidad de procesos reproductivos (Phillips y Pérez-Ramírez, 2017).

En México, la acuicultura se desarrolla en sistemas marino, salobres y dulceacuícolas, empleando distintos grupos taxonómicos (peces, moluscos y crustáceos) con susceptibilidades especie-específicas a las variables climáticas (Tab. 2 y Fig. 1). Las principales especies acuícolas nacionales en función del volumen total producido son el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) (~37.1%); la mojarra-tilapia (*Oreochromis niloticus*) (~36.9%); los ostreidos, dominando *Crassostrea virginica* sobre *C. gigas* y *C. corteziensis* (~11%); y el 5% restante conformado por bivalvos (*Mytilus* spp., *Rangia* spp., *Nodipecten subnodosus*, *Argopecten* spp.), atún (*Thunnus orientalis*), bagre (*Ictalurus punctatus*), langostino (*Macrobrachium* spp.), abulón (*Haliotis* spp.) y lobina (*Micropterus salmoides*), por mencionar algunos ejemplos (CONAPESCA, 2017).

	Pacífico Norte y Golfo de California	Giro subtropical del Pacífico Oriental	Golfo y Caribe Mexicano	Macizo continental
Temperatura del aire				+
Precipitación				+/-
Temperatura superficial del mar		+		
pH marino	-		-	
Oxígeno disuelto	-		-	-
Aumento del nivel del mar	+		+	
Tormentas y huracanes	+		+	
Fuerza de vientos		-		
Estratificación de la columna de agua		+	+	+
Zona de surgencias				
Productividad primaria		-		
Áreas con hipoxia	+		+	+
FloreCIMIENTO algal nocivo	+		+	

Tabla 1. Efecto de los factores asociados con el cambio climático sobre las subregiones oceanográficas mexicanas

Nota: Se indica si hay incremento (+), disminución (-) o si ambos pueden presentarse (+/-).

Fuente: Hoegh-Guldberg *et al.*, 2014.

Especie		Origen	Rango térmico		Temp. óptima (±DE)	Temp. letal	Referencia
Nombre científico	Nombre común		(min °C)	(max °C)	°C	°C	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	Camarón blanco	Marino	20	35	30.0±3.56	39.5	Wyban et al., 1995
<i>Oreochromis niloticus</i>	Mojarra tilapia	Dulceacuícola	17	42	28.5±2.12	42	Amador et al., 2014
<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión de Virginia	Marino	0	45	25.0±7.07	45	EOBRT, 2007
<i>Crassostrea gigas</i>	Ostión japonés	Marino	5	35	19.0±1.00	40	Nehring, 2011
<i>Crassostrea corteziensis</i>	Ostión del placer	Marino	16	32	29.0±1.41	36	Cáceres-Puig et al., 2007
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpa	Dulceacuícola	0.1	38	22.81±4.68	39	Chilton y Muoneke, 1992
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Trucha arcoiris	Dulceacuícola	0	26	11.5±3.53	27	Ficke et al., 2007
<i>Thunnus orientalis</i>	Atúnaleta azul	Marino	16	33	23.0±2.82	33	Boustany et al., 2001
<i>Ictalurus punctatus</i>	Bagre de canal	Salobre	14	34	27.01±3.60	35	McCauley y Beitinger, 1992
<i>Haliotis fulgens</i>	Abulón azul	Marino	12	30	24.0±3.26	31.4	Leighton et al., 1981
<i>Atrina maura</i>	Callo de hacha china	Marino	16	35	26.25±4.93	33.2	Sicard et al., 2006
<i>Nodipecten subnodosus</i>	Mano de león	Marino	15	30	22.0±1.00	30	Sicard et al., 2006

Tabla 2. Rango térmico, temperatura óptima de crecimiento y temperatura letal de las principales especies acuícolas en México

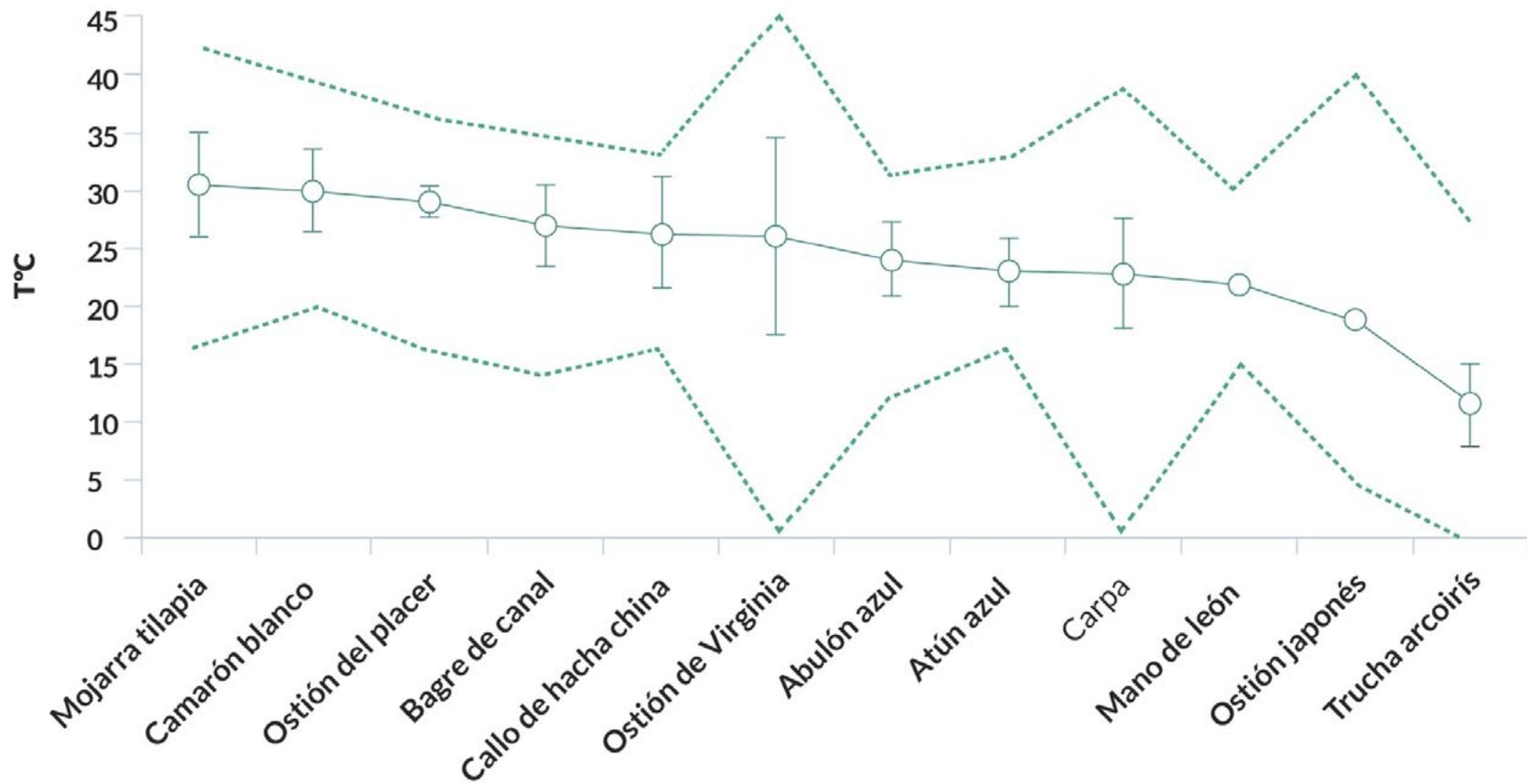


Figura 1. Rangos óptimos, mínimos y máximos de las principales especies de cultivo en México.
Fuente: integración con base en la revisión bibliográfica, en la tabla 2 se especifica la fuente para cada especie.

3. Cambio climático y la acuicultura en México

El cambio climático afecta de manera diferencial a los productores acuícolas. El tipo de instalación, el tipo de agua, la localización, las especies de cultivo y la infraestructura son algunos de los factores que pueden contribuir a disminuir o maximizar los impactos.

De manera general, se identifican factores de corto plazo, como las pérdidas de producción e infraestructura por eventos meteorológicos, la proliferación de microorganismos, algas nocivas y enfermedades; y de largo plazo, como el incremento de las temperaturas, la acidificación, la hipoxia y la elevación del mar.

En México, la principal actividad acuícola y de mayor valor es la producción de camarón, seguida de los cultivos de bivalvos, peces marinos y en aguas interiores. A continuación, se describe el impacto del cambio climático para cada uno.

3.1 Cultivo de camarón

La gran mayoría de los cultivos de camarón blanco se desarrollan en estanques de tipo semi-intensivo en zonas costeras-inundables. La especie es sensible ante los incrementos de: a) TSM, b) nivel del mar, c) precipitaciones, d) enfermedades y e) huracanes. El camarón blanco es una especie eurihalina y con afinidad tropical (Tab. 2 y Fig. 1). Sin embargo, se ha observado que cuando se rebasa su límite de tolerancia térmica presentan pérdida de apetito y bajo crecimiento (Jayasinghe *et al.*, 2019) e inmunodepresión con vulnerabilidad ante infecciones de tipo bacterianas (Soto-Rodríguez *et al.*, 2010) o por virus, como la mancha blanca o el síndrome de Taura (Sánchez-Martínez *et al.*, 2007; Soto-Rodríguez *et al.*, 2015), lo que genera mortalidades masivas y pérdidas millonarias. De manera paralela, los cultivos resultan vulnerables, por su ubicación, ante tormentas, huracanes y altas precipitaciones (Phillips y Pérez-Ramírez, 2017), que afectan a los organismos por cambios en la salinidad, el excesivo gasto energético por sobrerregulación osmótica y el consecuente bajo crecimiento (Chong-Robles *et al.*, 2014; Puspa *et al.*, 2018). También el aumento del nivel de los estanques causa el escape de organismos, la remoción del fondo que origina florecimientos algales y hay anoxia por derrama fluvial de agroquímicos (Alonso-Rodríguez y Páez-

Osuna, 2003). Todo ello ocasiona daños millonarios sobre la infraestructura, las líneas de luz, los caminos y las construcciones de los sistemas camaronícolas. Además, se ha observado que la acidificación marina podría afectar el desarrollo larvario en laboratorios y el crecimiento (Ramaglia *et al.*, 2018), efecto que se podría incrementar en cultivos con altas densidades por incrementos de amonio y CO₂ (Boyd y Tucker, 2014).

3.2 Cultivo en aguas interiores

La acuicultura continental se basa en el cultivo de peces en estanques o cuerpos de agua como presas o estanques someros (De Silva y Soto, 2009). En México, las especies acuícolas de aguas interiores son tanto de afinidad tropical (la tilapia y el bagre) como templada (la trucha y la carpa). Los cultivos serán particularmente vulnerables ante factores como el aumento térmico, las inundaciones, las precipitaciones, la hipoxia y las infecciones. En cultivos de tilapia de aguas interiores, el aumento térmico provoca la estratificación del cuerpo de agua, con formación de zonas anóxicas y propensión hacia estados de inmunodepresión e infecciones, con tasas de crecimiento bajas e inclusive mortalidades (Pickering *et al.*, 2011). Estos efectos se pueden agudizar en zonas costeras inundables, por la fertilización de los cuerpos de agua causada por el transporte fluvial de agroquímicos, contribuyendo al florecimiento de algas nocivas (e.g. Colima, en Liñan-Cabello *et al.*, 2016), y/o causando estrés osmótico por el aumento del nivel del mar (Likongwe *et al.*, 1996). Además, la presencia de huracanes provoca escapes y/o mortalidades masivas de individuos junto con pérdidas en instalaciones e infraestructura, valuadas en millones de pesos (Platas-Rosado *et al.*, 2016; Liñan-Cabello *et al.*, 2016). Por otro lado, se espera que los cultivos de las especies templadas presenten una contracción conforme aumente la temperatura hacia sitios más altos o polares (De Silva y Soto, 2009).

223

3.2 Cultivo de bivalvos

La producción global de bivalvos es principalmente vulnerable ante la acidificación marina por la dependencia de sus estructuras calcáreas (ie. conchas). Algunos efectos globales reportados sobre los individuos cultivados son la reducción de crecimiento (Gazeau *et al.*, 2013)

y del grosor y la longitud de sus valvas (Hofmann *et al.*, 2001), anomalías en la etapa larvaria (Watson *et al.*, 2009) y afectaciones en el proceso reproductivo (Kimura *et al.*, 2011). En México, todos los litorales se verán impactados por la acidificación marina. Para el caso del noroeste, este fenómeno se presenta de forma natural, debido a las surgencias marinas, por lo que se espera un mayor efecto (Lluch-Cota *et al.*, 2017); para el caso del Golfo de México, la acidificación se potenciará derivada de las descargas de nutrientes que recibe (Cai *et al.*, 2011). La acidificación impactará las principales especies de ostras cultivadas por región, como *Crassostrea gigas* y *Crassostrea virginica*, mediante la disminución de la producción de semillas en laboratorios o la sobrevivencia de juveniles para la siembra (Whitman-Miller *et al.*, 2009; Barton *et al.*, 2012; Gazeau *et al.*, 2011). Además de la acidificación, en paralelo, el incremento térmico ha causado episodios de mortalidades masivas en cultivos de *Crassostrea gigas* (Chávez-Villalba *et al.*, 2010), y en el Golfo de México se ha relacionado con episodios de infecciones por protozoarios (*Perkinsus marinus* y *Haplosporidium nelsoni*) en *Crassostrea virginica* (Hofmann *et al.*, 2001), ambos casos con altas pérdidas económicas. Para otros moluscos acuícolas de afinidad subtropical-templada, como es el caso del abulón azul, *Haliotis fulgens* (Tab. 2), el calentamiento climático impactará negativamente su alimento, las macroalgas laminariales (*Macrocystis pyrifera* y *Eisenia arborea*), afectando directamente la línea de producción de los juveniles en granjas de cultivo (Del Prío *et al.*, 2003). Asimismo, la almeja mano de león, *Nodipecten subnodosus* (Tab. 2), presenta predisposición a la inmunodepresión, enfermedad y muerte (Maeda-Martínez, 2008). Para el caso de la almeja chiluda o de sifón (*Panopea globosa*), solo en la fase de asentamiento es susceptible a las altas temperaturas, previendo una potencial contracción en su distribución (Aragón-Noriega *et al.*, 2017), afectando la colecta de reproductores y disminuyendo el área disponible para su producción. Para el caso de la especie con afinidad tropical, el callo de hacha china (*Atrina maura*) (Tab. 2), el incremento térmico ha causado mayor prevalencia y niveles de infección por *Perkinsus* sp. (Góngora-Gómez *et al.*, 2016) y cambios negativos en los desoves y la producción de ovocitos atrésicos, provocando la reducción de semillas del medio natural y afectando su acuicultura extensiva difundida por el noroeste del país.

3.4 Cultivo de peces marinos

La acuicultura de peces marinos en México es representada por el atún (*Thunnus orientalis*), en la costa de Baja California, donde se engordan juveniles capturados del medio natural, práctica denominada como sea ranching o granja atunera. El aumento de temperatura es uno de los factores ligados al cambio climático, el cual contribuye a que los peces de maricultivo (e.g. atún) incrementen su metabolismo, su demanda de oxígeno (Blank *et al.*, 2007) y su carga parasitaria (Doubleday *et al.*, 2013), a la par que aumentará el riesgo por presencia de mareas rojas. Otros cultivos del noroeste del país son el jurel (*Seriola lalandi* y *Seriola rivoliana*), el huachinango (*Lutjanus peru*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*). Con el aumento térmico, estas especies frecuentemente presentan daño en la piel y las branquias e incremento de las infecciones y los parásitos (Doubleday *et al.*, 2013). El efecto de la acidificación marina sobre los peces marinos no es contundente, pues presentan un sistema de regulación ácido-base (Booth *et al.*, 2017).

De acuerdo con Reyes-Bonilla, *et al.*, 2021a, la mayoría de los sitios donde se realiza la maricultura experimentarán una disminución de su productividad primaria hacia el año 2050, y entre 20-50% tendrán disminuciones en sus niveles de oxígeno disuelto, además de un incremento en la temperatura de hasta 2 °C bajo el escenario de baja mitigación. Para el año 2100, se esperan bajos niveles de productividad primaria en el escenario más favorable y, aunque podrían disminuir las anomalías de temperatura respecto al año 2050, se espera un decremento en los niveles de oxígeno disuelto en todos los sitios. Esta información es clave para ubicar los sitios de maricultivo y seleccionar anticipadamente las especies y artes de cultivo necesarios para contrarrestar los efectos negativos del ambiente, y asegurar la rentabilidad de los proyectos acuícolas.

4. Vulnerabilidad del sector acuícola mexicano

El término *vulnerabilidad* es muchas veces usado en conjunto con conceptos como *resiliencia*, *marginalidad*, *susceptibilidad*, *adaptabilidad*, *fragilidad* y *riesgo* o como sinónimo de estos (Liverman, 1990). Además, el término puede ser empleado en varios contextos (e.g. seguridad alimentaria, salud pública, manejo de riesgos), por lo que suele existir confusión al respecto. En el presente documento, de acuerdo con la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, se entiende vulnerabilidad como “el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los eventos extremos. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y la tasa de variación climática a la que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación” (Füssel y Klein, 2006).

226

Si bien existen varias metodologías para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático (Füssel y Klein, 2006), en general es un proceso de cuatro pasos: i) especificación de los objetivos a largo plazo para la mitigación de los efectos del cambio climático, ii) identificación de los grupos, los sectores y/o las regiones vulnerables (para priorizar las acciones), iii) evaluación de la exposición, la sensibilidad y los impactos diversos que tendrá el cambio climático en los grupos, los sectores y/o las regiones identificados anteriormente, iv) diseño y recomendación de medidas de adaptación de los grupos, los sectores y/o las regiones analizados (Füssel y Klein, 2006).

Cabe decir que, a diferencia de otras industrias agroindustriales terrestres, la acuicultura se enfrenta a una inmensa heterogeneidad, lo que hace que la vulnerabilidad del sector al cambio climático sea inmensamente variada. En general, la vulnerabilidad será diferente según el tipo de acuicultura del que se trate. En este sentido, se puede categorizar la producción acuícola en función de tres diferentes características:

1. La especie (o especies) por producir. Se puede tratar de algas unicelulares, pluricelulares o multicelulares; estas últimas pueden ser verdes, pardas o rojas. También se puede hablar de la producción animal, en la cual se encuentran diferentes grupos, incluyendo peces de escama, crustáceos, moluscos, gasterópodos, anfibios, reptiles, entre otros.

2. El método de producción utilizado. En este sentido, hay subcategorías que diferencian la producción de acuerdo con la intensidad y la tecnificación del cultivo, es decir, con la densidad de producción, siendo de mayor a menor de carácter intensivo, semi-intensivo y extensivo. A su vez, se puede clasificar en función del control y el uso del agua, como un sistema abierto, cuando el agua utilizada tiene una entrada y una salida; o como un sistema cerrado, cuando el agua que sale sigue un proceso de recirculación y vuelve a entrar en el sistema de producción.

3. La ubicación. Esto puede hacer referencia a la región geográfica, a los sistemas de producción de aguas interiores, cuando la producción se realiza en tanques, estanques o cualquier sistema ubicado en la masa continental, como la engorda de camarón en Sinaloa o Sonora, o a los sistemas mar adentro o maricultura, cuando la producción se realiza en jaulas, redes o cualquier sistema que se ubique mar adentro, como la engorda de atún aleta azul en el noroeste mexicano.

227

Una vez que se precisa el tipo de acuicultura de interés y se conocen los efectos esperados del cambio climático en México (véase sección 6), es posible inferir la vulnerabilidad de cada proyecto al cambio climático.

Reyes-Bonilla, et al., 2021b calcularon la vulnerabilidad de más de 7000 instalaciones acuícolas en el país, mostrando que la susceptibilidad al cambio climático del sector acuícola es mayor en el noroeste del país, mientras que la exposición es mayor en las zonas costeras. Por otro lado, la capacidad adaptativa es superior en el noroeste y el resultado final es que las instalaciones de acuicultura situadas en el noroeste, Pacífico sur, y la Península de Yucatán, son las más vulnerables, y podrían ser prioritarias para su atención. El estudio realizado incorpora los escenarios de cambio climático de alta mitigación (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas) y el resultado apunta a que las entidades sin litoral en el centro de México serán potencialmente más afectadas por el cambio climático, pero si la emisión de gases de invernadero aumenta a la velocidad actual, y se presenta el escenario más drástico (SSP585), la vulnerabilidad acuícola aumentará en todo el país, pero especialmente en Yucatán, Chiapas y Veracruz.

5. Impactos negativos de la actividad acuícola relacionados con el cambio climático y la sustentabilidad

Acorde con Bai *et al.* (2018), se entiende por producción y consumo sustentables a la producción y el consumo de productos y servicios que satisfacen necesidades esenciales y proporcionan una mejor calidad de vida, al tiempo que disminuyen el consumo de recursos naturales y las emisiones de sustancias y desechos tóxicos a lo largo de sus ciclos de vida, con el objetivo de causar menos daños a los recursos naturales, asegurando así que las demandas de las generaciones futuras serán satisfechas.

Al respecto, si bien el cambio climático representa un riesgo para la acuicultura, esta actividad, como cualquier proceso de producción de alimentos, implica cierto costo ambiental ligado a la infraestructura y los recursos (agua, suelo, energía, alimento, etc.) que necesita (Bartley *et al.*, 2007), que propician el incremento de la temperatura y, en consecuencia, el cambio climático global. La acuicultura, además, genera impactos negativos inmediatos, en detrimento de la sustentabilidad de la actividad, como el vertimiento de aguas residuales (ricas en nutrientes), la destrucción de manglares (aunque cada vez son menos los reportes, persisten en las inspecciones de la PROFEPA), el cambio de uso de suelo, la modificación de paisajes, el uso de antibióticos y el escape de organismos al medio natural.

228

5.1 Emisión de gases de efecto invernadero

La dependencia de energía y la cantidad de emisiones asociadas con la producción acuícola dependen del tipo de producción (e.g. extensivo o intensivo; camaricultura u ostricultura). En general, es clara la dependencia del sector a los energéticos, los cuales muchas veces provienen de fuentes no renovables o directamente de la quema de combustibles fósiles para el funcionamiento de generadores en zonas remotas. La dependencia es alta, sobre todo si se consideran todas las actividades que giran alrededor de una unidad de producción acuícola, que van desde la producción o colecta de juveniles, la producción de alimentos, la operación de la granja, la cosecha, el procesamiento y la comercialización (Troell *et al.*, 2014).

Otra fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, pocas veces considerada, es la que deriva del consumo de los piensos, ya sea por el metabolismo de los organismos o por la descomposición del alimento excedente, lo que genera CO₂, cantidades importantes de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Aunque existe incertidumbre sobre las toneladas métricas emitidas, para contextualizar la relevancia de esta fuente de contaminación, se estimó que en 2008 el sector acuícola emitió 0.33% del N₂O antropogénico total (0.09 toneladas métricas), cifra que ascenderá a 5.72% (0.6 toneladas métricas) para 2030, según se ha proyectado (Williams y Crutzen, 2010; Hu *et al.*, 2012; Yuan *et al.*, 2019).

5.2 Descargas de contaminantes

El alimento no consumido y las excretas de los organismos transfieren gran cantidad de nutrientes al medio ambiente circundante a las unidades de producción acuícola, ya sea por el recambio de agua o directamente a través de las jaulas flotantes y jaulas. Se estima que en 2016 se descargaron 10.9 millones de toneladas métricas de carbono y 1.9 millones de toneladas de nitrógeno al ambiente provenientes de la acuicultura (Yuan *et al.*, 2019). El impacto de las descargas variará de acuerdo con la cantidad, la concentración y la composición, lo cual, a su vez, depende de la escala, la especie y la tecnificación de la unidad de producción, así como de la capacidad de asimilar los excedentes nutrientes de cada zona (Piedrahita, 2003). Se calcula que la descarga de carbono y nitrógeno relacionada con el cultivo de camarón en el Golfo de California fue de 839 y 29.3 toneladas respectivamente, es decir, menos de 3% del carbono y el nitrógeno descargados en la región; la agricultura contribuye con más de 50% (Páez-Osuna, 1999).

Este excedente de nutrientes crea un medio ideal para la proliferación de microalgas, las cuales, al descomponerse en conjunto con los desechos de las granjas, pueden reducir la cantidad de oxígeno disponible (Emerson, 1999). Cualquier microalga puede beneficiarse del excedente de nutrientes, pero existen especies nocivas para los organismos en cultivo; por ejemplo, diatomeas que irritan las branquias de los peces o dinoflagelados que producen toxinas que pueden matar a los organismos en cultivo e incluso bioacumularse y convertirse en un problema de salud pública (Yang y Albright, 1994).

Otros compuestos que pueden contaminar las zonas circundantes a las unidades de producción son los antibióticos y los tratamientos que se les añaden a los alimentos (e.g. ivermectina, Terramicina® y Romet®30). Aunque se presume que los impactos ecológicos que representan estos descartes son mínimos, el uso irresponsable de los antibióticos es motivo de preocupación, debido al problema de salud pública que representa la aparición de microorganismos resistentes como consecuencia de su acumulación en el medio ambiente (Cabello, 2006; Santos y Ramos, 2016; Thornber *et al.*, 2020).

La administración profiláctica de antibióticos está actualmente prohibida, pero el uso de antibióticos en la acuicultura depende de las regulaciones locales, que varían ampliamente en cada país (Watts *et al.*, 2017). Si bien en algunos países se implementan efectivamente regulaciones estrictas para su uso, las disposiciones y su aplicación son menos rigurosas en los países en desarrollo, donde tiene lugar 90% de la producción acuícola mundial (FAO, 2020).

También se registra el uso de aditivos y químicos para controlar los organismos incrustantes o *biofouling* en la infraestructura sumergida, sustancias que pueden causar problemas al medio ambiente (Emerson, 1999).

6. Mitigación de impactos de la actividad y de los efectos negativos del cambio climático

El propósito de la mitigación es la atenuación de los daños potenciales sobre el medio ambiente. El planteamiento de estos asuntos tiene un impacto directo sobre la rentabilidad de la producción y la reducción de riesgos. De tratarse de forma inadecuada, puede resultar en insolvencia destruir el medio de vida de muchas personas y poner en riesgo la seguridad alimentaria. Es importante buscar el equilibrio entre los impactos sociales, económicos y ambientales de la actividad (León-Santana y Hernández, 2008).

La mitigación de impactos puede abordarse desde diferentes perspectivas: el sector público, la iniciativa privada o los mecanismos de mercado. La primera buscará incentivar o desincentivar los impactos de la industria, principalmente, con instrumentos de política pública como los subsidios, los impuestos, las multas, la imposición de cuotas de producción, la prohibición o los permisos. La iniciativa privada puede mitigar su impacto mediante el uso de nuevas tecnologías y técnicas de manejo. Finalmente, el consumidor puede impulsar la mitigación de impactos al preferir productos responsables con el medio ambiente, obligando a las empresas a mejorar sus prácticas para competir en los mercados (De Silva y Soto, 2009).

231

6.1 Estrategias del sector público para la mitigación de los impactos

Como se expone a continuación, el Estado puede intervenir de varias maneras en el sector acuícola en favor de la mitigación del impacto del cambio climático y para reducir los impactos negativos de la producción.

6.2 Zonación de la producción

Una de las principales actividades que puede realizar el gobierno para fomentar la acuicultura sustentable es la aplicación de un programa de ordenamiento espacial o zonación (Longdill *et al.*, 2008). El gobierno puede dar preferencia a ciertas especies en función de la zona de producción; por ejemplo, puede priorizar la producción de especies de ambientes templados, como el ostión o el jurel, en la

zona del Pacífico Norte del país (Baja California Sur y Baja California), donde la temperatura del mar es más propicia para estas especies, y dar prioridad a las especies de climas tropicales o subtropicales, como el camarón o la tilapia, en áreas donde la temperatura es más propicia para ellas, como en el área del Golfo de México o la zona este del Golfo de California.

6.2 Zonación de la producción

Una de las principales actividades que puede realizar el gobierno para fomentar la acuicultura sustentable es la aplicación de un programa de ordenamiento espacial o zonación (Longdill *et al.*, 2008). El gobierno puede dar preferencia a ciertas especies en función de la zona de producción; por ejemplo, puede priorizar la producción de especies de ambientes templados, como el ostión o el jurel, en la zona del Pacífico Norte del país (Baja California Sur y Baja California), donde la temperatura del mar es más propicia para estas especies, y dar prioridad a las especies de climas tropicales o subtropicales, como el camarón o la tilapia, en áreas donde la temperatura es más propicia para ellas, como en el área del Golfo de México o la zona este del Golfo de California.

232

6.3 Cuotas de producción

Otra posibilidad para reducir el impacto de la acuicultura es mediante el establecimiento de cuotas de producción (Besson *et al.*, 2017). Para esto, es necesario identificar el efecto que tiene la producción acuícola por unidad en sus diferentes variantes, establecer un objetivo de mitigación, fijar un máximo productivo por especie y únicamente proporcionar permisos a un número limitado de concesionarios sin exceder la producción objetivo en función de su impacto. No obstante, este tipo de herramientas puede tener un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria e incluso sobre la rentabilidad de la actividad.

6.4 Impuestos, multas y subsidios

Las herramientas más utilizadas para el control de una actividad son los impuestos, las multas y los subsidios (Conrad, 1993). El Estado debe hacer un análisis de impacto de la actividad, fijar objetivos de mitigación —por ejemplo, reducir las emisiones de CO₂—

y establecer multas e impuestos que desincentiven la emisión excesiva por parte de la industria. Existen diversas formas de aplicar estas herramientas; la más común son los impuestos pigouvianos; en este caso, el valor del impuesto se determina en función de los contaminantes emitidos. Por otro lado, el Estado puede premiar o incentivar las medidas de mitigación, como el uso de probióticos o de energías renovables, mediante el subsidio a las empresas que se embarquen en la implementación de este tipo de tecnologías (Gerlagh y Van der Zwaan, 2006).

Hasta ahora, los subsidios aplicados a la acuicultura en México se derivan de los empleados en la producción agrícola, donde se subsidia el consumo de energía para reducir costos y promover una mayor producción con el objetivo de afianzar la seguridad alimentaria. Sin embargo, debido a que la mayoría de la energía del país proviene de la quema de combustibles fósiles (Secretaría de Energía, 2019), el subsidio tiene un impacto negativo sobre la emisión de gases de efecto invernadero, acelerando así los efectos del cambio climático. Una posibilidad para mejorar el desempeño ambiental de la industria sin afectar la seguridad alimentaria es trasladando ese subsidio a otros costos significativos para la industria, como la implementación de tecnologías de generación de energías limpias.

233

6.5 La mitigación de los impactos desde el sector privado

La iniciativa privada tiene a su disposición una gran variedad de tecnologías y técnicas de manejo para reducir el impacto de la producción, como se presenta a continuación.

6.5.1 Empleo de tecnologías limpias

Una de las tecnologías que permiten el control de las variables afectadas por los efectos del cambio climático es el sistema de recirculación de agua o RAS. Este método maximiza el rendimiento de la producción por metro cuadrado mediante el control de la calidad del agua. A medida que la producción es más controlada, se reduce la emisión de efluentes. Sin embargo, el consumo de energía crece, pues se necesita del bombeo continuo de agua y oxígeno y, en algunos casos, la regulación térmica del agua para mantener condiciones óptimas de cultivo.

En los últimos años, la ciencia aplicada ha desarrollado una gran cantidad de herramientas que minimizan los impactos negativos de la producción acuícola. La principal es el uso de las llamadas energías limpias (fotovoltaica, eólica, geotérmica, etc.) cuya emisión de gases de efecto invernadero es mínima o nula.

Otro ejemplo es el uso de tecnologías denominadas de descarga cero, es decir, que eliminan o reducen significativamente la necesidad de realizar recambios de agua. Un ejemplo es el uso de probióticos y biorremediadores, que permiten mantener un cultivo por un periodo prolongado sin necesidad de utilizar antibióticos ni realizar recambios de agua, reduciendo significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (Peñalosa-Martinell et al., 2020b).

6.5.2 Acuicultura multitrófica

234

Si bien la aplicación de tecnologías limpias es importante para cualquier tipo de cultivo acuícola, no es la única solución a los impactos ambientales de la acuicultura. Hoy en día, la inmensa mayoría de la producción acuícola en México se basa en la producción monoespecífica, es decir, de una especie. La acuicultura multitrófica, o acuicultura multitrófica integrada, se basa en fomentar la producción de dos o más especies que se beneficien mutuamente. Por ejemplo, el cultivo de peces en jaula conlleva la emisión de nutrientes que pueden ser utilizados como alimento por alguna especie de moluscos biofiltradores que, a su vez, producirán nutrientes por excreción que pueden ser aprovechados por una especie de macroalgas capaces de asimilar estos nutrientes y convertirlos en biomasa (Fig. 2). Este tipo de producción conllevaría un consumo mínimo de energía y multiplicaría la biomasa obtenida por unidad de insumo utilizada (Chopin *et al.*, 2012). Una variación especial de la acuicultura multitrófica integrada es la acuaponía, que es la combinación de dos técnicas productivas: la acuicultura y la hidroponía (Goddek *et al.*, 2015).

Knowler et al., 2020 encontraron que la rentabilidad de los sistemas multitróficos es factible, particularmente combinando el cultivo de especies de invertebrados y algas, con los cultivos tradicionales (e.g. piscicultura). La actividad es promisoría y en México ya se

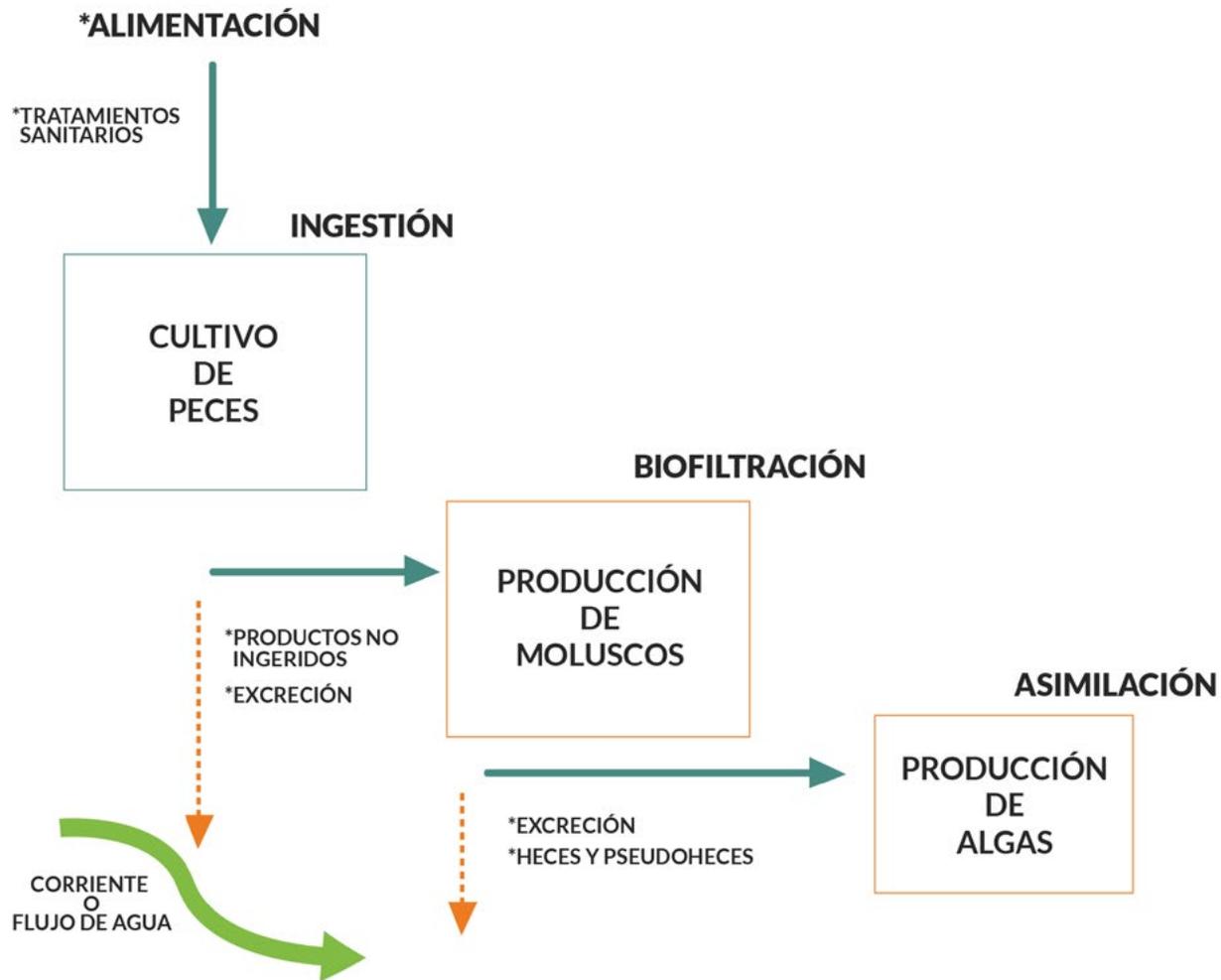


Figura 2. Esquema de producción acuícola multitrofica integrada.

Nota: Las flechas azul claro hacen referencia a los insumos de cada fase, las flechas verdes son los excedentes de cada fase, los rectángulos representan unidades de producción. Los excedentes de una fase sirven como insumo para la siguiente y se dosifican por medio de la corriente o el flujo de agua, representado por la curva.

Fuente: Chopin *et al.*, 2012.

cuenta con empresas innovadoras (e.g. Prosemar) que pueden proveer la asesoría y la ejecución de proyectos de cultivo multitrófico en el Pacífico Sudcaliforniano (Bauer, *et al.*, 2019). El rendimiento económico continúa siendo evaluado, debido a la complejidad de las relaciones entre los organismos, las dificultades técnicas y la inversión necesaria para conseguir una unidad productiva suficiente. La planeación, el manejo adecuado y el posicionamiento en el mercado pueden resultar en una producción viable (Granada *et al.*, 2016). Impulsar proyectos demostrativos es clave para que el cultivo multitrófico sea una alternativa para el desarrollo de la actividad en México.

6.5.3 *Uso eficiente de los recursos*

236 Se estima que acelerando el desarrollo tecnológico y fomentando la transferencia tecnológica sería posible cubrir la demanda de alimento proyectada para 2050, reduciendo a la par los impactos ambientales al aumentar la productividad y la eficiencia en el uso de los insumos (Tilman *et al.*, 2001, 2011). Como evidencia, las emisiones de gases de efecto invernadero de la acuicultura extensiva pueden llegar a ser ≈ 28 veces mayor por cada kilogramo de biomasa producida respecto a la producción proveniente de los sistemas intensivos (Yuan *et al.*, 2019).

La magnitud del mercado, actual y proyectado, que representa la industria alimentaria global, en conjunto con la presión para desarrollar tecnologías (tanto para reducir el impacto ambiental del sector como para aumentar los márgenes de ganancias en un mercado competitivo de productos poco diferenciados), se traduce en una fuente importante de oportunidades de negocio innovadoras a lo largo de la cadena de valor, que genera los incentivos económicos para fomentar el crecimiento y la optimización de la industria acuícola (Goldsmith, 2001; Dutia, 2014; Schumpeter, 2017).

6.5.4 *Optimización de la operación de las unidades de producción acuícola*

Finalmente, una herramienta de interés para la mitigación por parte de la iniciativa privada consiste en optimizar la infraestructura y los insumos disponibles. La ciencia de datos y la analítica de negocios son algunos ejemplos de herramientas de manejo que permiten

minimizar el impacto de la producción, maximizando su rendimiento biológico y/o económico. Estas herramientas se basan en el uso de modelos matemáticos y estadísticos capaces de predecir el comportamiento de la producción partiendo de la información proporcionada por el área de producción.

Los modelos se han usado tradicionalmente para optimizar el rendimiento económico de las empresas, pero pueden aplicarse a distintos ámbitos, encaminando así la investigación y la producción industrial hacia los ODS. El uso de modelos bioeconómicos puede resultar útil para diversos análisis, desde los procesos que puedan afectar los precios, tanto de los insumos como de los productos del mar, hasta el incremento de la producción, que puede tener efectos sobre la creación de empleo, el impacto ambiental, el incremento de utilidades y el aumento de la competitividad de la industria (Peñalosa-Martinell *et al.*, 2019).

6.5.5 *La fuerza del mercado para crear incentivos dirigidos a reducir los impactos de la actividad*

237

Finalmente, existen algunos mecanismos de mercado que pueden fungir como elemento de presión hacia los productores con el objetivo de encaminarlos hacia una producción más responsable con el medio ambiente, mitigando así los impactos de la actividad sobre el cambio climático.

6.5.5.1 *El poder del consumidor y el eco-etiquetado de la actividad*

El principio del poder del consumidor se basa en el impacto que tiene su preferencia de compra sobre el mercado. Para garantizar que una empresa cuente con un sistema de producción responsable con el medio ambiente, existe un sistema de evaluación de la producción que, mediante el uso de indicadores y auditorías —tanto internas como externas—, emite un certificado que autentifica el compromiso de la empresa con una producción sustentable. Una vez obtenido el certificado, los productos pueden ser etiquetados como sustentables, dando información al consumidor respecto a las prácticas de producción, posicionando su producto en el mercado como responsable con el medio ambiente. Algunos ejemplos son el certificado ISO 14001, Fair Trade o la etiqueta del Aquaculture Stewardship Council.

Puesto que la obtención del certificado y la adaptación de la producción conllevan una inversión por parte de los productores, los productos etiquetados suelen tener un precio más alto (Roheim, 2009). Sin embargo, son cada vez más los consumidores que optan por la compra de productos responsables con el medio ambiente, obligando a las empresas a realizar producciones responsables para competir en el mercado (Carlucci *et al.*, 2017).

6.5.6 *Establecimiento de mercados de carbono*

Esta herramienta combina la influencia del Estado, la iniciativa privada y el mercado. Su principio se basa en el libre mercado y en el establecimiento de un objetivo de emisiones de CO₂ para la industria, conocido como cuota de emisión. Una vez que se fija la cuota, se realiza un reparto de bonos de carbón en función del tamaño de la empresa o de su producción o mediante una subasta de bonos de emisión. Tras el reparto de los bonos, las empresas pueden comerciar con ellos según su actividad. Si una empresa determinada tiene una emisión de CO₂ superior a la que contabiliza en sus bonos, deberá pagar una multa establecida previamente por el Estado. De esta forma, se busca que las empresas reduzcan sus emisiones e intenten maximizar sus beneficios mediante la venta de bonos a empresas incapaces de reducir su impacto (Fankhauser y Hepburn, 2010).

7. Mecanismos y estrategias de adaptación al cambio climático

Se plantean dos formas de hacer frente al reto global que supone el cambio climático: la mitigación de los impactos que tiene la actividad productiva sobre el medio ambiente y la adaptación a las nuevas condiciones climáticas que se presentarán como consecuencia del cambio climático.

La literatura especializada se refiere a diferentes tipos de adaptación: autónoma si la adaptación se da de forma espontánea; o planeada si se basa en el análisis de series históricas y proyecciones climáticas para adaptar los métodos de producción (Barange *et al.*, 2018) (Fig. 3). También se diferencia la adaptación en función del tiempo: a corto plazo, si se trata de una solución rápida a un problema de cambio climático que sin duda irá en aumento; o a largo plazo, cuando consiste en una adaptación gradual a un problema que irá en aumento, y no se registrarán los resultados hasta un periodo de alrededor de diez años o más.



Figura 3. Descripción de la escala de tiempo, beneficios, esfuerzo y costos asociados con la implementación de los diferentes tipos de medidas de adaptación al cambio climático. Nota: El diámetro del círculo representa la dificultad de la implementación de cada tipo de adaptación. Para las respuestas específicas, la escala suele ser de un ciclo productivo y tiene asociada una reducción de costos. En el caso de la adaptación planeada, las de largo plazo pueden abarcar una escala de tiempo mucho más amplia, incluso generacional. Fuente: Barange *et al.*, 2018.

La adaptación incluye una variedad de políticas y acciones de gobernanza, apoyo técnico específico y actividades de creación de capacidad comunitaria que aborden múltiples sectores, pudiendo no ser dirigidas exclusivamente al sector acuícola. Por lo tanto, el primer paso hacia la adaptación consiste en la generación de conocimiento respecto al impacto que se puede esperar del cambio climático sobre el sector acuícola. Posteriormente, se debe evaluar el riesgo del cambio climático sobre la producción, pues es posible que los impactos del cambio climático conlleven poco riesgo sobre algunas especies producidas (por ejemplo, de afinidad tropical), en cuyo caso a veces no es necesario realizar ningún método de adaptación. Por otro lado, si los efectos asociados con el cambio climático tienen un impacto significativo sobre la especie producida (por ejemplo, de afinidad templada), será necesario adaptarse a los cambios esperados.

Una vez identificados los impactos, es necesario evaluar posibles soluciones de adaptación, en diferentes escalas: a) individual, b) sectorial, c) estatal y d) internacional.

240 a) Individual. Las soluciones individuales se refieren a aquellas acciones que puede tomar cada productor de forma aislada para adaptarse a los impactos del cambio climático. En esta dimensión, la mayoría de las adaptaciones son técnicas, tecnológicas y/o de manejo. En caso de que la producción se encuentre en marcha, es decir, que ya exista una infraestructura instalada para una especie en particular, es posible realizar cambios en el manejo que minimicen los efectos negativos del cambio climático; por ejemplo, cambiando las fechas de cosecha, realizando más cosechas parciales o contratando diferentes tipos de seguros (McDaniels *et al.*, 2006). En caso de tratarse de una producción nueva, que aún no tiene infraestructura de ningún tipo, es posible adaptarse al cambio climático de diferentes formas; por ejemplo, seleccionando una especie que sea más resistente a escenarios futuros, implementando infraestructura que maximice el control de la calidad de agua y de manejo de los individuos o eligiendo un sitio que optimice el desempeño de la especie a producir teniendo en cuenta los escenarios y las condiciones que presentará esa zona en el futuro.

b) Sectorial. Las soluciones sectoriales aluden a las medidas de adaptación que puede adoptar el sector acuícola como grupo, es decir, cooperativas, asociaciones civiles o la industria en general. Un ejemplo del beneficio de las soluciones sectoriales es la implementación

de segmentos o clusters de producción. Estos esfuerzos colectivos permiten diversificar el riesgo y maximizar las capacidades de operación gracias a la proximidad de diferentes actores. También permiten optimizar la inversión en infraestructura que puede actuar en beneficio de todos, como el desarrollo de barreras naturales o artificiales que reduzcan el impacto de desastres naturales (De Silva y Soto, 2009; Joffre *et al.*, 2019). En otra dimensión, estas alianzas sectoriales pueden funcionar como grupos de presión ante iniciativas del gobierno, buscando mejorar el acceso a financiación o apoyos gubernamentales ante los retos del cambio climático.

c) Estatal. Mecanismo que puede tener un Estado para la gobernanza acuícola. A este nivel, la adaptación de la acuicultura al cambio climático está marcada principalmente por la ordenación y la aplicación de políticas públicas. Una de las principales acciones que puede llevarse a cabo en este aspecto es la ordenación territorial de la producción, para lo cual es necesario identificar las especies que presentan un mayor o menor riesgo en función del área de producción y las condiciones productivas que se espera encontrar en los próximos años. En el caso de las áreas concesionadas, se puede solicitar una proyección ambiental con una duración igual al periodo de la concesión y evaluar cuál sería el desempeño de la actividad durante ese tiempo. De esta forma, el gobierno puede emitir permisos de producción en función de la vulnerabilidad de la especie y del desempeño que tendrá, dando prioridad a las especies más resilientes para zonas específicas (Cochrane *et al.*, 2009; De Silva y Soto, 2009).

d) Internacional. Existen algunos organismos, como la FAO o el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que pueden tener un efecto importante sobre la adaptación de la acuicultura al cambio climático en una escala mayor. Debido a la naturaleza no vinculante de los pactos que promueven estas instituciones, su principal aportación para la adaptación al cambio climático se centra en la generación de información a diferentes niveles. Esta información es vital, no únicamente para comparar el desempeño de las naciones en cuanto a producción, sino también para evaluar la resiliencia y la capacidad de distintos actores a gran escala. Además, a pesar de impulsar acuerdos no vinculantes, estas organizaciones crean estrategias y directrices que coadyuvan a los gobiernos nacionales a dirigir sus agendas y proporcionan fondos para la investigación y la aplicación de conocimientos que permitan ajustarse

a estas agendas. Un ejemplo destacable son los ODS, un acuerdo no vinculante entre los países miembros de la ONU que establece 17 objetivos con varias metas que permitirían acercarse a un desarrollo sostenible. En particular, el objetivo 14, “vida submarina”, hace especial referencia a la pesca y la acuicultura; y la meta 14.2 señala la necesidad de proporcionar mayor capacidad de adaptación al cambio climático mediante el incremento de la resiliencia de la producción.

Además de las citadas, existen muchas formas de adaptación al cambio climático en función del efecto esperado sobre la especie a producir, las instalaciones, la zona productiva, la cohesión de los diferentes actores y las alianzas existentes.

En consecuencia, una agenda para la adaptación al cambio climático en acuicultura a nivel nacional debe, al menos:

- 1) Ser planeada y evaluar los impactos de corto, mediano y largo plazo, incluyendo la proyección de escenarios y especies, con base en el conocimiento científico.
- 2) Tener en cuenta a los diferentes actores del sector: proveedores, productores, comunidades, intermediarios, puntos de venta, consumidores, gobierno, academia y sociedad en general.
- 3) Contar con un programa gubernamental coherente mediante el desarrollo de marcos jurídicos y ejecutivos que permitan articular las interacciones de los diferentes actores de forma justa.

8. Marco legal y políticas públicas en relación con el cambio climático en México

En el caso de México, las políticas públicas relacionadas con la acuacultura y el cambio climático se concentran, en general, en dos leyes, que definen, fomentan y regulan la actividad acuícola y atienden el tema del cambio climático y su problemática, como la vulnerabilidad y la mitigación. Son la LGPAS (2007, cuya última reforma se publicó el 24 de abril de 2018 en el *DOF*) y la LGCC (2012, cuya última reforma se publicó el 13 de julio de 2018 en el *DOF*). En la primera, se define la acuacultura¹⁹ y sus distintos tipos: comercial, de fomento, didáctica, industrial y rural, los cuales presentan diferentes grados de vulnerabilidad ante el cambio climático, dados los niveles de capital, la organización para la producción las técnicas de cultivo empleadas.

La LGPAS establece que corresponde a la CONAPESCA, dependencia que administra la pesca y la acuacultura en el país, promover, regular, dirigir e implementar la ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en materia de pesca y acuacultura sustentables. También señala que es facultad de los gobiernos de las entidades federativas coordinarse con la Federación, con otras entidades federativas y con sus municipios en materia de pesca y acuacultura sustentables, para la implementación de acciones para la mitigación y la adaptación al cambio climático. Finalmente, dispone que la investigación científica y tecnológica debe ser el instrumento que guíe la implementación de acciones en materia de pesca y acuacultura sustentables para la mitigación y la adaptación al cambio climático.

Por su parte, la LGCC define jurídicamente el cambio climático;²⁰ asigna atribuciones a la Federación, las entidades Federativas y los

¹⁹ Conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, preengorda y engorda de especies de la fauna y flora realizadas en instalaciones ubicadas en tierra, aguas dulces, marinas o salobres, por medio de técnicas de cría o cultivo.

²⁰ Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables.

municipios en cuanto al establecimiento, la regulación y la instrumentación de las acciones para la mitigación y la adaptación al cambio climático en materia de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y acuicultura; y ordena la elaboración de la Política Nacional de Adaptación en el marco del Sistema Nacional de Cambio Climático para la implementación de acciones para la mitigación y la adaptación. Existen otras leyes de carácter federal que han incluido, en años recientes, el tema del cambio climático, como la LGEEPA, cuya última reforma se publicó el 5 de junio de 2018 en el DOF, que está relacionada, entre otros asuntos, con el ordenamiento ecológico.

La política pública más específica para la mitigación y la adaptación frente al cambio climático es el impuesto al carbono. El impuesto al carbono es una tasa aplicada a las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, establecido en la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios. De acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, el impuesto cumple dos objetivos centrales: 1) reducir las emisiones y 2) aumentar la recaudación del Gobierno Federal (Plataforma Mexicana de Carbono, 2016). Esta misma referencia indica que, para 2017, el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios para Combustibles Fósiles tuvo un valor de 43.77 pesos por tonelada de carbono. No obstante que varios combustibles están exentos de pagar el impuesto, entre octubre de 2014 y diciembre de 2015, la recaudación del impuesto fue mayor a 17,000 millones de pesos (aproximadamente 950 millones de dólares). El uso de energía es fundamental para realizar actividades acuícolas y está relacionado con el precio de combustibles fósiles, el cual es muy probable que se incremente cada vez más por incorporar conceptos como el impuesto al carbono (impuesto verde a emisiones de gases de efecto invernadero).

En conclusión, conforme al marco legal mexicano y a los instrumentos de política pública sobre el cambio climático relativamente recién establecidos, la acuicultura enfrentará retos significativos para reducir su afectación al ambiente en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, por su dependencia de los combustibles fósiles. Cabe resaltar que, si bien la legislación busca mitigar el efecto del cambio climático, es importante que la implementación de las políticas sea de tal manera que no reduzca la competitividad de la industria acuícola (e.g. aumentando sus costos de producción), ya que, de ignorar estas consideraciones, el sector se encontrará en una posición poco favorable para enfrentar los desafíos del cambio climático descritos en el documento.

Reyes-Bonilla, et al., 2021a, realizaron un análisis sobre los impactos del cambio climático en México en el sector pesquero y acuícola. El estudio tuvo como objetivos: a) Analizar efectos del cambio climático en el sector pesquero y sus comunidades, b) Mapear instrumentos de política pública y actores relevantes, c) Identificar necesidades de fortalecimiento de capacidades, d) Generar recomendaciones para la construcción de una agenda nacional de mitigación y adaptación. El proceso consistió en la modelación de los escenarios de cambio climático con la información más actualizada y horizonte temporal a 2050 y 2100. La revisión exhaustiva de literatura especializada y un proceso participativo, donde colaboraron más de 40 instituciones de la sociedad civil organizada, academia y representantes de alto nivel en las dependencias que administran y manejan los recursos pesqueros y acuícolas, resultó en la integración de recomendaciones y definición de una agenda común basada en la información generada y compromisos nacionales. De manera general, las principales recomendaciones fueron:

1. Instituir un Programa Nacional de Pesca y Cambio Climático.
2. Crear un atlas de riesgo para el sector pesquero y acuícola.
3. Aumentar la inversión en la generación de conocimiento que permita prever y guiar estrategias de manejo de manera eficiente.
4. Crear espacios directos de comunicación entre gobierno y comunidades para abordar la problemática.
5. Impulsar la coordinación intersecretarial y la construcción de coaliciones.
6. Incluir el enfoque de género en las diferentes estrategias.

Las recomendaciones del estudio están en consideración de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y en la Cámara de Diputados. Algunos de los puntos y parte de la información generada son usada en la elaboración del Plan Estratégico de Cambio Climático para el sector Agroalimentario (PLECCA). El PLECCA es una guía para los subsectores agrícola, pecuario, acuícola y pesquero en términos de información, mitigación y adaptación al cambio climático. El elemento clave es la coordinación de las acciones de SADER con los subsectores, buscando que éstas estén orientadas en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la vulnerabilidad, así como aumentar la resiliencia de los sistemas productivos en condiciones de sustentabilidad y equidad. El alcance espacial es todo el territorio nacional incluyendo la Zona Económica Exclusiva Marina, con particular énfasis en los sitios o regiones de mayor vulnerabilidad a fenómenos o amenazas vinculados con el cambio climático.

9. Estudios de caso

9.1 Caso de estudio I: Desempeño bioeconómico de la producción de ostión Japonés en el sur de Sinaloa ante un aumento de la TSM y el papel de nuevas tecnologías para mitigar los impactos del cambio climático

El ostión japonés, *Crassostrea gigas*, es una de las principales especies acuícolas en el mundo, con una producción que supera las 600,000 toneladas (Ibarra *et al.*, 2017). En México, se introdujo en 1970, primero en la costa occidental de la península de Baja California y posteriormente en Sonora (Chávez-Villalba, 2014). Actualmente, es el molusco más producido en el país; en 2014, registró poco más de 3,500 toneladas (dataMares, 2018). Resalta que la tasa anual de crecimiento de la producción de 2009 (270 toneladas) a 2014 fue de 66.9%, lo que evidencia las perspectivas favorables de la producción ostrícola nacional. Hoy en día, la mayor parte de la producción se concentra en la costa occidental de la península de Baja California (ya que las condiciones templadas de la región son más adecuadas), debido a que en Sonora, durante años cálidos, se han registrado mortalidades importantes. Para sortear esta problemática, se han buscado soluciones técnicas para promover la producción en Sonora, siendo la semilla triploide una tecnología prometedora (Ibarra *et al.*, 2017).

246

En este sentido, para explorar el efecto del cambio climático sobre la producción de ostión en México, así como el uso de nuevas tecnologías para mitigar sus impactos, se parametrizó un modelo bioeconómico de una unidad de producción ostrícola con la capacidad de sembrar 1.1 millones de semillas por ciclo (Tab. 3). Como nueva tecnología, se evaluó el uso de semilla triploide, la cual consta de organismos con un juego extra de cromosomas. Esta característica se traduce en organismos parcialmente estériles, por lo que su crecimiento es más eficiente en condiciones adversas al no requerir de energía para la maduración gonádica. Complementariamente, la semilla triploide permite realizar la cosecha en menor tiempo, ya que no es necesario que se recupere el índice de condición de los organismos (peso de la carne/peso total) después de los desoves.

La unidad evaluada se encuentra ubicada en el sistema lagunar de Agiabampo, localizado entre Sonora y Sinaloa (Fig. 4). En esta región,

la TSM promedio ronda 25.5 °C, con un rango que va de 15.5 °C a 32.1 °C. El ostión japonés es una especie que soporta un amplio rango de parámetros ambientales; se considera 35 °C como la temperatura máxima para la especie, pero se reconoce que a partir de 30 °C se empiezan a registrar mortalidades importantes. Por lo tanto, la TSM máxima del área productiva se encuentra en el límite superior de las condiciones adecuadas para este tipo de producción, haciendo vulnerable la producción de la zona a aumentos en la TSM.



Figura 4. Mapa de la localización geográfica del sistema lagunar de Agiabampo. Elaboración propia mediante el software ArcMap-ESRI 10.3

Parámetro	Valor	Unidad/Comentario
Fecha de siembra	15/10/2020	
Cantidad de piezas sembradas	1.1	Millones
Tamaño de la semilla	2.2	cm
Costo de la semilla diploide	120,000	Pesos por millón de semillas
Costo de la semilla triploide	130,000	Pesos por millón de semillas
Costo unitario sin considerar costo de la semilla	2.50	Pesos
Precio de venta	6	Pesos por pieza
Decisión de cosecha		
Índice de condición mínimo aceptable	0.16	
Talla mínima de cosecha	6	cm

Tabla 3. Resumen de los protocolos de producción y parámetros económicos empleados en el modelo.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados por los autores

Los datos para parametrizar el modelo bioeconómico (Tab. 3 y Fig. 5) y su relación con la TSM provienen de lecturas y biometrías realizadas directamente en los sitios de producción. Los datos económicos provienen del Programa Maestro Sistema Producto Ostión, Baja California (con valores que fueron actualizados con el índice nacional de precios al consumidor, y de entrevistas con productores de semilla de ostión de Baja California Sur y comercializadores de la región analizada (Tab. 3). En el modelo, el efecto del cambio climático se incluye aumentando constantemente la temperatura a lo largo del ciclo estacional de la temperatura de la región. Finalmente, la variable TSM se relaciona con el crecimiento y la mortalidad de los organismos (Anexo A).

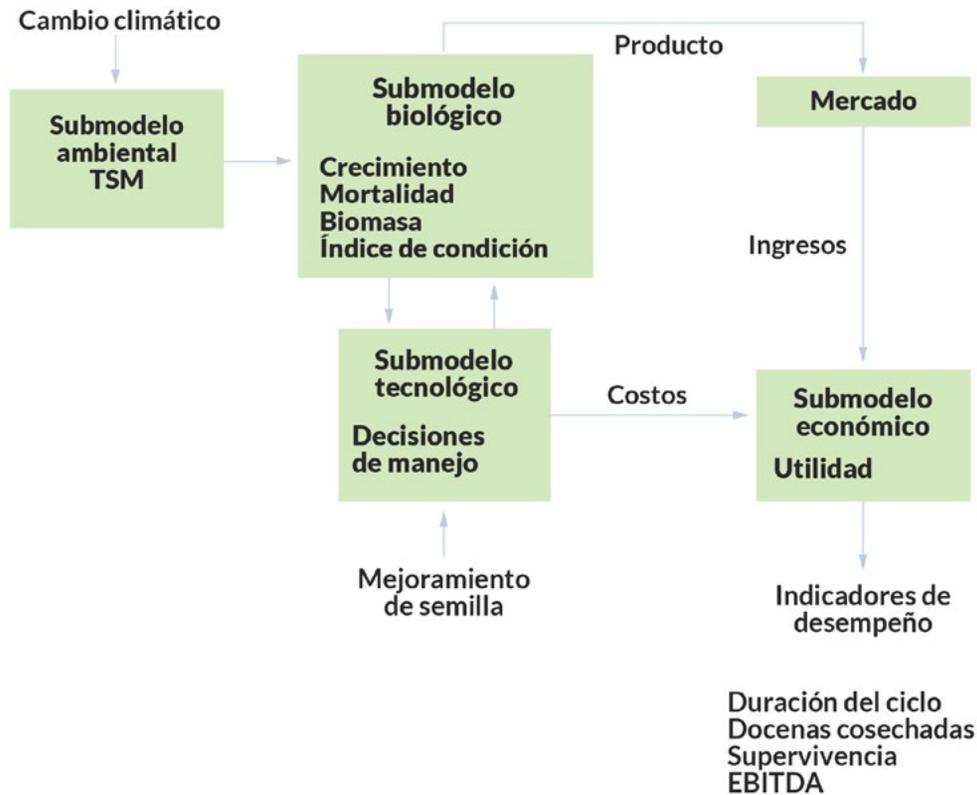


Figura 5. Diagrama conceptual de la estructura de los submodelos que en conjunto representan la operación de una unidad de producción ostrícola y su relación con el ambiente. Elaboración propia con base al diseño generado por los autores.

La siembra de ostión en el noroeste de México se realiza comúnmente en mayo y octubre. En la de octubre, habitualmente se registran mortalidades importantes, ya que la siembra se realiza cuando la temperatura llega a su máximo (Fig. 6). Estas mortalidades tienden a estabilizarse una vez que se reduce la temperatura y los organismos crecen. El índice de condición llega a su máximo en alrededor de 180 días (abril); posteriormente, los organismos desovan y pierden calidad, pues se reduce la cantidad de carne dentro de la concha y merman sus propiedades organolépticas, por lo que no pueden ser cosechados, sino hasta que se recupere la calidad del producto.

250

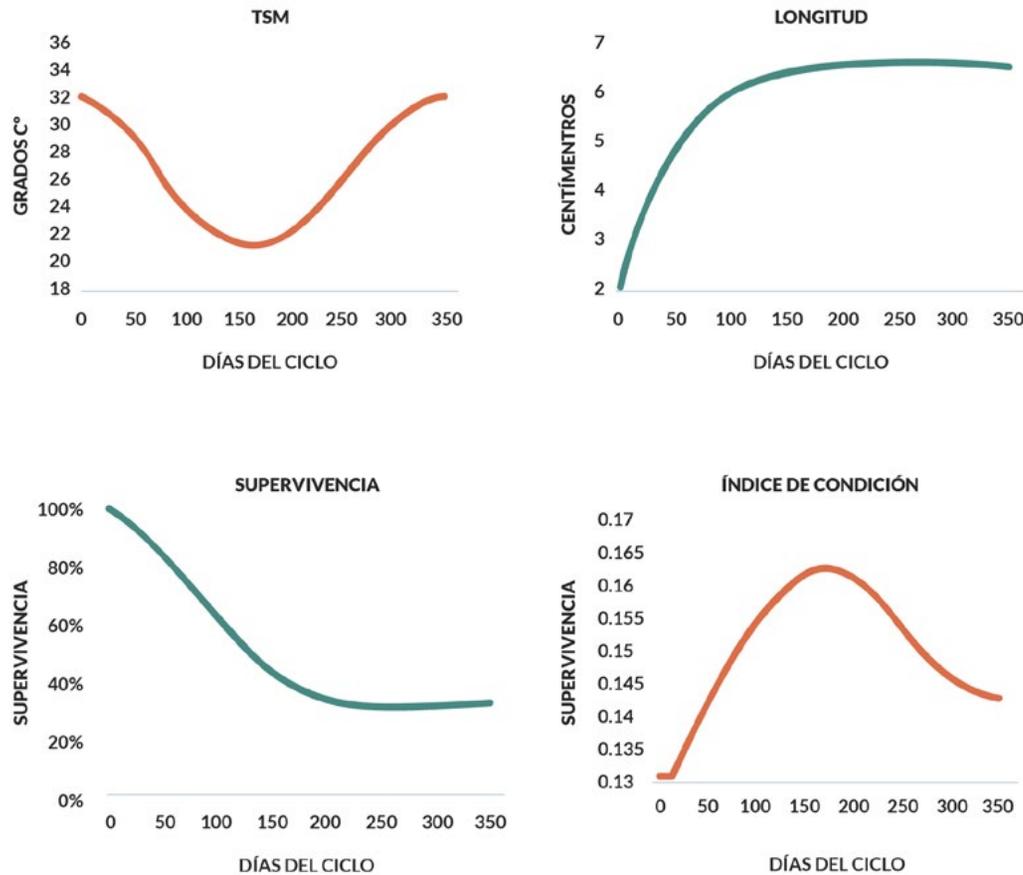


Figura 6. Comportamiento de la TSM, el crecimiento, la supervivencia y el índice de condición en las condiciones promedio del área del sistema lagunar de Agiabampo considerando la siembra en el mes de octubre. Elaboración propia con datos generados por los autores.

Con la implementación del modelo, es claro que el desempeño de la producción en esta zona es inversamente proporcional a la TSM (Fig. 7). El incremento de la temperatura se traduce en una reducción de la supervivencia y el crecimiento, lo que se refleja en un aumento de la duración de los ciclos. En conjunto, un peor desempeño en el crecimiento y la mortalidad impactan negativamente en las utilidades, evaluadas en el modelo como EBITDA. Si la temperatura supera 1.5 °C respecto al promedio, la producción de ostión durante el mes de octubre en esta zona es económicamente inviable. Aumentos de más de 1 °C respecto al promedio anual se han registrado históricamente en la zona en 1958, 1983 y 2015, por lo que, en conjunto con el cambio climático, es probable que los escenarios evaluados para el área ocurran (Fig. 8), sobre todo considerando que el efecto del cambio climático para la zona, por sí mismo, pudiera llegar a elevar más de 1 °C la TSM (Saldívar-Lucio *et al.*, 2015).

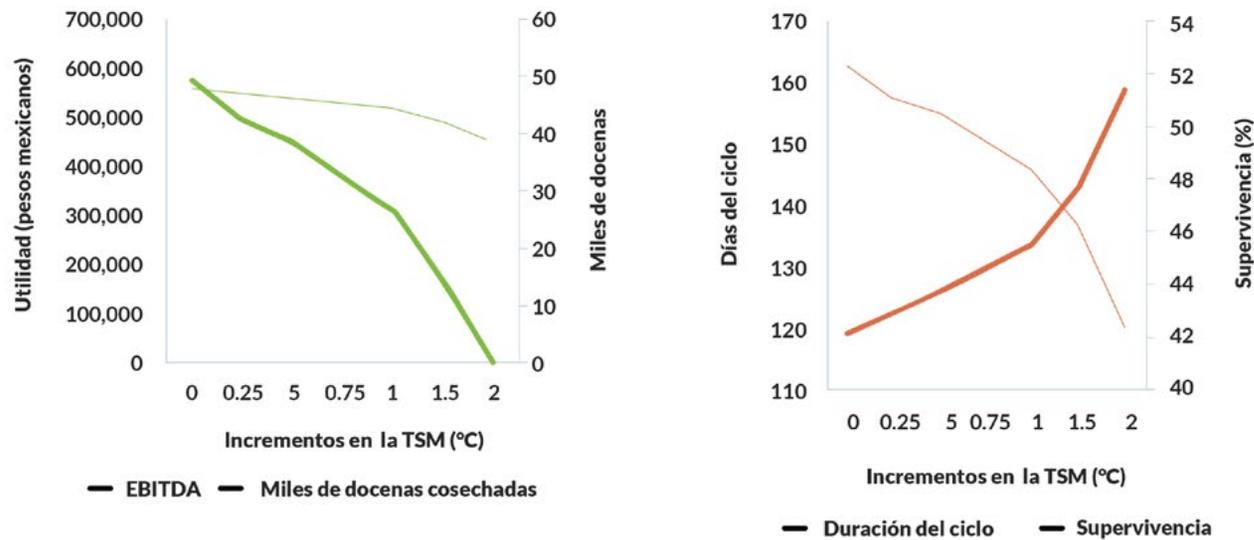


Figura 7. Sensibilidad del desempeño de la producción de ostión realizando siembras en octubre ante incrementos en la TSM promedio. Fuente: Elaboración propia con los resultados del modelo generado por los autores.

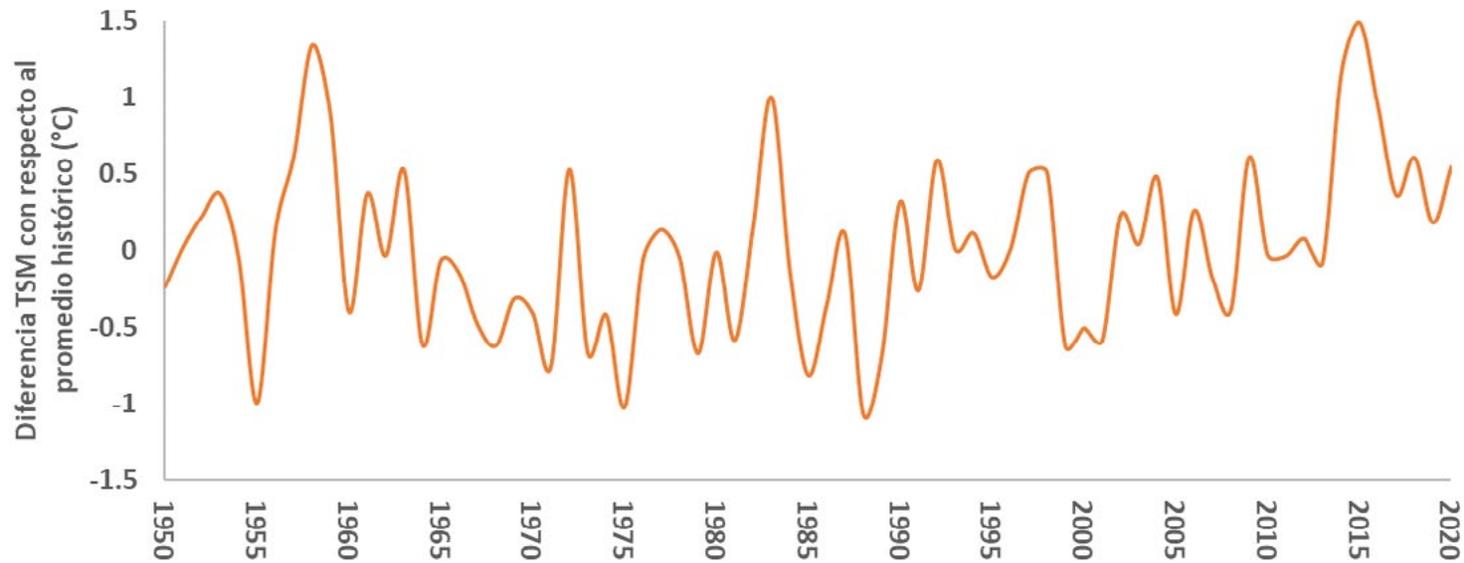


Figura 8. Diferencias de los promedios de TSM anuales respecto al promedio histórico (1950-2019) para la zona sur del Golfo de California: Fuente: elaboración propia con datos tomados de la reconstrucción ampliada de la temperatura superficial del mar (TSM).

Como se mencionó anteriormente, una manera para mitigar el impacto del cambio climático en la producción de ostión en la zona analizada es mediante el uso de tecnologías; en este caso, el uso de semilla triploide estéril. El uso de esta tecnología (aun considerando su costo) es económicamente rentable respecto al uso de semilla diploide, todavía sin considerar sus beneficios ante el cambio climático. El uso de esta semilla en el ciclo de engorda de octubre reduciría el tiempo de cosecha y aumentaría significativamente la supervivencia, lo que en conjunto se reflejaría en un aumento importante de la rentabilidad del ciclo (Fig. 9).

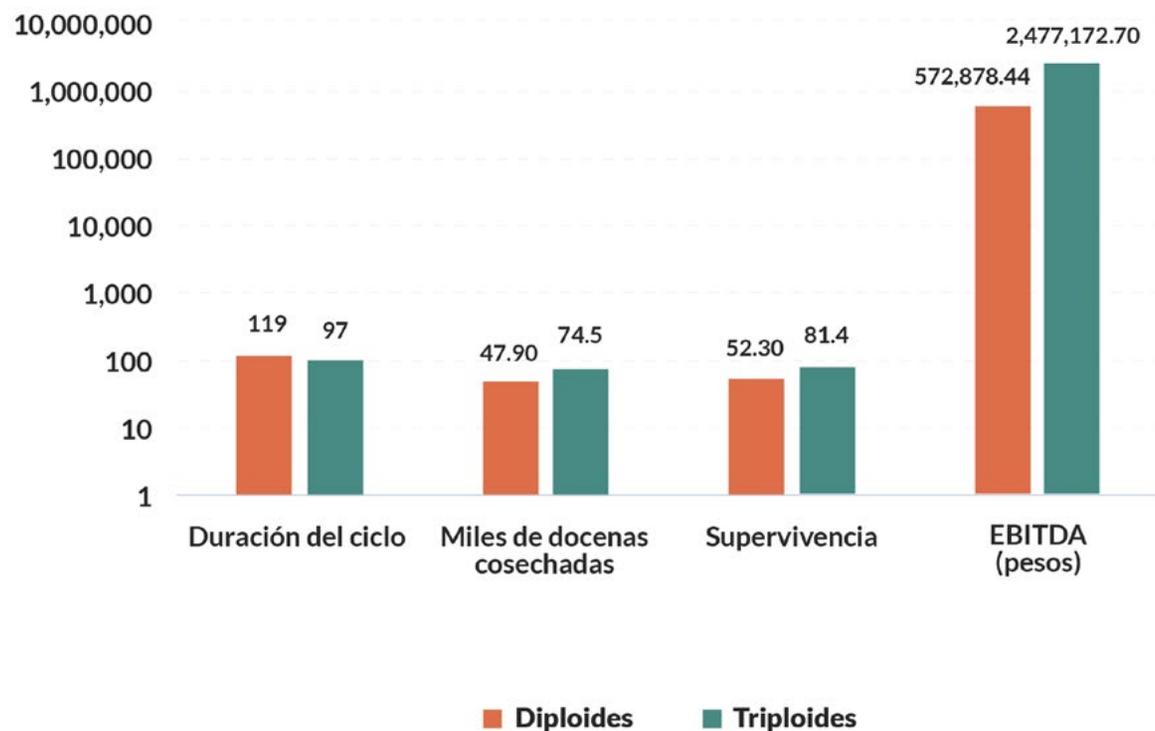


Figura 9. Desempeño esperado para las semillas diploide y triploide en términos de duración del ciclo, docenas cosechadas, supervivencia y EBITDA durante un ciclo típico iniciado en octubre, sin el efecto del cambio climático.
Fuente: elaboración propia con los resultados del modelo generado por los autores

Complementariamente al desempeño de la semilla triploide en las condiciones de la zona, este tipo de semilla es menos vulnerable a los cambios de temperatura, aunque de igual manera el aumento de la TSM se reflejaría en reducción del crecimiento y aumento de la mortalidad. El aumento de 1 °C respecto a la TSM normal aumentaría seis días el ciclo para el caso de la semilla triploide, en vez de 15 días para la semilla diploide. De igual manera, la cosecha perdería 700 docenas, en vez de en 3,600, y la supervivencia caería menos de 1%, en lugar de 4%. En conjunto, estos indicadores sugieren que el aumento de 1 °C generaría pérdidas de 50,000 pesos para el caso de la semilla triploide y de alrededor de 260,000 pesos para la semilla diploide (Tab. 4).

	Diploide	Triploide
Cambio en la duración del ciclo (días)	15	6
Reducción de la cosecha (miles de docenas)	-3.6	-0.7
Reducción de la supervivencia (%)	-4	-0.8
Pérdidas (pesos)	-\$ 261,771.80	-\$ 49,856.48

Tabla 4. Diferencias en los indicadores de desempeño esperados por el aumento de 1 °C para cada tipo de semilla, estimadas respecto a los valores esperados en condiciones climáticas normales

Fuente: elaboración propia con los resultados del modelo generado por los autores

254

Se concluye que es recomendable el uso de la semilla de triploide en el ciclo de octubre en la zona analizada, ya que no solo mejora el desempeño del ciclo, sino que es una estrategia de manejo que hace más resiliente la producción ante el cambio climático. Es importante realizar análisis similares para otras fechas de siembra y para cada zona de producción, pues el desempeño de la semilla triploide respecto a la diploide puede variar significativamente debido a múltiples factores, propios de cada zona y fecha de siembra, por lo que la selección de la semilla es una decisión compleja. De cualquier modo, se evidencia el potencial del uso de la herramienta bioeconómica para facilitar la toma de decisiones al evaluar nuevas tecnologías en el contexto del cambio climático.

9.2 Caso de estudio II: Desempeño de la producción camarónicola (*Litopenaeus vannamei*) ante un incremento de la TSM como consecuencia del cambio climático

Una de las principales consecuencias del cambio climático es el incremento de la temperatura del mar. Este fenómeno tiene asociadas

diferentes consecuencias que deben ser evaluadas adecuadamente. En el caso del camarón blanco, *Litopenaeus vannamei*, la temperatura del agua juega un papel crucial.

Se ha demostrado que esta especie tiene una amplia tolerancia a diferentes rangos de temperatura, presentando una temperatura letal máxima de entre 35 °C y 42 °C y un mayor crecimiento en temperaturas de entre 22 °C y 30 °C, por lo que un incremento de la temperatura del mar tendría un impacto positivo sobre el crecimiento de los organismos y negativo sobre su supervivencia.

En México, la mayoría de las instalaciones dedicadas a la producción de camarón constan de un circuito abierto, es decir, no existe recirculación de agua, ni control de temperatura. De estas, la mayoría son cultivos semi-intensivos o intensivos, con densidades de siembra que van de 10 a 300 postlarvas por metro cuadrado, con sistemas de aireación y alimentación mediante piensos especializados. En este contexto, el presente ejercicio pretende responder a la siguiente pregunta: ¿cuál es el efecto del incremento de la temperatura del mar —derivado del cambio climático— sobre la producción de camarón blanco en México y qué representa para el sector público y la iniciativa privada?

Actualmente, más de 90% del camarón de acuicultura en México proviene de las costas del noroeste, principalmente de Sinaloa, Sonora, Nayarit, Colima, Baja California y Baja California Sur. En esta zona, se encuentran diferencias en la TSM, dependiendo de la zona donde se localice la producción. Por un lado, hay áreas que presentan una temperatura promedio templada y variaciones significativas a lo largo del año; por otro lado, se registran climas semitropicales, con una temperatura promedio elevada y variaciones estacionales bajas. Para este ejercicio, se asume que existen dos cultivos en sistemas semi-intensivos, abiertos, con idéntica infraestructura para el cultivo, pero ubicados en dos potenciales zonas productivas dentro del Golfo de California. La primera zona se ubica en la localidad de San Juan de la Costa, Baja California Sur, donde se puede esperar una temperatura media de 24 ± 5 °C a lo largo del año. La segunda localidad se ubica en el área de Chametla, Sinaloa, con un clima subtropical, donde se puede esperar una temperatura de 26 ± 2 °C (Fig. 10). Se evaluará el impacto que puede tener un hipotético incremento de la TSM sobre la biomasa y el rendimiento económico de dos granjas, con escenarios de incrementos graduales de 0.5 a 5 °C. Se asume que ambas granjas cuentan con sistemas de producción abiertos, en

una superficie de 100 hectáreas, bajo un esquema de manejo semi-intensivo, con recirculaciones diarias de $15\pm 5\%$ del volumen total y un uso óptimo de los sistemas de recambio y aireación en función de la demanda de oxígeno del sistema.

256



Figura 10. Ubicación de las localidades seleccionadas. Fuente: mapa elaborado usando el software ArcMap-ESRI 10.3

	Parámetro	Unidades
Siembra	40	Individuos/m²
Peso máximo	30	g
Superficie	100	ha
Recambio	15±5	%
Precio de venta	70	\$/kg
Costo de alimento	21	\$/kg

Tabla 5. Resumen de los parámetros de producción incluidos en el modelo
Fuente: Elaboración propia con base en datos recopilados por los autores.

Para modelar un sistema complejo como la producción acuícola, nos basamos en la teoría de sistemas, que propone estudiar un sistema complejo mediante el análisis de los subsistemas que lo componen y las relaciones que existen entre ellos. Así, en primer lugar, se identifican las variables que afectan a la producción de camarón del ejemplo que se presenta (Fig. 11).

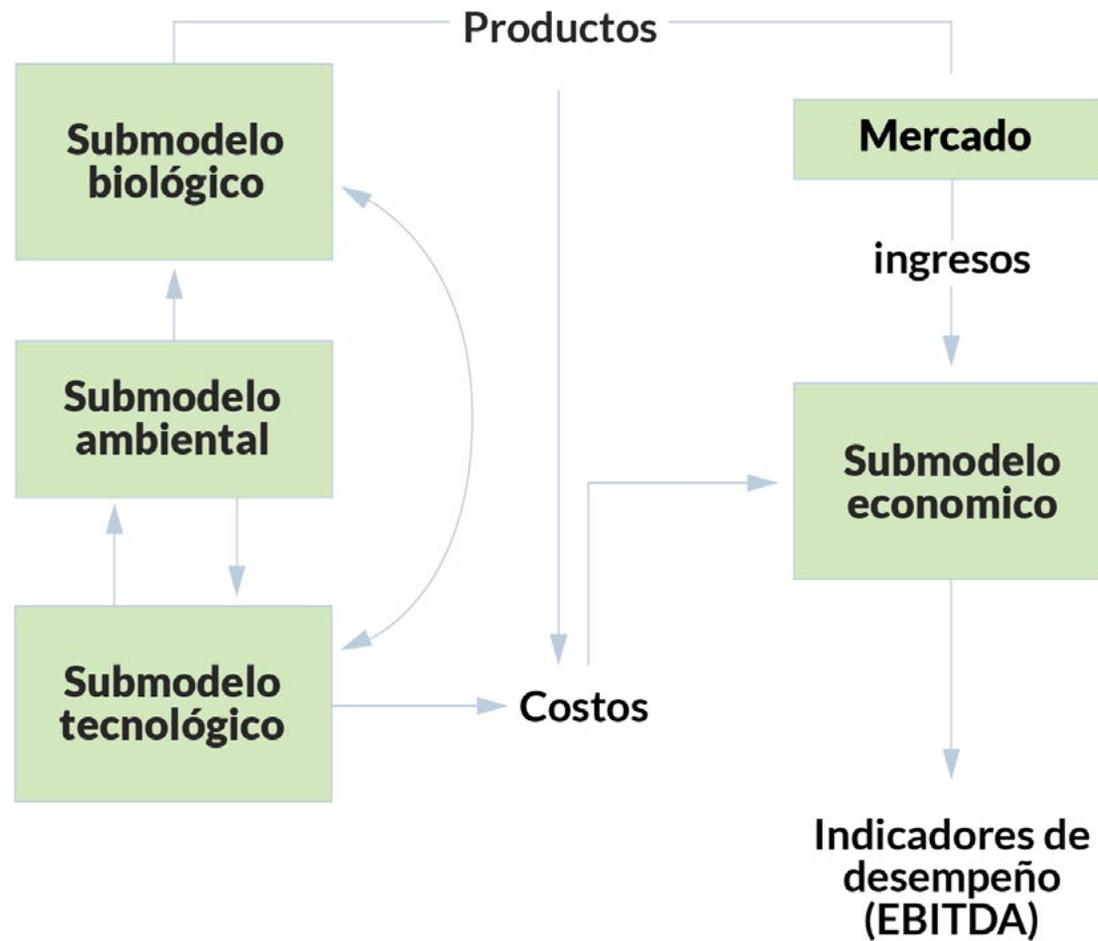


Figura 11. Diagrama conceptual del sistema de producción de camarón, donde se presentan los subsistemas o submodelos que componen el metasistema.

Nota: Se representa la relación entre estos subsistemas mediante flechas con dirección causa-efecto.

Fuente: Elaboración propia con base al diseño del modelo generado por los autores.

Una vez identificados los componentes del sistema, se procede a realizar el modelado matemático de cada uno de los subsistemas que lo componen (véase anexo 1). Puesto que el objetivo del ejercicio es evaluar el impacto que tendría un incremento de la temperatura sobre la producción de camarón, el primer paso es modelar la temperatura y posteriormente se modelará el crecimiento y la mortalidad de los individuos en función de la temperatura. Después, se incluirán los modelos tecnológicos para estimar la cantidad de alimento, energía y otros insumos utilizada en la producción. Finalmente, todos estos valores se transformarán en indicadores financieros mediante el submodelo económico, lo que permite evaluar diferentes indicadores en forma de un análisis de costo-beneficio. Como indicador de desempeño se utilizarán los EBITDA. Todas las salidas del modelo se presentan asumiendo un manejo bajo el sistema de TOC.

Se entiende por TOC al punto en el que se consiguen los máximos beneficios en función del tiempo, dadas ciertas características de la función de ingresos (biomasa y precio) y de costos (costo de mantener a los organismos en cultivo un día más). El TOC dependerá de las instalaciones, los protocolos de producción, la especie y los factores ambientales.

Uno de los principales efectos del incremento de la temperatura del mar es una reducción del TOC (Fig. 12B). De mantenerse la temperatura actual, la producción en Chametla tendría 19 semanas de TOC, mientras que la producción en San Juan de la Costa tendría 20 semanas de TOC. Un incremento de 1 °C respecto a la temperatura actual mantendría el TOC en Chametla, pero reduciría el TOC en San Juan de la Costa. El mismo fenómeno se repite a medida que aumenta la temperatura.

Una reducción del TOC tiene un efecto significativo tanto sobre el peso de cosecha como sobre la supervivencia de los individuos (figs. 12A y 12C). Se puede ver que la temperatura reduce la supervivencia hasta alcanzar un punto de quiebre, donde se encuentra un nuevo TOC, que premia un incremento de la supervivencia. Se aprecia un efecto contrario en el peso de cosecha. A medida que incrementa la temperatura, el peso de cosecha aumenta hasta alcanzar un nuevo TOC, que se obtiene con pesos de cosecha más bajos.

Estos dos factores definen cuál será la biomasa cosechada (Fig. 12D), donde se ven los mismos puntos de quiebre ocasionados por cambios en el TOC. Se puede observar, de forma general, un aumento de la productividad derivado del incremento de la temperatura. También puede observarse cómo, a medida que incrementa la temperatura, las diferencias de producción entre Chametla y San Juan de la Costa se estrechan.

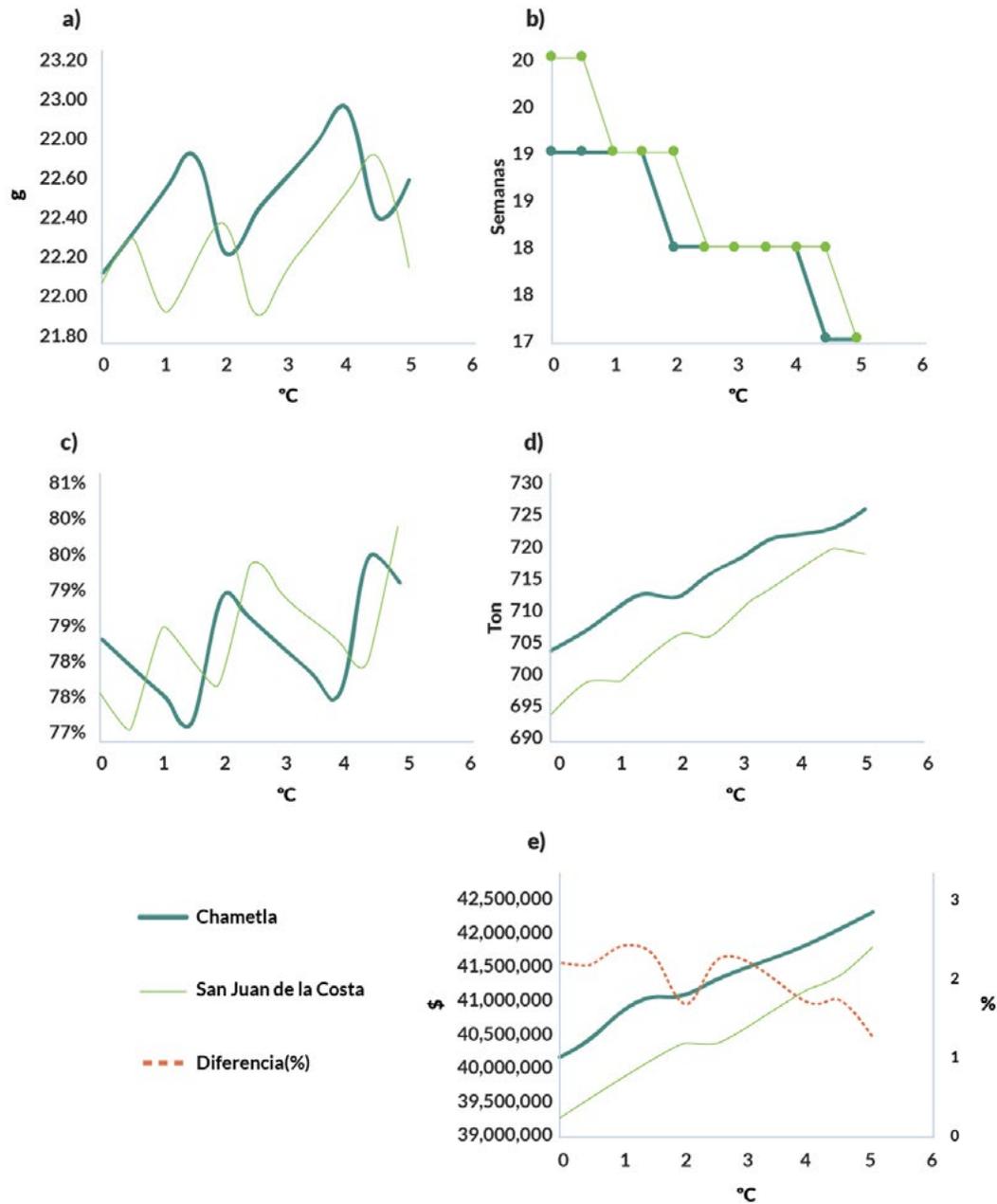


Figura 12. Efecto del incremento de la T (°C) en diferentes indicadores de desempeño bioeconómico: A) Peso de cosecha; B) TOC; C) Supervivencia final; D) Biomasa cosechada; E) Indicador de desempeño (EBITDA). Fuente: elaboración propia con los resultados del modelo generado por los autores

En cuanto al desempeño económico, se puede observar un incremento lineal de los beneficios obtenidos a medida que incrementa la temperatura (Fig. 12E). Tal como se observa en la biomasa cosechada, las diferencias entre Chametla y San Juan de la Costa se estrechan a medida que incrementa la temperatura. En el *statu quo*, se puede esperar un desempeño hasta 2% superior en Chametla; a medida que incrementa la temperatura se reduce esta diferencia hasta acercarse a solo 1% cuando se alcanza un incremento de 5 °C respecto a la situación actual, es decir, una reducción de casi 50% en la diferencia de desempeños entre el sitio A y el sitio B.

Además del efecto que tiene la temperatura sobre el crecimiento y la mortalidad, un análisis riguroso requeriría tener en cuenta el impacto del incremento de la temperatura sobre otros factores relevantes a la producción.

A medida que la temperatura incrementa, la concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuye, el crecimiento de patógenos se potencia y, dependiendo del tamaño de los organismos en cultivo, la tasa de conversión de alimento puede verse afectada. Estos factores tienen un impacto directo sobre la mortalidad y el rendimiento económico de la granja.

Al momento de hacer un análisis financiero del desempeño, es necesario valorar otros factores, como la disponibilidad de equipo y capital humano, la capacidad de distribución de la producción y la apertura de la comunidad respecto a la instalación de facilidades acuícolas, entre otros.

10. Conclusiones y recomendaciones de manejo para la adaptación al cambio climático

La acuicultura jugará un papel clave para alimentar a la población mundial, estimada en 9,700 millones de habitantes para 2050 (World Bank, 2013). La actividad acuícola tiene la tasa de crecimiento más alta entre todas las industrias de producción de alimentos; y se proyecta, bajo escenarios optimistas, que podría satisfacer dos tercios de la demanda estimada, pues tiene una producción potencial seis veces superior a la producción actual, además de que provee empleo a 20.5 millones de personas, según datos de la FAO (2020).

262 • Los cuerpos de agua mexicanos presentan respuestas diferenciales ante los efectos del cambio climático. En general, las zonas de surgencia en el Pacífico Norte y el Golfo de Tehuantepec se verán mayormente afectadas por la acidificación, la hipoxia y la temperatura. En el Pacífico (corriente de California y corriente Norecuatorial), se han medido los efectos por el incremento de los vientos, las anomalías térmicas, el incremento de la intensidad de la surgencia, la alta productividad, el menor pH y las bajas de oxígeno que se han asociado con la mortalidad de organismos sésiles y a la dificultad para producir estructuras calcáreas (conchas) en instalaciones acuícolas. El Golfo de México es susceptible a huracanes, hipoxia, aumento del nivel del mar, acidificación y florecimiento de algas. Los cuerpos de agua interiores se verán afectados por la temperatura del aire, las precipitaciones, la eutrofización, la estratificación y la hipoxia. Además, las zonas costeras se verán afectadas también por huracanes, inundaciones, cambios en la salinidad y aumento del nivel del mar.

• Los efectos directos del cambio climático en el cultivo son variables en función del grupo de especies objetivo y su ubicación; por ejemplo, considerando la producción de camarón, algunos de los factores que tendrán mayor impacto son el aumento del nivel del mar, el calentamiento y la incidencia de huracanes y tormentas. En aguas interiores, el cultivo de especies como la tilapia, la carpa y la trucha arcoíris estará sujeto a problemas de estratificación del agua, debido al incremento de la temperatura, pues esta última se considera crítica para el cultivo de especies de clima templado como la trucha. En cuanto al cultivo de bivalvos, la acidificación jugará un papel más relevante en la supervivencia de larvas y la formación de la concha. Finalmente, en cuanto a la piscicultura de especies

marinas, el incremento de la temperatura del mar y el florecimiento de algas nocivas (mareas rojas) tendrán un efecto negativo en la supervivencia y el desarrollo de las especies.

- La vulnerabilidad del sector acuícola mexicano es variable y deben considerarse diferentes componentes; por ejemplo: el tipo de cultivo, la ubicación, la especie y la tecnología utilizada. Se estima que la acuicultura rural será una de las más sensibles a los impactos del cambio climático. La creación y la aplicación de políticas de Estado, la organización social de los productores y el acceso a fuentes de financiamiento pueden contribuir de manera importante a reducir la vulnerabilidad en el sector.

- La mitigación de los impactos negativos del cambio climático tiene varias aristas, incluyendo el poder del consumidor para preferir productos que sean responsables con el medio ambiente. Los productores, en conjunto con el gobierno, tienen un área de oportunidad amplia para mejorar las prácticas, el ordenamiento y la zonación con fundamento en estudios de capacidad de carga y planeación espacial.

- Parte del desarrollo acuícola implica necesariamente un impacto en el medio ambiente. El uso de tierra y agua, las emisiones de gases de efecto invernadero y la utilización de medicamentos, antibióticos y proteína de pescado para la alimentación son algunos de los componentes que pueden contribuir a la degradación del ambiente y exacerbar el impacto del cambio climático. Sin embargo, para atender esos problemas, existen alternativas basadas en tecnología, métodos de cultivo eficientes (e.g. sistemas de recirculación, acuicultura multitrófica) y políticas y estrategias económicas (e.g. bonos de carbono, multas). La labor más ardua será adaptar y transferir estas alternativas a la realidad del sector acuícola mexicano.

- La acuicultura enfrentará retos para un desarrollo controlado y que no implique altas emisiones de gases de efecto invernadero, debido a su dependencia de los combustibles fósiles. Cabe resaltar que, si bien la legislación (LGPAS y LGCC) busca mitigar el efecto del cambio climático, es importante que la implementación de estas políticas sea de tal manera que no reduzca la competitividad

del sector acuícola (e.g. aumentando sus costos de producción), ya que, de ignorar estas consideraciones, el sector se encontrará en una posición poco favorable para enfrentar los desafíos del cambio climático.

10.1 Conclusiones con base en los casos de estudio

De manera general y desde el punto de vista de la iniciativa privada, un incremento de la TSM tendría un efecto positivo sobre los beneficios económicos y una reducción del riesgo, debido a la reducción del TOC. Además, la reducción del TOC permitiría realizar un mayor número de cultivos en un año, pasando de una cosecha anual a dos e incluso tres.

- Para el caso del ostión japonés, el incremento de la temperatura se traduce en una reducción de la supervivencia y el crecimiento, lo que se refleja en un aumento de la duración de los ciclos. Un peor desempeño en el crecimiento y la mortalidad impactan negativamente en las utilidades, evaluadas en el modelo como EBITDA. Si la temperatura supera 1.5 °C respecto al promedio, la producción de ostión durante el mes de octubre en esta zona es económicamente inviable. Aumentos de más de 1 °C respecto al promedio anual se han registrado históricamente en la zona en 1958, 1983 y 2015, por lo que, en conjunto con el cambio climático, es probable que los escenarios evaluados para el área ocurran.

- Se concluye que es recomendable el uso de la semilla de triploide en el ciclo de octubre en la zona analizada, ya que no solo mejora el desempeño del ciclo, sino que es una estrategia de manejo que hace más resiliente la producción ante el cambio climático. Es importante realizar análisis similares para otras fechas de siembra y para cada zona de producción, pues el desempeño de la semilla triploide respecto a la diploide puede variar significativamente debido a múltiples factores, propios de cada zona y fecha de siembra, por lo que la selección de la semilla es una decisión compleja.

En el caso del camarón, el productor buscaría establecer su cultivo en el área de Chametla, donde el *statu quo* permite obtener mayores beneficios en menor tiempo. A pesar de que un incremento de 1 °C en TSM iguala el TOC en ambas ubicaciones, los beneficios obtenidos al finalizar el ciclo productivo siguen siendo superiores en Sinaloa.

- Para el caso del cultivo en San Juan de la Costa, existe la posibilidad de ajustar sus prácticas para hacer frente a los retos que presenta el incremento de la temperatura del mar. Como técnica de adaptación, es posible pasar de un sistema abierto a uno cerrado o de recirculación, en el cual es posible controlar la temperatura, así como la cantidad de oxígeno disuelto y otros factores relevantes al cultivo, lo que permite utilizar densidades de siembra más altas e incrementar el número de ciclos productivos por año, aumentando el desempeño de una granja.

- Cabe mencionar que el método de recirculación tiene asociada una inversión importante y los costos de operación pueden ser más altos que en un sistema abierto, aunque son capaces de obtener mejores rendimientos en una menor superficie, lo que podría reducir los costos unitarios promedio. Asimismo, el control intenso tiene asociado un alto consumo de energía que, de provenir de combustibles fósiles, contribuye al incremento de la temperatura del mar, generando un círculo vicioso. Estos factores deben estudiarse antes de tomar una nueva decisión de manejo.

- Desde la perspectiva de un gobierno que busca incrementar la seguridad alimentaria, las estrategias planteadas deben buscar apoyar las áreas que proporcionen un mayor volumen de producción, es decir, una mayor biomasa final. Volviendo al caso de estudio, los sistemas ubicados en Sinaloa presentan una ventaja en este sentido, proporcionando una mayor biomasa en todos los puntos de incremento de temperatura. Sin embargo, a medida que incrementa la temperatura del mar, la biomasa cosechada en ambos puntos se estrecha. Ahora bien, si el objetivo del gobierno es una mayor distribución de la riqueza e incrementar la diversidad de superficie productiva, los incentivos deberían estar dirigidos a las áreas que presenten un menor desempeño asociado con las condiciones climáticas. En este caso, el gobierno debería apoyar las producciones en San Juan de la Costa, dada su desventaja asociada con la TSM. La estrategia de manejo de producción óptima que puede incrementar el rendimiento de la producción —tanto en la iniciativa privada como en el sector público— es la implementación de modelado bioeconómico y otras técnicas de la ciencia de datos y la analítica de negocios, ya que el aprovechamiento óptimo de los recursos es una de las claves para la producción sustentable.

11. Referencias

- Alonso-Rodríguez, R. y Páez-Osuna, F. (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: A review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*, 219(1), 317-336. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00509-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00509-4).
- Amador del Ángel, L. E., Guevara Carrió, E., Brito Pérez, R. y Endañú Huerta, E. (2014). *Aspectos biológicos e impacto socio-económico de los plecos del género Pterygoplichthys y dos cíclidos no nativos en el sistema fluviolagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos*, (Informe final SNIB-CONABIO. Ficha técnica: tilapia (*Oreochromis niloticus*), proyecto No. GN004. México, D. F). Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales.
- 266 Aragón-Noriega, E. A., Castillo-Vargasmachuca, S. G., Ponce-Palafox, J. T., Cruz-Vásquez, R., Rodríguez-Domínguez, G. y Pérez-González, R. (2017). Distribución potencial de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en un escenario de cambio climático. *Acta universitaria*, 27(3), 28-35. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1245>.
- Bai, C., Shah, P., Zhu, Q. y Sarkis, J. (2018). Green product deletion decisions: An integrated sustainable production and consumption approach. *Industrial Management & Data Systems*, 118(2), 349-389. <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2017-0175>.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S. y Poulain, F. (2018). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Roma, FAO. <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1152846/>.
- Bartley, D. M., Brugère, C., Soto, D., Gerber, P. y Harvey, B. (eds.) (2007). *Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors. Methods for meaningful comparisons, FAO/WFT Expert Workshop, 24-28 April 2006, Vancouver, Canada*. FAO Fisheries Proceedings. FAO/WFT Expert Workshop on Comparative Assessment of the Environmental Costs of Aquaculture and Other Food Production Sectors, Vancouver, Canadá, 24-28 de abril de 2006. <https://agris.fao.org/agris-search/>

search.do?recordID=XF2009439351.

Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G. G., Langdon, C. y Feely, R. A. (2012). The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects. *Limnology and Oceanography*, 57(3), 698-710. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.3.0698>.

Bauer, J., Vázquez-Vera, L., Espinoza-Montes, A., Lorda, J., Beas-Luna, R., Vela-Gallo, C., & Reyes-Bonilla, H. (2019). Multi-trophic aquaculture of the green abalone *haliotis fulgens* and the warty sea cucumber *Apostichopus parvimensis* enhances production. *Journal of Shellfish Research*, 38(2), 455-461. <https://doi.org/10.2983/035.038.0229>

Besson, M., Boer, I. J. M. de, Vandeputte, M., Arendonk, J. A. M. van, Quillet, E., Komen, H. y Aubin, J. (2017). Effect of production quotas on economic and environmental values of growth rate and feed efficiency in sea cage fish farming. *PLOS ONE*, 12(3), e0173131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173131>.

267

Bett, C. y Vinatea, L. (2009). Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(4), 305-314. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592009000400005>.

Blank, J. M., Morrissette, J. M., Farwell, C. J., Price, M., Schallert, R. J. y Block, B. A. (2007). Temperature effects on metabolic rate of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Journal of Experimental Biology*, 210(23), 4254-4261. <https://doi.org/10.1242/jeb.005835>.

Boch, C. A., Micheli, F., AlNajjar, M., Monismith, S. G., Beers, J. M., Bonilla, J. C., Espinoza, A. M., Vazquez-Vera, L. y Woodson, C. B. (2018). Local oceanographic variability influences the performance of juvenile abalone under climate change. *Scientific Reports*, 8, 5501. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23746-z>.

Booth, D. J., Poloczanska, E., Donelson, J. M., Molinos, J. G. y Burrows, M. (2017). Biodiversity and climate change in the oceans. En B. F.

Phillips and

M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis, I.* (pp. 63-89). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch4>.

Boustany, A. M., Marcinek, D. J., Keen, J., Dewar, H. y Block, B. A. (2001). Movements and temperature preferences of atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) off North Carolina: A comparison of acoustic, archival and pop-up satellite tags. En J. R. Sibert y J. L. Nielsen (eds.), *Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries: Proceedings of the Symposium on Tagging and Tracking Marine Fish with Electronic Devices*, February 7–11, 2000, East-West Center, University of Hawaii (pp. 89-108). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1402-0_4.

268

Boyd, C. E. y Tucker, C. S. (2014). *Handbook for aquaculture water quality*. Auburn, Alabama, Craftmaster Printers. <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=303721>.

Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137-1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>.

Cáceres-Puig, J. I., Abasolo-Pacheco, F., Mazón-Suastegui, J. M., Maeda-Martínez, A. N. y Saucedo, P. E. (2007). Effect of temperature on growth and survival of *Crassostrea corteziensis* spat during late-nursery culturing at the hatchery. *Aquaculture*, 272(1), 417-422. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.030>.

Cai, W.-J., Hu, X., Huang, W.-J., Murrell, M. C., Lehrter, J. C., Lohrenz, S. E., Chou, W.-C., Zhai, W., Hollibaugh, J. T., Wang, Y., Zhao, P., Guo, X., Gundersen, K., Dai, M. y Gong, G.-C. (2011). Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geoscience*, 4(11), 766-770. <https://doi.org/10.1038/ngeo1297>.

Carlucci, D., Devitiis, B. D., Nardone, G. y Santeramo, F. G. (2017). Certification labels versus convenience formats: What drives the market in aquaculture products? *Marine Resource Economics*, 32(3), 295-310. <https://doi.org/10.1086/692091>.

- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica*, 24(3), 175-190.
- Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A., Burrola-Sánchez, S. y Hoyos-Chairez, F. (2010). Growth, condition, and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultivated within and outside a subtropical lagoon. *Aquaculture*, 300(1), 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.01.012>.
- Chilton, E. W. y Muoneke, M. I. (1992). Biology and management of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*, Cyprinidae) for vegetation control: A North American perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2(4), 283-320. <https://doi.org/10.1007/BF00043520>.
- Chong-Robles, J., Charmantier, G., Boulo, V., Lizárraga-Valdéz, J., Enríquez-Paredes, L. M. y Giffard-Mena, I. (2014). Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. *Aquaculture*, 422-423, 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.034>.
- Chopin, T., Cooper, J. A., Reid, G., Cross, S. y Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4), 209-220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>.
- Cochrane, K. L., Perry, R. I., Daw, T. M., Soto, D., Barange, M. y De Silva, S. S. (eds.) (2009). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: Overview of current scientific knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530. Roma, FAO.
- CONAPESCA (2017). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017*. México, SAGARPA. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- Conforti, P. y Sarris, A. (2011). Challenges and policies for the world agricultural and food economy in the 2050 perspective. En P. Conforti (ed.), *Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050*. Roma, FAO.
- Conrad, K. (1993). Taxes and subsidies for pollution-intensive industries as trade policy. *Journal of Environmental Economics and*

Management, 25(2), 121-135. <https://doi.org/10.1006/jeem.1993.1037>.

Costello, C., Cao, L. y Gelcich, S. (2019). *The future of food from the sea*. Washington, D. C., World Resources Institute.

dataMares (2018). *National fisheries landings and aquaculture production, 2006-2014 (Conapesca)*. In *datamares: Fisheries* [Data set]. UC San Diego Library Digital Collections. <https://doi.org/10.6075/J07S7KZS>.

De Silva, S. S. y Soto, D. (2009). Climate change and aquaculture: Potential impacts, adaptation and mitigation. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds.), *Climate change implications for fisheries and aquaculture: Overview of current scientific knowledge* (pp. 151-212). Roma, FAO.

Del Prío, S. A. G., Palau, L. C., Pérez, J. B., Laguna, J. C. y Fragoso, R. H. (2003). Effects of the El Niño event on the recruitment of benthic invertebrates in Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Geofísica internacional*, 42(3), 429-438.

270 Dierberg, F. E. y Kiattisimkul, W. (1996). Issues, impacts, and implications of shrimp aquaculture in Thailand. *Environmental Management*, 5(20), 649-666.

DOF (1980). *Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios*. Última reforma publicada el 9 de diciembre de 2019.

– (2007). *Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables*. Última reforma publicada el 24 de abril de 2018.

– (2012). *Ley General de Cambio Climático*. Última reforma publicada el 6 de noviembre de 2020.

Doubleday, Z. A., Clarke, S. M., Li, X., Pecl, G. T., Ward, T. M., Battaglione, S., Frusher, S., Gibbs, P. J., Hobday, A. J., Hutchinson, N., Jennings, S. M. y Stoklosa, R. (2013). Assessing the risk of climate change to aquaculture: A case study from south-east Australia. *Aquaculture Environment Interactions*, 3(2), 163-175. <https://doi.org/10.3354/aei00058>.

Dutia, S. (2014). *Agtech: Challenges and opportunities for sustainable growth* (SSRN Scholarly Paper ID 2431316). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2431316>.

Eastern Oyster Biological Review Team (2007). *Status review of the eastern oyster (Crassostrea virginica)*. Report to the National Marine

- Fisheries Service, Northeast Regional Office. February 16, 2007. NOAA Tech. Memo. NMFS F/SPO-88, 105 p.
- Ebeling, J. M. y Timmons, M. B. (2012). *Aquaculture production systems*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118250105>.
- Emerson, C. (1999). *Aquaculture impacts on the environment*. Cambridge Scientific Abstracts.
- Estess, E. E., Coffey, D. M., Shimose, T., Seitz, A. C., Rodriguez, L., Norton, A., Block, B. y Farwell, C. (2014). Bioenergetics of captive Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture*, 434, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.08.002>.
- Fang, Y., Hu, Z., Zou, Y., Fan, J., Wang, Q. y Zhu, Z. (2017). Increasing economic and environmental benefits of media-based aquaponics through optimizing aeration pattern. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1111-1117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.158>.
- Fankhauser, S. y Hepburn, C. (2010). Designing carbon markets. Part I: Carbon markets in time. *Energy Policy*, 38(8), 4363-4370. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.064>.
- FAO (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>. 271
- Ficke, A., Myrick, C. y Hansen, L. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17(4), 581-613.
- Fuhrmann, M., Richard, G., Quéré, C., Petton, B. y Pernet, F. (2019). Low pH reduced survival of the oyster *Crassostrea gigas* exposed to the Ostreid herpesvirus 1 by altering the metabolic response of the host. *Aquaculture*, 503, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.052>.
- Füssel, H.-M. y Klein, R. J. T. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*, 75(3), 301-329. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>.
- Gazeau, F., Gattuso, J.-P., Greaves, M., Elderfield, H., Peene, J., Heip, C. H. R. y Middelburg, J. J. (2011). Effect of carbonate chemistry alteration on the early embryonic development of the pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *PLOS ONE*, 6(8), e23010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023010>.

- Gazeau, F., Parker, L. M., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W. A., Martin, S., Pörtner, H.-O. y Ross, P. M. (2013). Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Marine Biology*, 160(8), 2207-2245. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2219-3>.
- Gerhart, A. (2017). Petri dishes of an archipelago: The ecological rubble of the Chilean salmon farming industry. *Journal of Political Ecology*, 24(1), 726-742. <https://doi.org/10.2458/v24i1.20963>.
- Gerlagh, R. y Van der Zwaan, B. (2006). Options and instruments for a deep cut in CO2 emissions: Carbon dioxide capture or renewables, taxes or subsidies? *The Energy Journal*, 27(3). <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol27-No3-3>.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. y Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>.
- Goldsmith, P. D. (2001). Innovation, supply chain control, and the welfare of farmers: The economics of genetically modified seeds. *American Behavioral Scientist*, 44(8), 1302-1326. <https://doi.org/10.1177/00027640121956836>.
- Góngora-Gómez, A. M., Rubio-Zepeda, F., Villanueva-Fonseca, L. C., Alvarez-Dagnino, E., Muñoz-Sevilla, N. P., Hernández-Sepúlveda, J. A. y García-Ulloa, M. (2016). Primer registro de *Perkinsus* sp. (Protozoa, apicomplexa) en el callo de hacha *Atrina maura* en Sinaloa, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3), 689-694. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572016000300020>.
- Granada, L., Sousa, N., Lopes, S. y Lemos, M. F. L. (2016). Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? A review. *Reviews in Aquaculture*, 8(3), 283-300. <https://doi.org/10.1111/raq.12093>.
- Hoegh-Guldberg, O., Cai, R., Poloczanska, E. S., Brewer, P. G., Sundby, S., Hilmi, K., Fabry, V. J., Jung, S., Skirving, W., Stone, D. A., Burrows, M. T., Bell, J., Cao, L., Donner, S., Eakin, C. M., Eide, A., Halpern, B. S., McClain, C. R., O'Connor, M. I., Parmesan, C., Perry, R. I., Richardson, A. J., Brown, C. J., Schoeman, D., Signorini, S. R., Sydeman, W. J., Zhang, R., van Hooidonk, R., McKinnell, S. M. (2014). *The ocean*. Cambridge University Press. <https://munin.uit.no/handle/10037/6969>.
- Hofmann, E., Ford, S., Powell, E. y Klinck, J. (2001). Modeling studies of the effect of climate variability on MSX disease in eastern oyster

(*Crassostrea virginica*) populations. En J. W. Porter (ed.), *The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases* (pp. 195-212). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3284-0_18.

Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S. y Khanal, S. K. (2012). Nitrous oxide (N₂O) emission from aquaculture: A review. *Environmental Science & Technology*, 46(12), 6470-6480. <https://doi.org/10.1021/es300110x>.

Ibarra, A. M., Ascencio-Michel, R., Ramírez, J. L., Manzano-Sarabia, M. y Rodríguez-Jaramillo, C. (2017). Performance of diploid and triploid *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) grown in tropical versus temperate natural environmental conditions. *Journal of Shellfish Research*, 36(1), 119-139. <https://doi.org/10.2983/035.036.0113>.

Jaramillo, R. y Carmen, M. del. (2004). *Efecto de la temperatura sobre la gametogénesis en el callo de hacha Atrina maura* (Sowerby, 1835) (*Bivalvia: Pinnidae*) [Tesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas]. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14532>.

Jayasinghe, J. M. P. K., Gamage, D. G. N. D. y Jayasinghe, J. M. H. A. (2019). Combating climate change impacts for shrimp aquaculture through adaptations: Sri lankan perspective. En A. Sarkar, S. R. Sensarma y G. W. vanLoon (eds.), *Sustainable Solutions for Food Security: Combating Climate Change by Adaptation* (pp. 287-309). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_15.

Joffre, O. M., Poortvliet, P. M. y Klerkx, L. (2019). To cluster or not to cluster farmers? Influences on network interactions, risk perceptions, and adoption of aquaculture practices. *Agricultural Systems*, 173, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.011>.

Kimura, R., Takami, H., Ono, T., Onitsuka, T. y Nojiri, Y. (2011). Effects of elevated pCO₂ on the early development of the commercially important gastropod, Ezo abalone *Haliotis discus hannai*. *Fisheries Oceanography*, 20(5), 357-366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2011.00589.x>.

Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Espiñeira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A., & Reid, G. (2020). The economics of Integrated Multi-

Trophic Aquaculture: Where are we now and where do we need to go? *Reviews in Aquaculture*, raq.12399.

Kragestein, T. J., Simonsen, K., Visser, A. W. y Andersen, K. H. (2019). Optimal salmon lice treatment threshold and tragedy of the commons in salmon farm networks. *Aquaculture*, 512, 734329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734329>.

Leighton, D. L., Byhower, M. J., Kelly, J. C., Hooker, G. N. y Morse, D. E. (1981). Acceleration of development and growth in young green abalone (*Haliotis fulgens*) using warmed effluent seawater. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(1), 170-180. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1981.tb00253.x>.

León-Santana, M. y Hernández, J. M. (2008). Optimum management and environmental protection in the aquaculture industry. *Ecological Economics*, 64(4), 849-857. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.006>.

Levin, J. y Stevenson, M. (eds.) (2012). *The 2050 criteria: Guide to responsible investment in agricultural, forest, and seafood commodities*. Washington D. C., World Wildlife Fund.

274

Likongwe, J. S., Stecko, T. D., Stauffer, J. R. y Carline, R. F. (1996). Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture*, 146(1), 37-46. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01360-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01360-9).

Liñan-Cabello, M. A., Quintanilla-Montoya, A. L., Sepúlveda-Quiroz, C. y Cervantes-Rosas, O. D. (2016). Susceptibilidad a la variabilidad ambiental del sector acuícola en el Estado de Colima, México: Caso de estudio. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(3), 649-656.

Liverman, D. M. (1990). Vulnerability to global environmental change. En R. E. Kasperson, K. Dow, D. Golding, *Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management* (pp. 27-44).

Liverman, D. M. y O'Brien, K. L. (1991). Global warming and climate change in Mexico. *Global Environmental Change*, 1(5), 351-364. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(91\)90002-B](https://doi.org/10.1016/0959-3780(91)90002-B).

- Lluch-Cota, S. E., Salvadeo, C., Lluch-Cota, D. B., Saldívar-Lucio, R. y Díaz, G. P. (2017). Impacts of climate change on mexican Pacific fisheries. En B. F. Phillips and M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture* (pp. 219-238). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch9>.
- Longdill, P. C., Healy, T. R. y Black, K. P. (2008). An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean & Coastal Management*, 51(8), 612-624. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.06.010>.
- Lovatelli, A. y Holthus, P. F. (eds.) (2008). *Capture-based aquaculture. Global overview*. FAO Fisheries Technical Paper No. 508. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016007462>.
- Maeda-Martínez, A. (2008). *Estado actual del cultivo de bivalvos en México*. FAO Actas de Pesca y Acuicultura No. 12, 91-100. Roma, FAO. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2009439299>.
- McCauley, R. y Beitinger, T. (1992). Predicted effects of climate warming on the commercial culture of the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *GeoJournal*, 28(1), 61-66.
- McDaniels, T., Longstaff, H. y Dowlatabadi, H. (2006). A value-based framework for risk management decisions involving multiple scales: A salmon aquaculture example. *Environmental Science & Policy*, 9(5), 423-438. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.03.005>.
- Metian, M., Pouil, S., Boustany, A. y Troell, M. (2014). Farming of bluefin tuna. Reconsidering global estimates and sustainability concerns. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(3), 184-192. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.907771>.
- Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza Montes, J. A., Rossetto, M. y De Leo, G. A. (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLOS ONE*, 7(7), e40832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040832>.
- Murray, A. G. y Peeler, E. J. (2005). A framework for understanding the potential for emerging diseases in aquaculture. *Preventive Veterinary Medicine*, 67(2), 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.012>.
- Naylor, R. y Burke, M. (2005). Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea. *Annual Review of Environment and Resources*,

30(1), 185-218. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.081804.121034>.

Nehring, S. (2011). NOBANIS. Invasive Alien Species Fact Sheet. *Crassostrea gigas*. En *Online Database of the European Network on Invasive Alien Species, NOBANIS*. www.nobanis.org.

ONU (2015). *Agenda 2030, Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>.

Ottolenghi, F. (2008). Captured-based aquaculture of bluefin tuna. *Capture-based aquaculture. Global overview*, 169-182.

Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: A global perspective. *Environmental Pollution*, 112(2), 229-231. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00111-1).

Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruiz-Fernández, A. C. (1999). Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 38(7), 585-592. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00116-7).

276 Peñalosa-Martinell, D., Cashion, T., Parker, R. y Sumaila, U. R. (2020a). Closing the high seas to fisheries: Possible impacts on aquaculture. *Marine Policy*, 115, 103854. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103854>.

Peñalosa-Martinell, D., Vela-Magaña, M., Ponce-Díaz, G. y Araneda Padilla, M. E. (2020b). Probiotics as environmental performance enhancers in the production of white shrimp (*Penaeus vannamei*) larvae. *Aquaculture*, 514, 734491. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734491>.

Peñalosa-Martinell, D. P., Vergara-Solana, F. J., Almendarez-Hernández, L. C. y Araneda-Padilla, M. E. (2019). Econometric models applied to aquaculture as tools for sustainable production. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1344-1359. <https://doi.org/10.1111/raq.12385>.

Perez-Enriquez, R., Takemura, M., Tabata, K. y Taniguchi, N. (2001). Genetic diversity of red sea bream *Pagrus major* in western Japan in relation to stock enhancement. *Fisheries Science*, 67(1), 71-78. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00201.x>.

Phillips, B. F. y Pérez-Ramírez, M. (eds.) (2017). *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis*. John Wiley & Sons.

Pickering, T. D., Ponia, B., Hair, C. A., Southgate, P. C., Poloczanska, E., Patrona, L. D., Teitelbaum, A., Mohan, C. V., Phillips, M. J., Bell, J. D. y De Silva, S. (2011). *Vulnerability of aquaculture in the tropical Pacific to climate change*. Secretariat of the Pacific Community. <https://digitalarchive.worldfishcenter.org/handle/20.500.12348/1066>.

Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1), 35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4).

Plataforma Mexicana de Carbono (2016). *Impuesto al Carbono en México*. Nota técnica. <http://www.mexico2.com.mx/uploads/mexico/file/artimpuestofinal.pdf>. Consultado el 7 de julio de 2020.

Platas-Rosado, D. E., Hernández-Arzaba, J. C., Preza-Lagunes, L. y González-Reynoso, L. (2016). El cambio climático global: Impacto y adaptación de la acuicultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe14), 2875-2882.

Puspa, A. D., Osawa, T. y Arthana, I. W. (2018). Quantitative assessment of vulnerability in aquaculture: Climate change impacts on whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in East Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 162, 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/162/1/012027>.

277

Ramaglia, A. C., de Castro, L. M. y Augusto, A. (2018). Effects of ocean acidification and salinity variations on the physiology of osmoregulating and osmoconforming crustaceans. *Journal of Comparative Physiology B*, 188(5), 729-738. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1167-0>.

Reyes-Bonilla, H., Fueyo-MacDonald, L., Abas, M., Vázquez-Vera, L., Aranceta Garza, F., Cruz Piñón, G., Marín Monroy, E. A., Martínez Castañeda, C., Morzaria Luna, H. N., Ojeda Ruiz de la Peña, M. Á., Petatán Ramírez, D., Vergara Solana, F. J., Calderón Alvarado, J. M., Anaya Reyna, G., Nah Orozco M. y Portilla, J. (2021)a. Cambio climático en México: Recomendaciones de política pública para la adaptación y resiliencia del sector pesquero y acuícola. Environmental Defense Fund. México. 78 p. <https://www.icpmx.org/uploads/1/1/8/1/118130934/cambioclimaticoenmexico.pdf>

Reyes-Bonilla, H., Morzaria-Luna, H., Cruz-Piñon, G., Petatán Ramírez, D., Vázquez-Vera, L., Torres-Origel, J.F. y Dorantes, J.M. (2021)

b. Reporte Interno: Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México. Banco Internacional de Desarrollo, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Ciudad de México. México.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. y Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://www.jstor.org/stable/26268316>.

Roheim, C. A. (2009). The economics of ecolabelling. En T. Ward and B. Phillips, *Seafood Ecolabelling* (pp. 38-57). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781444301380.ch2>.

278

Saldívar-Lucio, R., Salvadeo, C., Monte-Luna, P. D., Arreguín-Sánchez, F., Villalobos, H., Lluch-Belda, D., Ponce-Díaz, G., Castro-Ortiz, J. L., Zepeda-Domínguez, J. A., Aranceta-Garza, F. y Almendarez-Hernández, L. C. (2015). Historical patterns and predicted thermal scenarios in Mexican seas. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50(2), 331-345.

Sánchez-Martínez, J. G., Aguirre-Guzmán, G. y Mejía-Ruíz, H. (2007). White spot syndrome virus in cultured shrimp: A review. *Aquaculture Research*, 38(13), 1339-1354. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01827.x>.

Santos, L. y Ramos, F. (2016). Analytical strategies for the detection and quantification of antibiotic residues in aquaculture fishes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 52, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.015>.

Schumpeter, J. A. (2017). *The nature and essence of economic theory*. Routledge.

Secretaría de Energía (2019). *Balance Nacional de Energía 2018*. México, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética.

Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Griffiths, D., Trong, T. Q., Vu, N. T., Jiravanichpaisal, P. y Briggs, M. (2018). Asian shrimp production and the

economic costs of disease. *Asian Fisheries Science*, 31S, 29-58.

Sicard, M. T., Maeda-Martínez, A. N., Lluch-Cota, S. E., Lodeiros, C., Roldán-Carrillo, L. M. y Mendoza-Alfaro, R. (2006). Frequent monitoring of temperature: An essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aquaculture Research*, 37(10), 1040-1049. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01527.x>.

Soto-Rodríguez, S. A., Gomez-Gil, B., Lozano, R. y Roque, A. (2010). Density of vibrios in hemolymph and hepatopancreas of diseased pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, from northwestern Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(s1), 76-83. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00335.x>.

Soto-Rodríguez, S. A., Gomez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Betancourt-Lozano, M. y 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. <https://doi.org/10.1128/AEM.03610-14>.

Sumaila, U. R., Lam, V. W. Y., Miller, D. D., Teh, L., Watson, R. A., Zeller, D., Cheung, W. W. L., Côté, I. M., Rogers, A. D., Roberts, C., Sala, E. y Pauly, D. (2015). Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Scientific Reports*, 5(1), 1-6. <https://doi.org/10.1038/srep08481>.

Svåsand, T., Crosetti, D., García-Vázquez, E. y Verspoor, E. (2007). Genetic impact of aquaculture activities on native populations. *Genimpact final scientific report* (EU contract n. RICA-CT-2005-022802).

Tacon, A. G. J. y Metian, M. (2009). Fishing for aquaculture: Non-food use of small pelagic forage fish. A global perspective. *Reviews in Fisheries Science*, 17(3), 305-317. <https://doi.org/10.1080/10641260802677074>.

Thornber, K., Verner-Jeffreys, D., Hinchliffe, S., Rahman, M. M., Bass, D. y Tyler, C. R. (2020). Evaluating antimicrobial resistance in the global shrimp industry. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 966-986. <https://doi.org/10.1111/raq.12367>.

- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. y Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D. y Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281-284. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>.
- Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C., Arrow, K. J., Barrett, S., Crépin, A.-S., Ehrlich, P. R., Gren, Å., Kautsky, N., Levin, S. A., Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B. H., Xepapadeas, T. y Zeeuw, A. de. (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(37), 13257-13263. <https://doi.org/10.1073/pnas.1404067111>.
- 280 Villanueva, R. R., Araneda, M. E., Vela, M. y Seijo, J. C. (2013). Selecting stocking density in different climatic seasons: A decision theory approach to intensive aquaculture. *Aquaculture*, 384-387, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.12.014>.
- Volpe, J. P. (2005). Dollars without sense: The bait for big-money tuna ranching around the world. *BioScience*, 55(4), 301-302. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0301:DWSTBF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0301:DWSTBF]2.0.CO;2).
- Watson, S.-A., Southgate, P. C., Tyler, P. A. y Peck, L. S. (2009). Early larval development of the sydney rock oyster *Saccostrea glomerata* under near-future predictions of CO₂-driven ocean acidification. *Journal of Shellfish Research*, 28(3), 431-437. <https://doi.org/10.2983/035.028.0302>.
- Watts, J. E. M., Schreier, H. J., Lanska, L. y Hale, M. S. (2017). The rising tide of antimicrobial resistance in aquaculture: Sources, sinks and solutions. *Marine Drugs*, 15(6), 158. <https://doi.org/10.3390/md15060158>.
- White, C. y Costello, C. (2014). Close the high seas to fishing? *PLOS Biology*, 12(3), e1001826. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001826>.

Whitman-Miller, A., Reynolds, A. C., Sobrino, C. y Riedel, G. F. (2009). Shellfish face uncertain future in high CO2 world: Influence of acidification on oyster larvae calcification and growth in estuaries. *PLOS ONE*, 4(5), e5661. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005661>.

Whitmarsh, D. y Wattage, P. (2006). *Public attitudes towards the environmental impact of salmon aquaculture in Scotland*. *European Environment*, 16(2), 108-121. <https://doi.org/10.1002/eet.406>.

Williams, J. y Crutzen, P. J. (2010). Nitrous oxide from aquaculture. *Nature Geoscience*, 3(3), 143. <https://doi.org/10.1038/ngeo804>.

Woodson, C. B., Micheli, F., Boch, C., Al-Najjar, M., Espinoza, A., Hernandez, A., Vázquez-Vera, L., Saenz-Arroyo, A., Monismith, S. G. y Torre, J. (2019). Harnessing marine microclimates for climate change adaptation and marine conservation. *Conservation Letters*, 12(2), e12609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/conl.12609>.

World Bank (2013). *Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture*. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper 03.

281

Wyban, J., Walsh, W. A. y Godin, D. M. (1995). Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 138(1), 267-279. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00032-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00032-1).

Yang, C. Z. y Albright, L. J. (1994). The harmful phytoplankter *Chaetoceros concavicornis* causes high mortalities and leucopenia in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and coho salmon (*O. kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(11), 2493-2500. <https://doi.org/10.1139/f94-248>.

Yuan, J., Xiang, J., Liu, D., Kang, H., He, T., Kim, S., Lin, Y., Freeman, C. y Ding, W. (2019). Rapid growth in greenhouse gas emissions from the adoption of industrial-scale aquaculture. *Nature Climate Change*, 9(4), 318-322. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0425-9>.

Obtención de datos

Las lecturas de temperatura empleadas para parametrizar el ciclo estacional de la TSM de la región ostrícola analizadas provienen de imágenes satelitales a partir del sensor MODIS con 1 km² de resolución y corresponden a los promedios mensuales de 2000 a 2016.

Los datos para parametrizar el crecimiento y la mortalidad de los ostiones diploides y triploides provienen de las biometrías generadas a partir del estudio titulado “Performance of Diploid and Triploid *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) Grown in Tropical Versus Temperate Natural Environmental Conditions”, publicado por la Dra. Ana María Ibarra et al. en 2017 en el *Journal of Shellfish Research*. En este

282

estudio se emplearon organismos diploides y triploides adquiridos en el laboratorio Whiskey Creek Hatchery, Oregón (EUA).

En cada sitio, los autores sembraron 4,500 organismos de cada ploidía. Mensualmente, de febrero a septiembre de 2007, se realizaron conteos y recolectaron 30 organismos de cada grupo para obtener así la talla promedio mensual, el peso total y el peso de la carne (para calcular el índice de condición).

Los datos económicos correspondientes a los costos unitarios de producción provienen del Programa Maestro Sistema Producto Ostión, Baja California, 2008. Los valores fueron actualizados al año 2020, con el índice nacional de precios al consumidor. La información sobre el costo de las semillas diploide y triploide proviene de entrevistas con productores de semilla de ostión en Baja California Sur, realizadas durante el mes de junio de 2020, mientras que el precio de venta y los requerimientos del mercado en la región sur de Sonora (talla e índice de condición mínimo) provienen de comercializadores de la región analizada, entrevistados durante junio de 2020.

Submodelo ambiental

El ciclo anual promedio de la TSM está representado con la siguiente función periódica con un ciclo de 365 días y con la función seno.

$$SST = \tau + \alpha \text{Seno} \left(2\pi \frac{t}{365} \right)$$

Donde τ corresponde a la temperatura promedio de la zona (25.5 °C). Para implementar diferentes escenarios climáticos se sumó la variación correspondiente a τ [0-2 °C]. α corresponde a un parámetro para ajustar la amplitud del ciclo (-5.03) y t es el tiempo en días del año (e.g. 15 = 15 de enero).

Submodelo biológico

Crecimiento

Para simular el crecimiento de talla, se parametrizó la función de crecimiento de Von Bertalanffy para los organismos diploides (2N) y los triploides (3N).

Donde L_{∞} es la talla asintótica, k_{TSM} es la velocidad de crecimiento y t corresponde a la edad de los organismos en días. Para incluir el efecto de la TSM se modificó el parámetro k en función de la TSM observada.

Donde α y β son parámetros de ajuste. Los valores de los parámetros para cada ploidía se muestran a continuación.

Parámetro	2N	3N
L_{∞}	6.544	8.57
α	0.026	0.014
β	-0.003	0.000022

Supervivencia

Para representar la supervivencia en el tiempo (N_t), se empleó la función de extinción exponencial. La función considera los organismos sembrados (N_0), la tasa de mortalidad instantánea (M_{tsm}) y el tiempo transcurrido del ciclo de engorda (t).

Para representar el efecto de la TSM sobre la supervivencia, se modificó el parámetro con una función lineal de la tasa de mortalidad instantánea, donde α y β son parámetros libres que se ajustaron para cada ploidía

Parámetro	2N	3N
α	0.011203	0.003746
β	-0.000261	-0.000068

284

Índice de condición

El índice de condición (IC) se parametrizó en función de la longitud (L_t) y la temperatura (TSM) para cada ploidía, de acuerdo con la siguiente ecuación, donde α , β y γ son los parámetros libres para ajustar la función.

Parámetro	2N	3N
α	0.359594	0.170143
β	0.118099	0.145679
γ	0.718001	0.896867

Submodelo tecnológico y económico

Los parámetros técnicos y económicos empleados para representar la operación de la unidad de producción acuícola se resumen en la tabla I.

Tabla I. Resumen de los protocolos de producción y parámetros económicos empleados en el modelo

Parámetro	Valor	Unidad
Fecha de siembra	15/10/2020	
Cantidad de piezas sembradas	1.1	Millones
Tamaño de la semilla	2.2	cm
Costo de la semilla diploide	120,000	Pesos por millón de semillas
Costo de la semilla triploide	130,000	Pesos por millón de semillas
Costo unitario sin considerar costo de la semilla	2.50	Pesos
Precio de venta	6	Pesos por pieza
Decisión de cosecha		
Índice de condición mínimo aceptable	0.16	
Talla mínima de cosecha	6	cm

Fuente: datos recopilados por los autores

La función de utilidad para estimar los EBITDA (π) se basa en la multiplicación del número de organismos al tiempo de la cosecha (N_t) por el precio de venta (p), mientras que la función de egresos está dada por el número de organismos sembrados (N_0) por el costo unitario de producción, sin considerar el coste de semilla (C_u), más el costo de la semilla (C_s) acorde a la ploidía utilizada.

$$\pi = N_t \cdot p - ((N_0 \cdot C_u) + C_s)$$

Ajuste y significancia estadística de los modelos

El ajuste de las funciones se realizó mediante la minimización de la suma de los errores cuadrados empleando el algoritmo de optimización GRG no lineal implementado en el programa Excel. La significancia estadística del ajuste de la función fue probada con una prueba F ($\alpha = .05$); la significancia de los parámetros libres fue, a su vez, evaluada con una prueba t de Student ($\alpha = .05$). Las pruebas estadísticas se realizaron en el paquete Statistica.

Metodología del caso de estudio II: Desempeño de la producción camarónica (*Litopenaeus vannamei*) ante un incremento de la TSM como consecuencia del cambio climático.

A continuación, se presentan las funciones utilizadas en el modelo para el análisis del impacto de un hipotético incremento de la TSM, derivado del cambio climático, sobre el desempeño productivo de una granja de camarón. La parametrización de los modelos se realizó mediante información técnico-productiva obtenida de una granja de producción de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) ubicada en el noroeste de México.

286

Submodelo ambiental

Se modeló la temperatura utilizando una función senoidal con el objetivo de adecuar la variabilidad periódica a lo largo del año imponiendo máximos y mínimos. Se utilizó la función descrita por Villanueva *et al.* (2013).

$$T_t = \underline{T} + R_T \text{sen}(2\pi t)$$

Donde T representa la temperatura, t es el tiempo, \underline{T} es la temperatura promedio a lo largo del año y R_T es el rango de valores en los que se mueve esta temperatura.

Submodelo biológico

Para el submodelo biológico se incluyeron los modelos de crecimiento y mortalidad en función del tiempo, incluyendo el efecto de la temperatura.

Crecimiento

Se utilizó una solución de la función de crecimiento descrita por Von Bertalanffy

$$w_t = w_{t-1} + w_{t-1} k_t b \left(\frac{w_\infty}{w_{t-1}} \right)^{\frac{1}{b}-1}$$

Donde b es un parámetro de ajuste y se tiene en cuenta el peso de siembra (w_{t-1}) y el efecto de la temperatura (T) haciendo variable la capacidad de carga (k_t) mediante la función

$$k_t = \alpha_0 + \alpha_1 T_t$$

287

Mortalidad

Para estimar la mortalidad, se utilizó un modelo logístico clásico, incluyendo el efecto de la temperatura dentro de los parámetros de regresión

$$N_t = N_0 e^{-zTt}$$

Donde N es igual al número de organismos en el tiempo (t), N_0 representa al número de organismos sembrados y z es igual a la tasa de mortalidad instantánea.

Biomasa

Puesto que la biomasa (B) es igual a la cantidad de materia viva presente en el sistema, la función utilizada para la estimación de biomasa es:

$$B_t = N_t w_t$$

Submodelo tecnológico

La cantidad de alimento a proporcionar (A_t) se encuentra en función de la biomasa presente en cada estanque. Así, se diseñó el siguiente modelo de regresión lineal dinámico:

$$A_t = \beta_1 t + \beta_2 N_t + \beta_3 w_t$$

Para estimar la energía necesaria para realizar los recambios y la oxigenación, se utilizó una modificación del modelo descrito por Peñalosa-Martinell *et al.* (2020) asumiendo un sistema abierto, sin calefacción del agua y con recambios de 10% del volumen total de agua por día.

Aireación

Para estimar la potencia de aireación requerida, se estimó la demanda de oxígeno de los camarones en función de la densidad del cultivo, el uso de probióticos y la biomasa (Bett y Vinatea, 2009), definiendo así el caudal de aireación necesario para mantener la producción. Para estimar el flujo de aire ofrecido, se utilizaron la potencia y el flujo de ocho bombas disponibles en el mercado. Se asumió una transferencia de oxígeno constante, así como un sistema de aireación de microburbujas (Ebeling y Timmons, 2012). Además, se supone que las bombas se mantienen en funcionamiento durante las 24 horas del día a una capacidad de 80%. Para calcular la energía, la potencia de cada bomba se convirtió en kWh. Los valores se estimaron de la siguiente manera.

Definamos:

$$a_1, \dots, a_n \in [0,1]$$

$$A \in [0,1]$$

$$M \in R^+ \cup \{0\}$$

$$f_i: R^+ \cup \{0\} \rightarrow R^+ \cup \{0\} \ni f_i(M) = \frac{a_i}{A \cdot M}$$

$$S = \{s_1, \dots, s_n\} \text{ 9}$$

Donde:

$$s_i = f_i(M)$$

Ahora, sea Y :

$$Y = \{y_1, \dots, y_n\}$$

Con b y w_i constantes.

Definimos:

$$g: S \rightarrow R^+ \cup \{0\} \ni \forall i \in N$$

$$g(s_i) = \frac{s_i \cdot b}{w_i}$$

Llamemos a $y_i = g(s_i) \forall i \in N$

Sea O :

$$O = \{o_1, \dots, o_n\}$$

$$h_i Y \rightarrow R^+ \cup \{0\} \ni \forall i \in N$$

$$h(y_i) = y_i \cdot c_i$$

Llamemos también $o = h(y_i)$

Definimos:

$$r: O \rightarrow R^+ \cup \{0\} \ni \forall i \in N$$

$$o = \sum_{i \in O} o_{i \in O}$$

$$r(o) = w_L \cdot I \cdot N + \frac{w_o \cdot o \cdot j}{b}$$

$$\text{Siendo } Q_D = r(o)$$

Ahora, siendo:

$$U = \{U_1, \dots, U_n\}$$

$$D = \{n_i: i \in U \wedge n_i = \#(U_i)\} \subset N$$

$$Q = \{q_i: i \in U \wedge \text{caudal}(U_i)\} \subset R^+ \cup \{0\}$$

$$P = \{p_i: i \in U \wedge p_i = \text{potencia}(U_i)\} \subset R + \cup \{0\}$$

Definimos:

$$\phi = \sum_{i \in U} (n_i \cdot q_i)$$

$$Q_o = \phi \cdot \tau$$

También, siendo E:

$$E_i = n_i \cdot p_i \cdot \alpha \ni i \in U \text{ y } \alpha \text{ constantes.}$$

Definimos ahora:

$$E = \sum_{i \in U} E_i$$

Finalmente, sea z :

$$z \in R^+ \cup \{0\}$$

$$z = \min\{E: Q_o \geq Q_D \text{ y } n_i \in N \forall i \in U\}$$

Donde M es el medio de cultivo en gramos, a es el porcentaje del azúcar i presente en la cantidad total de azúcar en el medio, A es el porcentaje del medio total que corresponde a la cantidad total de azúcar, s_i es la cantidad de azúcar i y y_i representa el número de moles de azúcar i que existen en el medio de cultivo, b representa el número de Avogadro y w_i el peso molecular del azúcar i , c_i es la constante de la relación estequiométrica que existe entre el consumo de oxígeno y azúcar para la respiración celular (1:6 para la glucosa y 1:12 para la sacarosa), wL es el peso de los organismos en el cultivo, l es la demanda de oxígeno por parte de los camarones (Bett y Vinatea, 2009), N es el número de larvas en cultivo, w_o es el peso molecular del oxígeno, j es el porcentaje del medio consumido por las bacterias, U es el tipo de bomba utilizada, τ es la constante de transferencia de oxígeno y depende del sistema de aireación utilizado (se supone que es $0.25 \text{ kgO}_2\text{hr}^{-1}$) (Ebeling y Timmons, 2012), α es una constante que transforma s caballos de fuerza a kW, Q_D es el flujo de oxígeno requerido por el sistema y Q_o es el caudal de oxígeno ofrecido por el sistema de acuerdo con las características de las bombas especificadas.

Cuando no hay probióticos, O es igual a cero y la demanda de oxígeno del sistema proviene exclusivamente de los organismos en cultivo. Cuando se utiliza la tecnología, o definirá la demanda de oxígeno de los probióticos y dependerá de la cantidad del medio de cultivo (y, por lo tanto, de los probióticos administrados según la proporción medio: probióticos de 2:1 recomendada por los productores comerciales y observada en la base de datos) que se agrega al tanque, así como al metabolismo bacteriano.

Debido a la falta de especificación en la proporción de la cepa bacteriana de cada probiótico presente en el mercado, se asume el escenario de consumo máximo de oxígeno, donde todas las bacterias probióticas son aeróbicas y utilizan la vía de fosforilación oxidativa por glucólisis (ciclo de Krebs) para obtener energía; por esta razón, se usó la relación estequiométrica entre una molécula de un azúcar

dado y el consumo de oxígeno resultante de las rutas metabólicas mencionadas anteriormente. También se supone que se consume un porcentaje j de la fuente de carbono administrada, igual o inferior al 100%. Dado que no conocemos el porcentaje de medio de cultivo consumido y que esto es variable en cada cultivo, se asumió que j es igual al 100%; de esta manera, calcularemos el oxígeno máximo que puede consumir la comunidad bacteriana.

Además, dado que las etiquetas carecen de especificación, se supone que el medio de cultivo comercial tiene una composición similar, al menos en proporción, a la que se encuentra generalmente en las melazas, un producto utilizado habitualmente como medio de cultivo en producciones de grandes dimensiones. Se supone la siguiente proporción: sacarosa, 60%; glucosa, 10%; fructosa, 5%; y el 25% restante corresponde a otros compuestos como aminoácidos, péptidos y minerales.

Se seleccionaron seis bombas aireadoras con diferentes caudales y consumos de energía asociados (Tab. II).

Tabla II. Bombas aireadoras utilizadas en el modelo

U	Potencia (hp)	Caudal (GPM)
1	10	700
2	20	700
3	40	1,400
4	80	2,800
5	160	5,600
6	320	11,200

Fuente: datos recopilados por los autores en instalaciones experimentales

Recambio de agua

Se utilizaron las curvas de rendimiento de un fabricante de bombas para definir la relación entre el flujo y la energía utilizada por cada bomba. Se seleccionaron 14 caudales, entre 1 y 316.7 GPM (0.23 y 71.9 m³h⁻¹), y se asociaron con la energía requerida por la bomba. Por lo tanto, sea Q_c el flujo calculado para el sistema, Q'_o el flujo obtenido por las curvas de rendimiento, E la energía asociada con cada uno de estos flujos, f y g las funciones de asignación de energía para Q_c y Q'_o , respectivamente, entonces:

$$B = [0, \frac{t \cdot 316.7}{V}]$$

Siendo V y t constantes.

$$Q_c = [0, 316.7]$$

$$Q'_o \subset Q_c \ni Q'_o = \{317, 634, 1268, 2536, 5072\}$$

$$E = \{11, 22, 44, 88, 176\}$$

Definimos:

$$f: B \rightarrow Q_c \ni \forall \psi \in B \quad f(\psi) = \frac{V \cdot \psi}{t}$$

$$f': Q_c \rightarrow Q'_o \ni \forall \xi \in Q_c, i \in [0, 5]$$

$$g: Q'_o \rightarrow E \ni \forall q_i \in Q'_o$$

$$f'(\xi) = \{q_i \text{ si } q_i \leq \xi < q_{i+1} \quad q_{15} \text{ si } \xi = q_{15}\}$$

$$g(q_i) = \{88 \text{ si } i = 4 \quad 176 \text{ si } i =$$

$$5 \quad 8.18e^{0.432 q_i} \text{ e.o.c}\}$$

$$f'': B \rightarrow E \ni f'' = g \circ (f' \circ f)$$

Donde V es el volumen de agua en el sistema en litros, η es el porcentaje de recambio utilizado y t el tiempo en horas.

Submodelo económico

Como indicador de desempeño, se utilizaron los EBITDA (Π_t) descritos como

$$\Pi_t = I_t - C_t$$

Donde I hace referencia a los ingresos y C a los costos en los que incurre la producción. Los primeros se pueden definir como

$$I = (B_t \cdot 1000) P$$

donde P es igual al precio de mercado en \$ kg⁻¹. Mientras que los costos pueden definirse como

$$C_t = C_{f_t} + C_{v_t}$$

294

donde C_f representa los costos fijos, es decir, aquellos costos que no dependen de la cantidad producida, como los alquileres, la nómina, los seguros o los costos administrativos; y C_v representa los costos variables, es decir, aquellos costos que dependen de la cantidad a producir, como el alimento, la energía, los antibióticos, etc.

Salidas dinámicas del modelo de camarón

A continuación, se presentan las salidas del modelo bioeconómico aplicado para este ejercicio.

Tabla III. Comparación de indicadores de desempeño de dos granjas productoras de camarón, obtenido en el TOC, una ubicada en San Juan de la Costa (SJC), Baja California Sur, y otra en Chametla (Ch), Sinaloa, ante diferentes escenarios de incremento de temperatura

Incremento de temperatura (°C)	Ch	SJC	Ch	SJC	Ch	SJC	Ch	SJC	Ch	SJC	Diferencia (%)
	TOC		Peso de cosecha(g)		Supervivencia		Biomasa (ton)		EBITDA (\$)		
0	19	20	22.14	22.09	78%	78%	704	695	40,181,819	39,293,154	2.2
0.5	19	20	22.35	22.31	78%	77%	707	699	40,437,130	39,553,708	2.2
1	19	19	22.55	21.96	78%	79%	710	699	40,846,775	39,853,699	2.4
1.5	19	19	22.73	22.18	77%	78%	712	703	41,077,310	40,138,466	2.3
2	18	19	22.25	22.39	79%	78%	712	706	41,077,310	40,387,301	1.7
2.5	18	18	22.44	21.94	79%	79%	715	706	41,318,937	40,387,301	2.3
3	18	18	22.62	22.15	78%	79%	718	710	41,530,262	40,618,505	2.2
3.5	18	18	22.79	22.35	78%	79%	721	713	41,712,899	40,907,731	1.9
4	18	18	22.96	22.54	78%	78%	722	716	41,868,428	41,164,168	1.7
4.5	17	18	22.42	22.72	79%	78%	723	719	42,098,315	41,389,484	1.7
5	17	17	22.60	22.17	79%	80%	725	718	42,315,688	41,791,023	1.2

Fuente: elaboración propia con los resultados del modelo generado por los autores

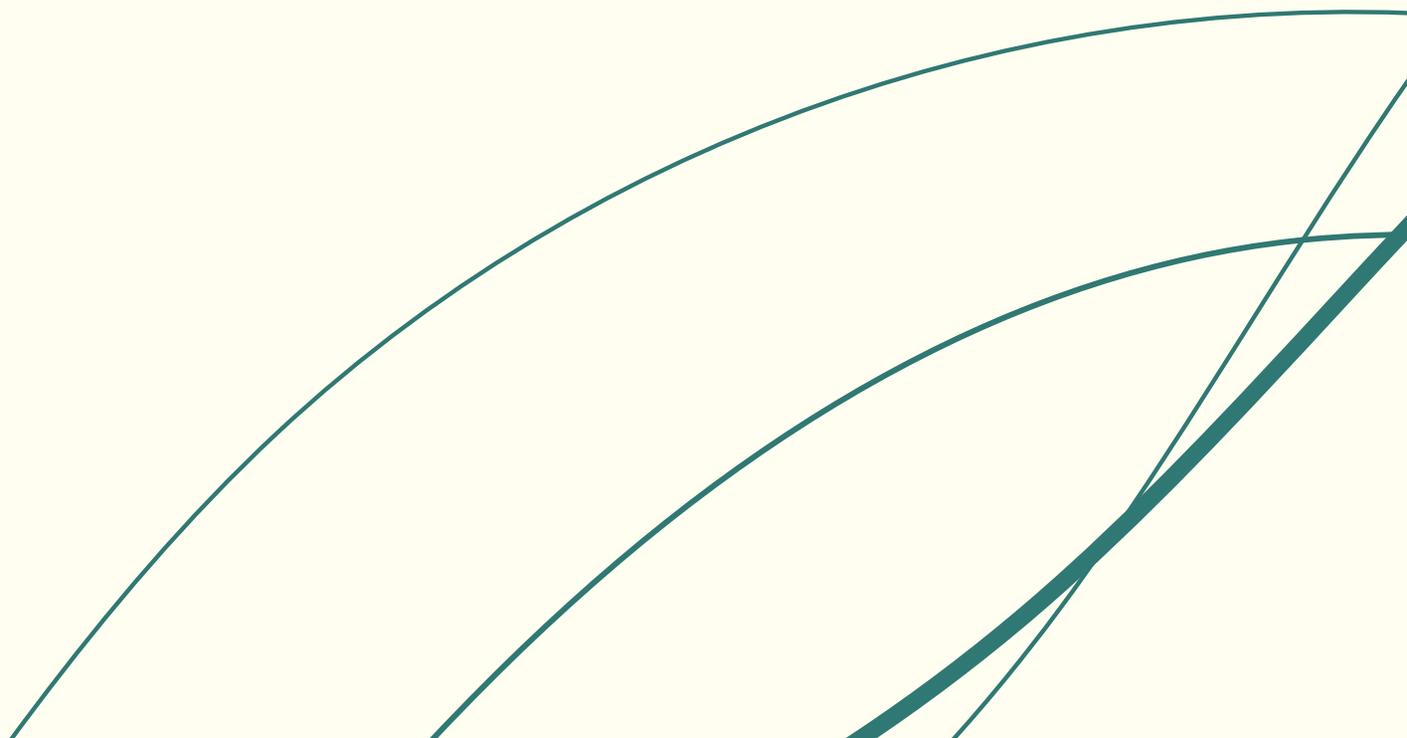
Tabla IV. Resultados dinámicos del desempeño de dos granjas productoras de camarón, una ubicada en San Juan de la Costa (SJC), Baja California Sur, y otra en Chametla (Ch), Sinaloa, ante dos escenarios de TSM: uno con la temperatura actual (SQ) y otro con un incremento de 1 °C

t	SJC		Ch		SJC		Ch		SJC		Ch		SJC		Ch	
	Tasa de crecimiento (gr semana ⁻¹)		Tasa de crecimiento (gr semana ⁻¹)		Supervivencia (individuos)		Supervivencia (individuos)		Biomasa (ton)		Biomasa (ton Ha ⁻¹)		EBITDA (MXN)		EBITDA (MXN)	
	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C	SQ	+1°C
0					405580	405580	405580	405580	0.3	0.3	0.29	0.29	-5658154	-5658154	-5658154	-5658154
1	0.01	0.01	0.01	0.01	405103	405083	405064	405044	0.9	0.9	0.89	0.87	-5644049	-5644080	-5644080	-5642704
2	0.04	0.04	0.04	0.04	404053	403993	403993	403934	2.5	2.4	2.54	2.44	-5814522	-5807300	-5819868	-5812749
3	0.1	0.1	0.09	0.1	402373	402255	402350	402231	6.7	6.4	6.58	6.22	-5830677	-5805589	-5859264	-5835137
4	0.21	0.23	0.2	0.22	400093	399897	400148	399952	15.7	14.7	15.26	14.27	-5502145	-5429559	-5588884	-5520098
5	0.38	0.42	0.38	0.41	397325	397034	397438	397146	32.1	29.8	31.57	29.28	-4700248	-4533385	-4854931	-4695653
6	0.59	0.65	0.63	0.69	394242	393836	394296	393890	57.4	53	58.4	53.88	-3314806	-2992979	-3438746	-3122541
7	0.81	0.88	0.93	1.02	391010	390474	390795	390259	91.5	84.1	97.5	89.75	-1359836	-823458	-1175749	-627486
8	1	1.1	1.25	1.36	387728	387045	386984	386302	133.3	122.2	149.06	137.27	1105526	1903295	2003655	2847494
9	1.2	1.32	1.56	1.69	384379	383533	382864	382021	182.5	167.4	211.92	195.72	4081765	5170760	6050019	7219533
10	1.45	1.57	1.85	1.97	380818	379793	378388	377370	240.2	220.9	283.85	263.48	7658388	9047861	10797535	12274469
11	1.74	1.86	2.08	2.19	376801	375585	373471	372265	307.2	284.1	361.57	337.9	11935596	13603699	15980104	17695106
12	2.04	2.14	2.23	2.3	372068	370649	368021	366617	382.5	356.5	440.51	415.04	16882078	18760791	21258524	23102129
13	2.27	2.33	2.25	2.28	366423	364793	361976	360366	461.4	434.1	515.2	489.72	22213549	24183909	26267026	28111902
14	2.32	2.33	2.13	2.12	359822	357975	355333	353510	536.1	509.7	580.3	556.56	27401000	29315207	30678635	32405980
15	2.15	2.12	1.9	1.85	352407	350341	348164	346123	598.8	575	632.08	611.4	31860419	33586881	34268449	35788962
16	1.82	1.76	1.59	1.52	344485	342197	340604	338342	644.9	624.9	669.33	652.39	35210882	36672195	36945994	38208612
17	1.44	1.36	1.28	1.2	336451	333938	332826	330340	674.7	658.6	693.13	680.08	37398613	38576949	38743807	39732153
18	1.08	1.01	1	0.92	328678	325936	324994	322282	691.4	678.9	705.94	696.56	38621600	39537234	39774641	40496552
19	0.81	0.74	0.77	0.7	321415	318437	317222	314282	699.2	689.9	710.48	704.41	39168339	39853699	40181819	40658136
20	0.62	0.57	0.6	0.54	314714	311492	309544	306375	701.5	695.1	709.09	705.95	39293154	39776163	40101527	40357798
21	0.5	0.45	0.47	0.42	308408	304937	301910	298512	700.6	696.7	703.37	702.83	39160700	39458687	39643203	39705071
22	0.43	0.38	0.38	0.33	302156	298433	294199	290575	697.1	695.7	694.25	696.02	38838928	38959862	38885366	38776777
23	0.39	0.34	0.31	0.26	295531	291561	286262	282417	690.9	692	682.17	685.99	38318363	38266192	37881137	37624110
24	0.35	0.3	0.25	0.21	288153	283948	277968	273912	681.3	684.7	667.34	672.95	37547540	37328695	36667978	36282887
25	0.3	0.25	0.2	0.16	279804	275384	269255	265001	667.7	673.2	649.94	657.11	36477358	36105285	35277400	34783152

Fuente: elaboración propia con base a los resultados del modelo generado por los autores

VIII. Voz de los actores en el sector acuícola.

Leonardo Vázquez-Vera



1. Introducción

En el capítulo I, se hizo una descripción del sector acuícola considerando principalmente a los productores. Sin embargo, los actores involucrados de manera indirecta en el sector juegan un papel fundamental para la gobernanza, el éxito empresarial y la asesoría de los productores. Por lo tanto, en este capítulo, dedicado a analizar las percepciones sobre los retos que enfrenta la acuicultura nacional se incluirá a empresarios y responsables de la operación de granjas e instalaciones relacionadas con el cultivo y el procesamiento de productos acuícolas, en conjunto con académicos, representantes de gobierno y la sociedad civil organizada.

La percepción de este grupo de actores sobre las necesidades y los retos de la actividad acuícola debe ser considerada y revisada por las autoridades en materia acuícola de México a fin de contribuir con propuestas para agilizar el alcance de metas.

298

Para explorar la percepción, se emplearon diferentes metodologías para recopilar la opinión de los actores: entrevistas, un taller participativo y una encuesta a nivel nacional. Se realizaron cuatro preguntas a todos los entrevistados: 1. ¿Cuáles considera que son los tres problemas más importantes de la acuicultura en México? 2. ¿Cuál considera que es la problemática ambiental de la acuicultura? 3. ¿Cuáles son las necesidades de especialización en términos de ciencia, tecnología y producción? 4. ¿Qué es lo que se debe de hacer o desarrollar en estos temas? Las respuestas fueron integradas por temas (e.g. análisis de situación e impactos de la acuicultura).

A inicios de 2019, se realizó un taller participativo en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, al cual asistieron representantes de organizaciones civiles (n=5), académicos (n= 2) y productores (n=2) con el propósito de identificar necesidades y retos en cuando al marco legal de la acuicultura, el estado de la ciencia y la tecnología, mercados y comercialización. El taller se completó mediante la entrevista semiestructurada a otras personas clave de organizaciones y empresas de cultivo.

A mediados de 2020, se levantó una encuesta a nivel nacional a través de un portal de internet (SurveyMonkey) para conocer la percepción de los diferentes actores relacionados con la acuicultura. La encuesta fue difundida mediante redes sociales, correos

masivos y contacto directo con organizaciones que tienen una agenda de pesca y acuicultura en México. Se obtuvieron 102 respuestas diferentes, con representación de académicos (33%), productores acuícolas (29%), sociedad civil (15%), representantes de gobierno (14%) y pescadores (9%), de doce entidades federativas del país (figs. 1A y 1B).

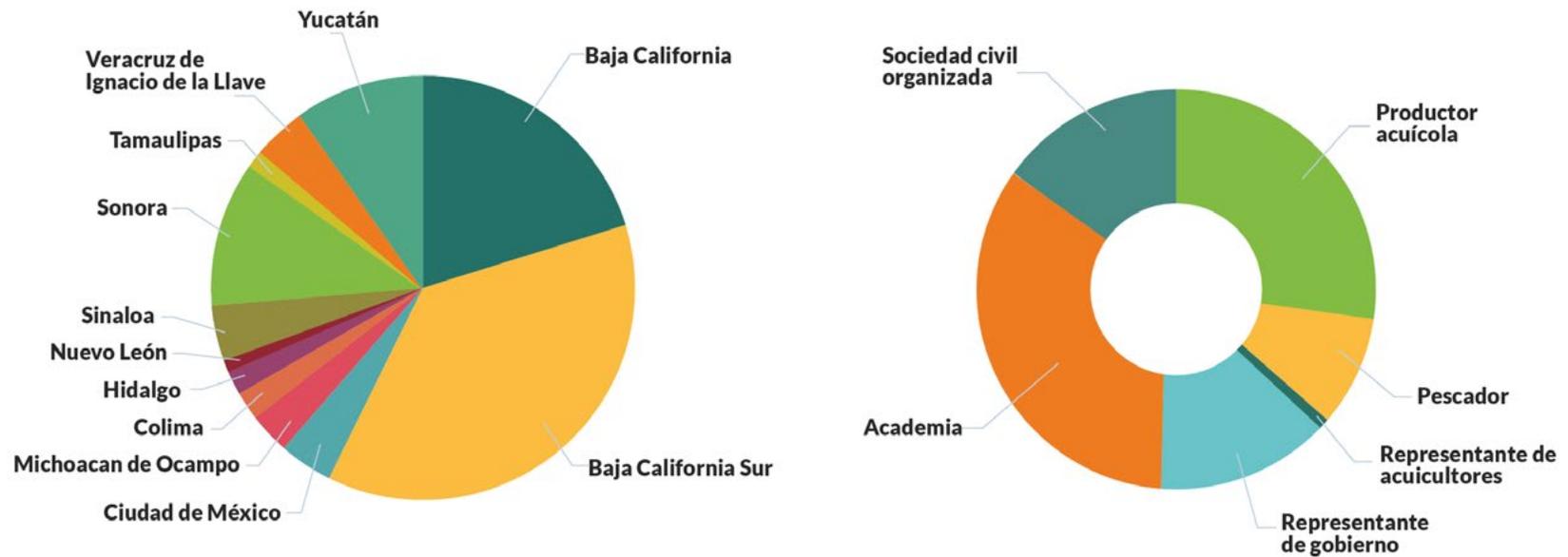
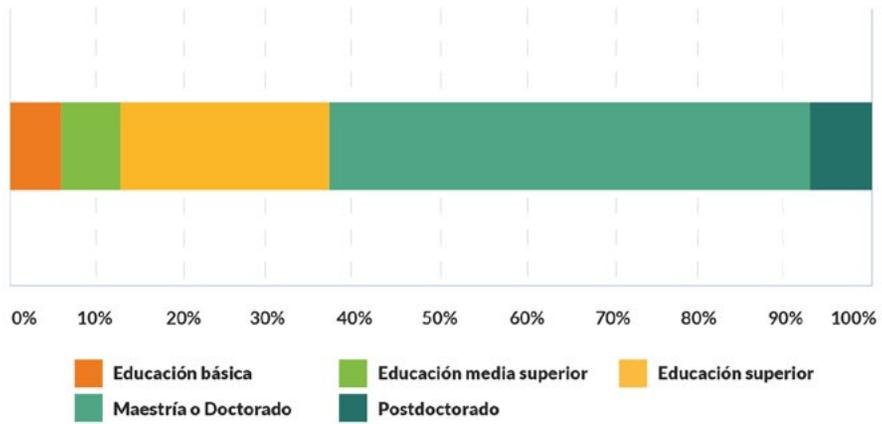


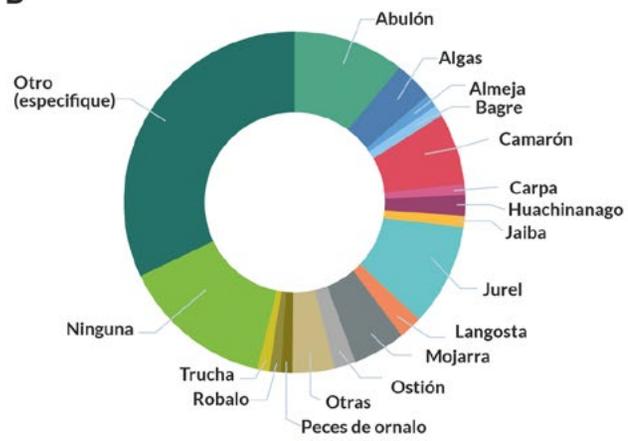
Figura 1. A. Origen de los participantes de la encuesta nacional. B. Grupo al cual pertenecen los participantes de la encuesta.

En cuanto a la escolaridad de los participantes, más de 60% manifestó contar con nivel superior (es decir, licenciatura e incluso posgrado), siendo la categoría maestría o doctorado la que presentó mayor número de encuestados (Fig. 2A). En cuanto a la actividad que realizan los encuestados, destaca que casi una tercera parte enfoca su trabajo en más de una especie acuícola y poco más de la mitad de los encuestados se especializa en una sola especie; el cultivo de camarón, abulón, jurel y ostión son las principales especies objetivo, de un total de 15 especies mencionadas en específico (Fig. 2B). Considerando los años de experiencia laboral, se puede observar tres grupos con similar proporción (un tercio cada uno): menos de 4 años, entre 5 y 9 años y más de 10 años (Fig. 2C). Es un buen descriptor para considerar la opinión en un nivel elevado de experiencia (> 60%).

A



B



C

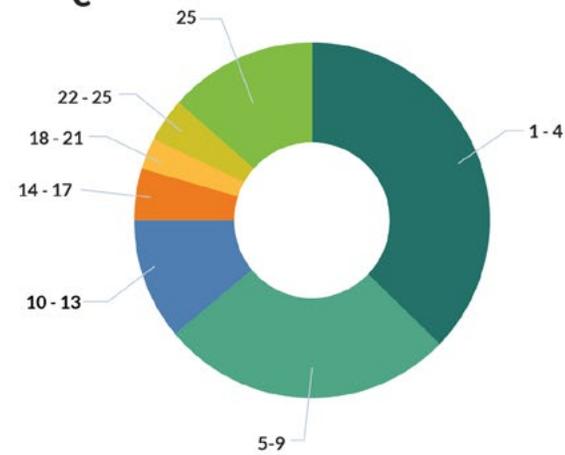


Figura 2. Descripción general de los participantes en la encuesta. A. Nivel de estudios B. Especies objetivo. C. Años de experiencia laboral.

2. Necesidades en ciencia y tecnología

La ciencia y la tecnología son componentes fundamentales para la acuicultura y su desarrollo. La labor científica debe ser una estrategia transversal para atender las necesidades y los retos que enfrenta la acuicultura y convertirla en la actividad más rentable y de menor impacto para la producción de alimentos a nivel nacional, propósito que también requiere la creación de un marco político y legal robusto (Yutaro et al., 2019). Durante el taller realizado en 2019, esta idea fue uno de los componentes centrales de las discusiones grupales, acompañada del reconocimiento de diversos aspectos puntuales que son indispensables cubrir para promover el desarrollo acuícola a corto y mediano plazo (Tab. 1).

Las necesidades de investigación científica son múltiples y variadas. Entre ellas, en cuanto a la parte técnica y, en particular, el cultivo de las especies, se identifica el control de enfermedades, la intensificación de cultivos y la investigación para la producción de peces marinos nativos. Desde un punto de vista estratégico, es fundamental fomentar la actividad científica, vincular la investigación de centros especializados con las necesidades de los productores y proveer a los investigadores y los productores de espacios para la divulgación de los resultados y el intercambio de ideas. El desarrollo de técnicas para el procesamiento de los productos acuícolas es fundamental para la comercialización, incluyendo la sanidad y la inocuidad.

La mayoría de los encuestados (72.2%) estuvieron de acuerdo en que la planeación espacial es fundamental para el desarrollo acuícola (Fig. 3), apreciación que fue consistente con las necesidades identificadas durante el taller realizado. La conclusión deriva de la idea de que sin la integración de la información que incluye capacidad de carga, control de los procesos biológicos, manejo de la calidad del agua y la identificación de especies idóneas por región, no se puede contar con una planeación estratégica. Un error histórico en la acuicultura nacional fue promover iniciativas que no cuentan con el soporte para ser rentables y que incluso pueden tener impactos negativos en el ambiente y la sociedad. La planeación integral, espacialmente explícita y con directrices que incluyen el uso y disponibilidad de recursos

facilitaría la toma de decisión en los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) al momento de evaluar la factibilidad de nuevas operaciones acuícolas (Unzueta, 2010).

La acuicultura es esencialmente una actividad basada en ciencia y uno de los motivos por los que no se cultivan más especies nativas en México es la falta de tecnología y la importación de ciencia que se ha ajustado y desarrollado localmente (Platas-Rosado y Vilaboa-Arroniz, 2014; Norzagaray Campos et al., 2012).

Realizar investigación científica sobre especies potenciales de cultivo, su reproducción y fisiología, para determinar los requerimientos energéticos y establecer buenas prácticas para su alimentación. La información existente es escasa y falta especialización en nuevas especies.

Realizar investigación sobre la capacidad de carga, de lo cual todavía se conoce muy poco. Aunque puede ser una necesidad de empresas de capital privado, es obligación del gobierno contar con la información para dirigir los esfuerzos. Este tipo de estudios es la base del ordenamiento acuícola.

Realizar investigación científica sobre circuitos cerrados o semicerrados (métodos de cultivo) a fin de impulsar el desarrollo tecnológico e intensificar la producción.

Realizar estudios sobre la patología de las especies y del ambiente donde son cultivadas.

Realizar investigación científica sobre el mejoramiento genético de las especies cultivadas y, sobre todo, de aquellas que se consideran potenciales.

Realizar investigación científica para la transformación de los productos acuícolas, a fin de obtener diferentes presentaciones y garantizar su mantenimiento y conservación, con el apoyo del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

Continuidad en los esfuerzos científicos y coordinación entre investigadores y productores en el largo plazo. Creación de centros de investigación y vinculación en alianza con productores para hacer congruente la investigación con la producción y el mercado.

La sanidad, es un área de desarrollo de gran importancia; pero tiene muy poca inversión. Prueba de ello es la reducción de los laboratorios certificados por parte del SENASICA, para realizar estudios sobre la certificación de plantas y de cuerpos de agua.

Investigación científica sobre el cambio climático y sus efectos en el sector. Para lograrlo es necesario un mayor enfoque y ligarlo a las otras líneas de investigación.

Vinculación entre investigadores y potenciales usuarios para la producción de especies nuevas o con potencial. Financiamiento, el gobierno no financia este tipo de investigación y los pocos apoyos que existen para este tipo de investigación, se dirigen a empresas.
Colaboración con organismos especializados e instituciones de educación superior, a fin de llevar a cabo programas de investigación y protección de los recursos naturales y entorno ecológico, así como de capacitación a los productores en áreas como sanidad pesquera y acuícola, genética y nutrición.
Desarrollar en los centros de investigación la capacidad de gestionar y transferir tecnología en grupos especializados en el tema para la vinculación de la academia con las empresas.
Fortalecimiento de instituciones de investigación en acuicultura ya que no están en condiciones para desarrollar tecnología y transferirla a la industria.
Diseñar mecanismos de vinculación de la ciencia con los productores. Los productores ven lejano lo que hacen los institutos de investigación a lo que hacen en el campo los productores.
Creación de centros de innovación en acuicultura que facilitan la transferencia a los productores.
La carga académica no permite al investigador comunicar sus resultados a los productores. Es necesario fomentar los canales de comunicación mediante organismos intermedios.
Fomentar la asociatividad entre sectores (academia, productores, gobierno, comercializadores etc.)
Promover la transferencia de tecnología a través de la asistencia de pescadores a exposiciones tecnológicas locales, nacionales e internacionales.

Tabla 1. Recomendaciones puntuales de académicos, productores y representantes de la sociedad civil organizada sobre las necesidades de ciencia y tecnología de la acuicultura en México.

Fuente: elaboración propia con datos generados durante entrevistas y taller con productores acuícolas.

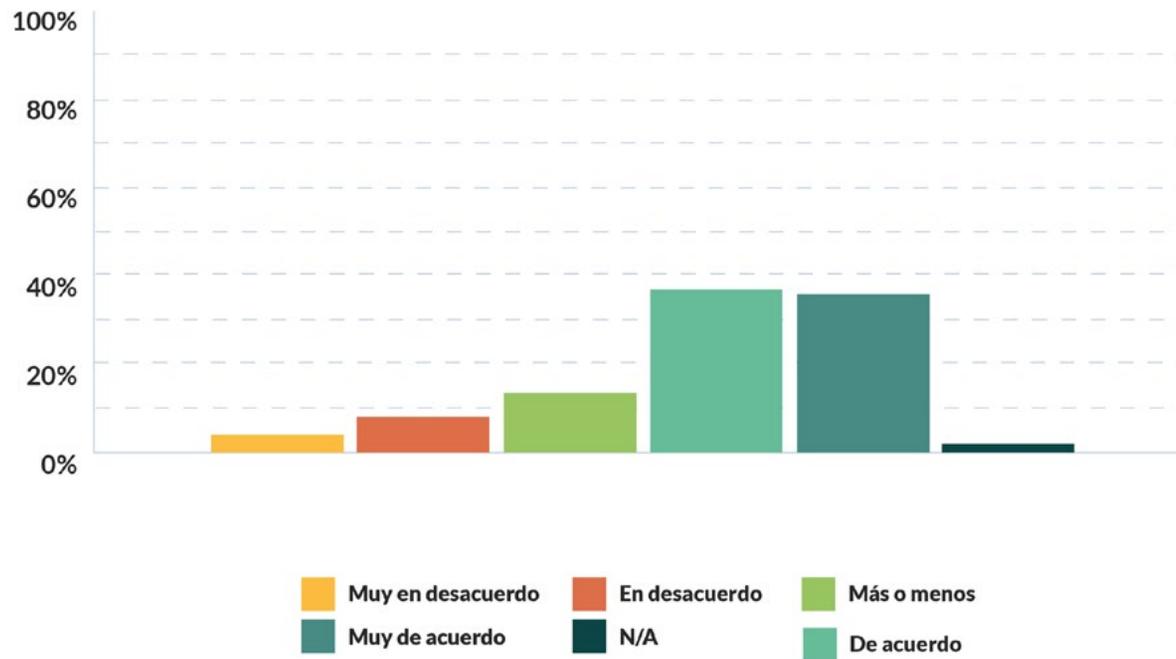


Figura 3. Respuestas agregadas de los encuestados sobre la siguiente afirmación:
 La investigación científica debe enfocarse en una planeación espacial para el desarrollo acuícola en México.

3. Buenas prácticas e impactos ambientales de la acuicultura

Uno de los principales retos para impulsar la acuicultura sustentable es la legislación y la burocracia actual, ya que la producción de algunas especies, la restauración de ecosistemas y la planeación espacial son actividades que solo pueden realizarse de manera ingeniosa aprovechando los vacíos, las interpretaciones y la combinación de herramientas legales.

En cuanto a las buenas prácticas y la comercialización, falta invertir en ciencia para la innovación en el procesamiento de pescados y mariscos de cultivo que le agreguen valor y compitan en el mercado. Por otro lado, hay una promoción limitada de los productos y poco incentivo de los mercados para desarrollar e integrar la tecnología necesaria. En este sentido, también destaca la carencia de conocimiento e interés de los consumidores sobre la oferta y la calidad del producto nacional. Los productos acuícolas mexicanos compiten con los productos pesquero-acuícolas de Asia, que ingresan al país con bajos costos arancelarios, lo que permite ponerlos en el mercado a precios muy competitivos. El producto acuícola nacional se comercializa principalmente entero, congelado o fresco, debido a la baja capacidad de procesamiento y de agregar valor, que implica un mayor costo. La preferencia del consumidor está en los productos procesados (*e.g.* filetes congelados), que son importados (hasta 300,000 toneladas anualmente) desde Asia (CONAPESCA, 2018).

Desde 2012, el uso de certificaciones y reconocimientos por buenas prácticas desde organizaciones internacionales, como el Aquaculture Stewardship Council y Best Aquaculture Practices, ha permitido a algunos productores ingresar a mercados preferenciales. A la fecha de la elaboración de este diagnóstico, México cuenta con la certificación de cinco especies y el reconocimiento de buenas prácticas en más de veinte instalaciones, que incluyen granjas, laboratorios, plantas procesadoras y plantas productoras de alimentos (véase capítulo I). En general, la percepción es que estas certificaciones contribuyen a la comercialización y al incremento del valor de los productos acuícolas (figs. 4A y 4B).

A nivel global, es inevitable hablar de la producción de proteína sin impacto ambiental. En lo que corresponde a la acuicultura en México, aún queda una mala impresión sobre el tema, relacionada con la difusión de los impactos ambientales en marismas y manglares del Golfo de California durante la expansión de la camaronicultura en la década de 1990 (Páez-Osuna, 1998; DeWalt *et al.*, 2002). Por otro lado, el pobre manejo de aguas residuales y débil control de las especies exóticas cultivadas en aguas continentales han contribuido significativamente a generar una percepción de que el impacto ambiental es de gran magnitud, incluso mucho mayor que otras actividades agroalimentarias (Fig. 4C). Sin embargo, el impacto del sector acuícola puede estar lejos de las implicaciones ambientales de la agricultura, la ganadería, la minería, la extracción de combustibles fósiles y el desarrollo turístico si consideramos el nivel de desarrollo y los volúmenes de producción de cada sector. Se ha avanzado mucho en cambiar esta percepción a nivel global y nacional y hoy la acuicultura es una actividad basada en ciencia y tecnología que busca necesariamente la optimización de los recursos y que incluso cuenta con el potencial para restaurar ecosistemas, recuperar poblaciones de especies pesqueras que han colapsado y promover empleos dignos y una economía vibrante. Estos componentes hacen de la acuicultura un medio para alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) propuestos por la ONU (Fig. 4D).

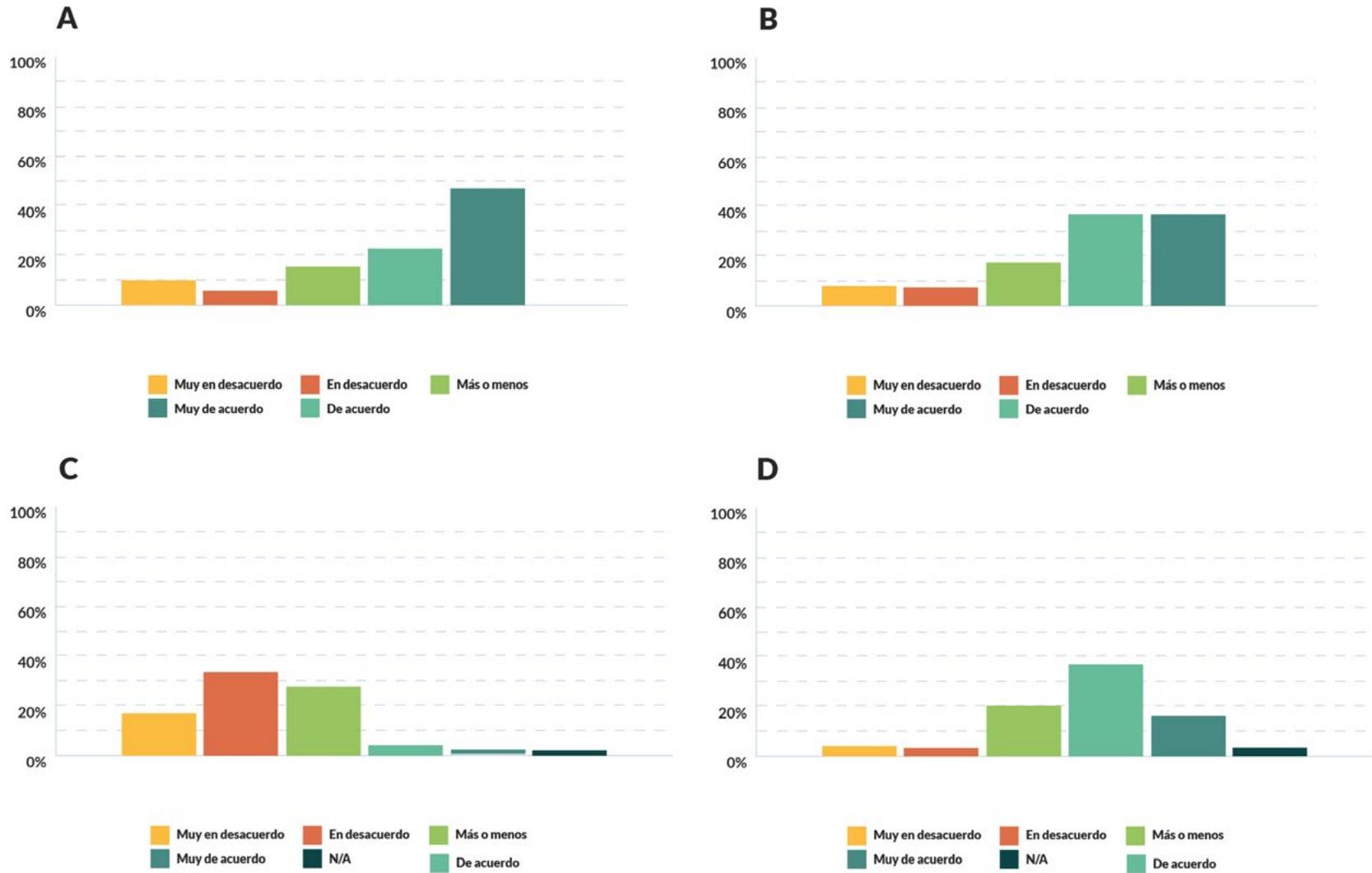


Figura 4. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. Las certificaciones de buenas prácticas acuícolas incrementan el valor de los productos. B. Las certificaciones de buenas prácticas acuícolas incrementan la comercialización de los productos. C. La actividad acuícola provoca daños ambientales superiores a otras actividades agroalimentarias. D. La actividad acuícola contribuye a alcanzar los ODS.

4. Marco legal

En el capítulo III de este diagnóstico, se identifican vacíos clave que deben ser atendidos para impulsar la actividad acuícola e incluir una definición general adecuada y una tipología que permita integrar las variantes (e.g. acuicultura para la restauración de pesquerías, acuicultura multitrófica integrada).

México cuenta con proyectos acuícolas que integran la participación y la organización social con un arreglo de herramientas de manejo pesquero y acuícola (zonas de manejo integral, refugios pesqueros, permisos y concesiones) para la restauración de especies mediante el cultivo (<https://panorama.solutions/es/building-block/zonas-de-manejo-integral-una-herramienta-para-restaurar-las-pesquerias-de-almejas-y>). Estos ejemplos, en conjunto con proyectos de cultivos multitróficos integrados en el Pacífico Sudcaliforniano y el maricultivo de peces en aguas abiertas, son oportunidades que pueden dirigir el desarrollo sustentable de la actividad (.).

La falta de un reglamento de la LGPAS es una de las incongruencias más relevantes y la necesidad que destaca entre las necesidades de legislación. Actualmente, la burocracia para que los productores inicien sus proyectos acuícolas es muy grande y ello limita no solo el crecimiento de la actividad, sino que incentiva la ilegalidad, considerando la baja capacidad y presencia de las instituciones federales de pesca. Los encuestados opinaron que la aplicación de sanciones por violar las leyes actuales no se aplica de manera eficiente y es insuficiente para garantizar un desarrollo sustentable (Fig. 5B).

En materia de acceso a tierra (uso de suelo), agua y energía, en el capítulo III se analizó la necesidad de vincular las leyes (Ley Agraria, Ley de Aguas Nacionales y Ley de Energía para el Campo) para generar las condiciones que garanticen los derechos de los productores acuícolas, el acceso al uso de agua en un orden de prelación mayor al actual y los precios de combustibles y energía similares a los que se ofrecen a otros productores agroalimentarios. Esto fue consistente con la percepción de los encuestados y sus opiniones para mejorar el marco legal, con la finalidad de dar mayor certidumbre y permitir la atracción de inversiones, permanencia y desarrollo de la actividad acuícola (Fig. 5D).

El marco institucional y la legislación mexicana son amplios. Sin embargo, la aplicación es difusa, ineficiente y variable en función de los periodos de gobierno (Celaya Tentori *et al.*, 2018). Las instituciones que administran y manejan la acuicultura son las mismas que administran la pesca. Aunque las actividades son de naturaleza muy distinta, suelen agruparse, lo que no permite visibilizar las necesidades y ha contribuido a generar una burocracia compleja y una administración deficiente (Martínez-Martínez *et al.*, 2016). Diversos estudios han valorado la necesidad de regresar al sector ambiental a las instituciones que administran la pesca, pues las evaluaciones institucionales que se han realizado han demostrado las deficiencias internas y los resultados negativos del sector acuícola-pesquero y el estado de los recursos naturales (Aguilar Ramírez, 2019). Los encuestados respondieron de manera consistente (61%) en cuanto al desempeño y la eficiencia de las instituciones en la administración y el manejo de la acuicultura nacional (Fig. 5D).

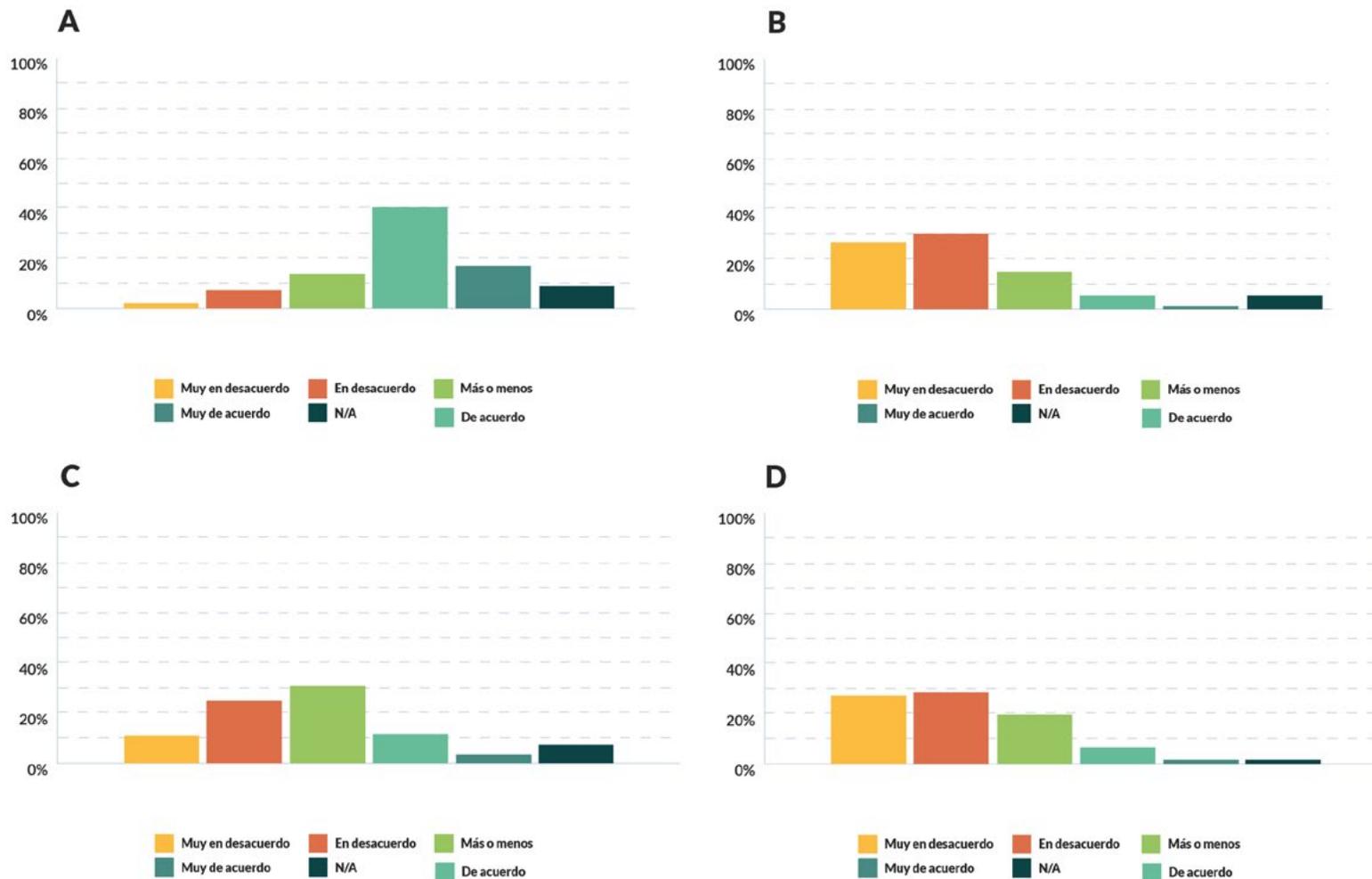


Figura 5. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones:

A. La definición actual de acuicultura en la LGPAS incluye todas las formas de la actividad en México (artículo 4. Acuicultura: Es el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, preengorda y engorda de especies de la fauna y flora realizadas en instalaciones ubicadas en aguas dulces, marinas o salobres, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamental o recreativa). B. Las sanciones por violar las leyes que regulan la actividad acuícola se aplican eficientemente. C. Las leyes mexicanas actuales favorecen la inversión para el desarrollo de la actividad acuícola. D. La estructura de las instituciones que administran y gestionan la acuicultura es adecuada y eficiente.

5. Relación de la acuicultura con la pesca

A nivel mundial, la acuicultura se ha posicionado como una de las principales actividades para la producción de alimentos de alta calidad y una alternativa viable para asegurar alimento y empleo a las comunidades costeras. Una de las preocupaciones es cómo afectará a otras actividades con las que se comparten recursos y mercado. En el capítulo V, se aborda este componente y en las encuestas y las entrevistas realizadas se preguntó a los participantes cuál es su percepción. En general, hay consenso en cuanto a que la importancia de la producción acuícola será cada vez más alta y que será complementaria a la actividad pesquera y otros sectores productivos para alimentar a la población actual y del futuro. El desarrollo de la actividad acuícola depende del acceso a energía, agua, suelo, que sin la correcta planeación puede generar conflicto social en otros sectores (e.g. turismo, agricultura, desarrollo urbano) y en el medio ambiente (e.g. destrucción de hábitats costeros-marinos, invasión de especies exóticas).

312

La administración y el manejo de la acuicultura nacional se han regido por las mismas instituciones y el marco legal que la pesca. Sin embargo, en la práctica, ambos ramos enfrentan retos muy diferentes y algunas de las interacciones que se han descrito implican la competencia y/o sustitución de los productos que generan y ofrecen en el mercado. En el capítulo V, se analizan de manera profunda estas interacciones, resaltando la necesidad de crear estrategias integrales para controlar los precios, mejorar la oferta de productos y operar de manera complementaria. La percepción general en cuanto al futuro de la acuicultura nacional es que será clave para la soberanía alimentaria nacional, en conjunto con la pesca. Sin una estrategia adecuada, pudiera incentivarse una competencia de productos pesqueros y acuícolas (Valderrama y Anderson, 2010).

Las personas encuestadas reconocen que la interacción pesca-acuicultura puede ser complementaria para satisfacer la demanda nacional e internacional (Fig. 6A). A futuro, el grupo percibe que los productos acuícolas desplazarán a los originados por capturas (Fig. 6B) y que la acuicultura aportará la mayor proporción de pescados y mariscos a nivel nacional en 2030 (Fig. 6C). De acuerdo con

las proyecciones realizadas por la FAO (2020), la acuicultura mexicana crecerá más de 40% entre 2018 y 2030 y la pesca no tendrá un crecimiento importante. Los datos refuerzan la idea sobre la importancia que, se estima, tendrá el cultivo para la seguridad alimentaria (Costello *et al.*, 2020). Al respecto, la opinión de los expertos del país que fueron encuestados es coincidente (Fig. 6D). Además, hay una percepción generalizada de que los productos acuícolas compiten en el mercado nacional (Fig. 7), la cual es concurrente con los análisis realizados por Clavelle *et al.* (2019) y Natale *et al.* (2013). La competencia se basa principalmente en el control que ejerce la acuicultura al mantener los volúmenes de producción en comparación con la variabilidad de los volúmenes producidos por la captura.

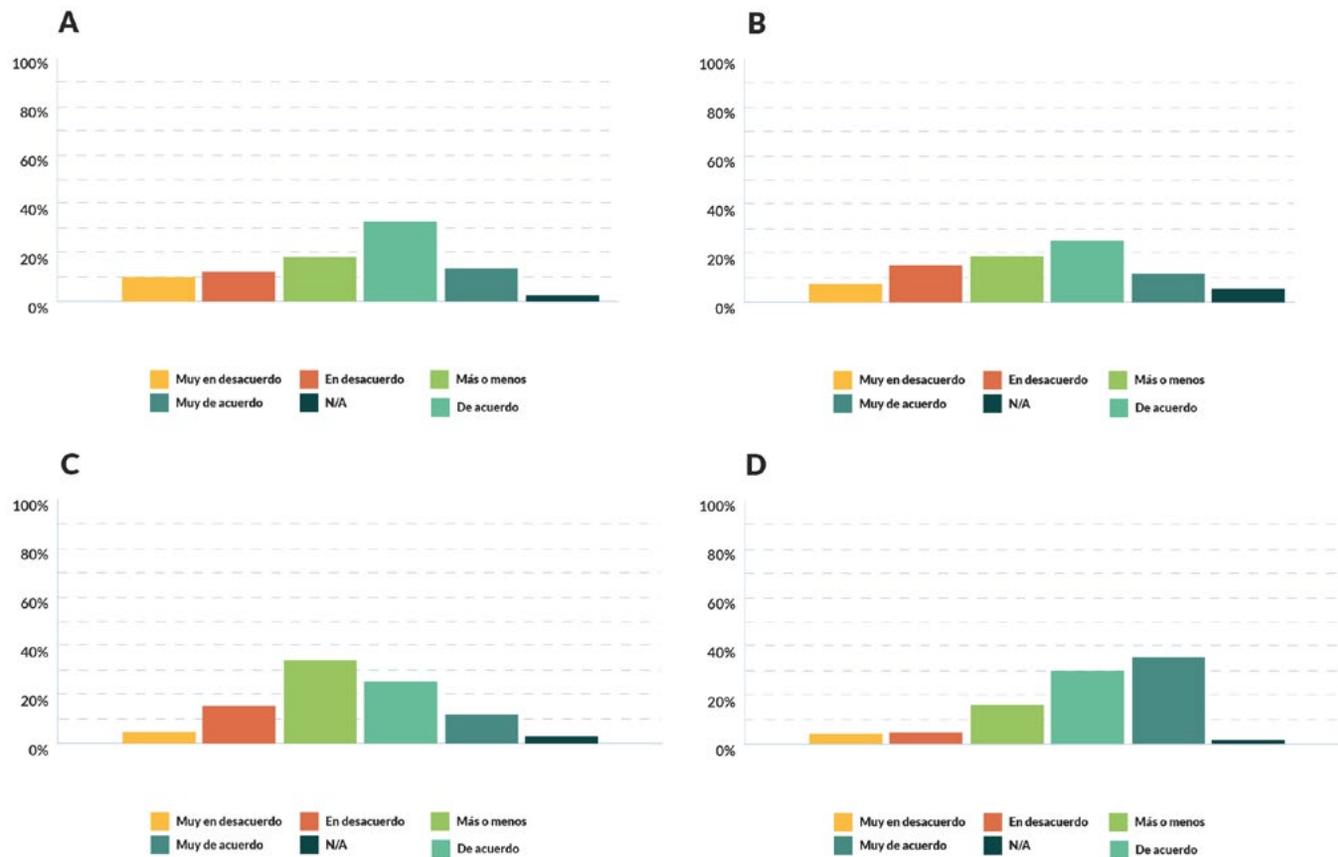


Figura 6. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. La producción acuícola en México complementa la producción pesquera para satisfacer la demanda nacional e internacional. B. La producción acuícola desplazará la actividad pesquera en el futuro. C. La acuicultura será la actividad que aporte la mayor proporción de pescados y mariscos en México para 2030. D. La producción acuícola es clave para la soberanía alimentaria del país.

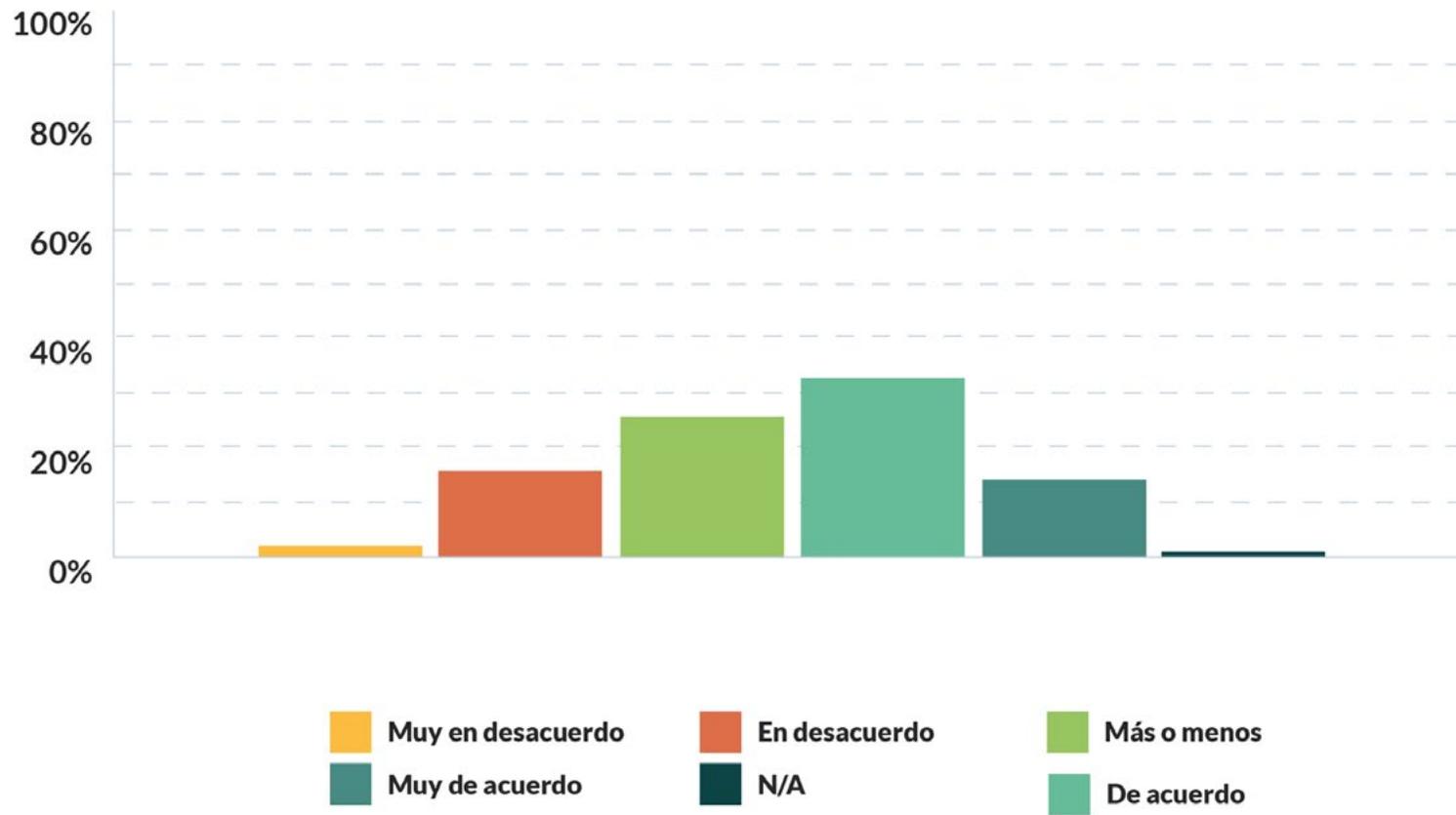


Figura 7. Respuestas agregadas de los encuestados sobre la siguiente afirmación: Los productos acuícolas compiten en el mercado con los productos pesqueros.

6. Cambio climático

Los impactos del cambio climático en la acuicultura varían en función del tipo de cultivo, su ubicación y las características biológicas de las especies objetivo. En sistemas controlados, estas variaciones pueden contenerse mediante la inversión tecnológica; aun cuando implica un mayor costo de producción, se puede mantener la rentabilidad mediante una buena planeación financiera. Las especies cultivadas en agua salobre o marina de los litorales mexicanos enfrentan diferentes impactos relacionados con el cambio climático, como la acidificación, el incremento de temperaturas, la proliferación de patógenos, la mayor frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas, la hipoxia y las mareas rojas. Los acuicultores muchas veces pierden sus producciones debido a alguno o varios de estos factores, situación que podría preverse mediante el análisis previo para establecer una granja o cultivo, la selección de la especie objetivo y la implementación de sistemas de alerta temprana y planes de mitigación de impactos. En la encuesta, se observa una percepción generalizada de que el cambio climático ya tiene un efecto en las producciones y que más de un evento anualmente afecta sus instalaciones y, finalmente, la producción.

La principal actividad acuícola y de mayor valor en México es la producción de camarón, seguida de los cultivos de bivalvos, peces marinos y especies de agua dulce (CONAPESCA, 2018). Los efectos del cambio climático en estas especies varían principalmente en cuanto al tipo de cultivo y su ubicación (Fig. 8). Por ejemplo, en las regiones tropicales del país, el incremento de la intensidad y frecuencia de los huracanes ya ha causado daños a la infraestructura acuícola para el cultivo de ostión y peces marinos (*e.g.* Veracruz, Tamaulipas, Nayarit, Baja California Sur) (Flores Nava, 2010). El fenómeno es consistente con la opinión de los encuestados, ya que 65% y 76% mencionaron, respectivamente, estar de acuerdo en que en un mismo año son afectados por diferentes factores relacionados con el cambio climático (Fig. 8A) y por más de una variable durante un ciclo anual (Fig. 8B). Por ejemplo, en Baja California Sur, las bajas concentraciones de oxígeno (hipoxia), la alta temperatura y la proliferación de algas nocivas pueden causar la pérdida de cultivos de bivalvos y peces marinos.

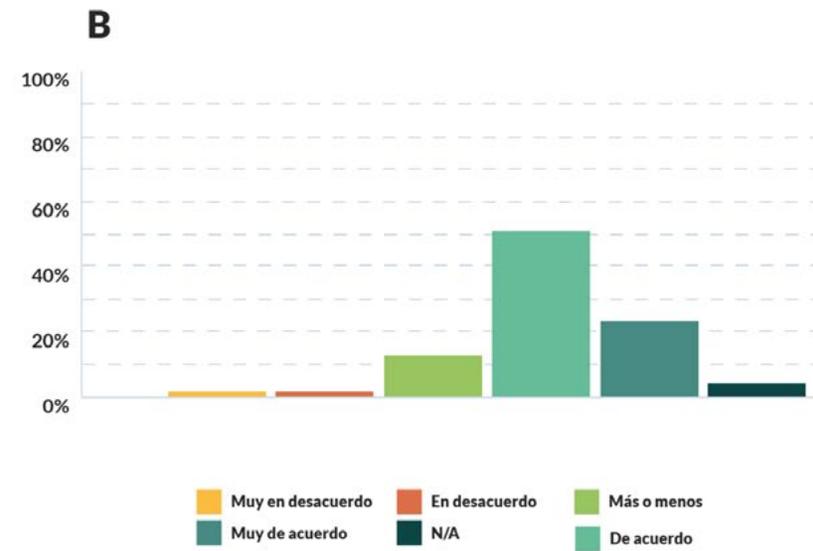
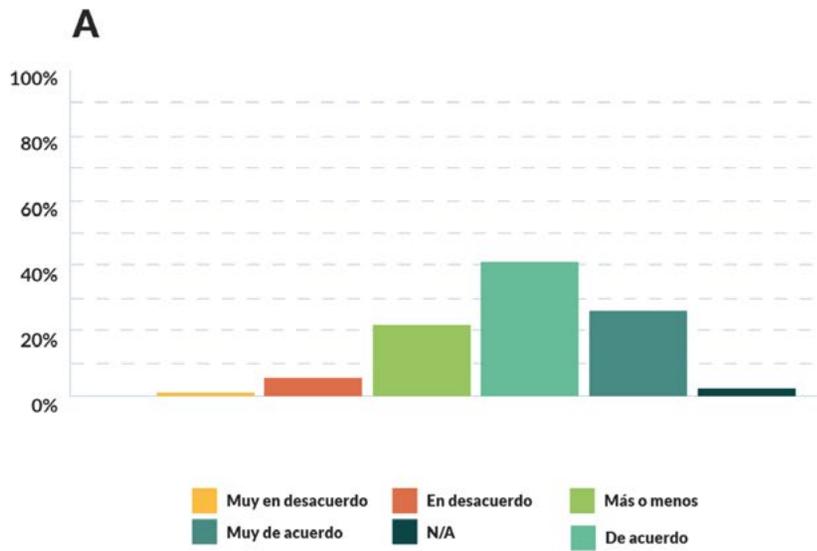


Figura 8. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. El cambio climático afecta mucho el desempeño de la actividad acuícola. B. En un mismo año, son múltiples factores climáticos los que afectan la producción acuícola.

7. Fondos destinados a la acuicultura y seguros financieros

Como se estudió en el capítulo II, que trata sobre las opciones de financiamiento de las operaciones acuícolas, es evidente la dificultad que tienen los pequeños productores para acceder a fondos de inversión, créditos y seguros que les ayuden a enfrentar riesgos ante el impacto de fenómenos naturales, por lo que es necesario, desde la perspectiva gubernamental, generar los mecanismos para cerrar esa brecha y que el pequeño productor acceda a financiamiento con mejores condiciones que incentiven el emprendimiento y permitan el escalamiento de los proyectos. El gobierno mexicano ha designado fondos para atender parcialmente estas necesidades. Fomentar la asociación entre productores es clave para buscar esquemas cooperativos que faciliten el acceso a recursos financieros y sean atractivos para las empresas. En la encuesta realizada, hay una opinión diferencial sobre la contribución de los fondos públicos para el desarrollo de la acuicultura nacional: 36% de los encuestados se expresó de manera ambigua (“más o menos”) respecto al asunto, 39% dijo estar “de acuerdo” y 25% dijo estar “en desacuerdo” (Fig. 9A). En cierta medida, las diferencias pueden deberse a la percepción de los diferentes actores (gobierno, academia y productores), ya que, para algunos cultivos (e.g. jurel, totoaba), la mayoría de los fondos provienen de capital privado, mientras que otras especies cultivadas, como la trucha, la tilapia y el camarón, han tenido mayor apoyo gubernamental en ciertos periodos. La respuesta fue consistente si observamos la figura 9B, en la que el sesgo tiende hacia la derecha de la distribución. El productor sabe cuánto invierte y con qué tipo de fondos realiza su actividad; la desventaja es que esta información no está disponible en una plataforma de datos accesible. La percepción de los otros sectores puede estar sesgada por la falta de información pública en cuanto a los fondos privados destinados a la infraestructura y el desarrollo acuícola, en comparación con los apoyos de gobierno, que sí son datos públicos.

Durante el taller realizado con productores, académicos y sociedad civil, se identificó la necesidad de facilitar el acceso a apoyos económicos para los productores, ya sean subsidios o financiamiento privado. En cuanto a fondos para enfrentar impactos climáticos, solamente 10% de los encuestados que respondieron la encuesta manifestaron contar con ellos (Fig. 10A), mientras que 60% manifestó

que no es fácil acceder a opciones de financiamiento para impulsar la actividad (Fig. 10D). En muchos casos, las alternativas financieras son desconocidas o constituyen procesos complejos que implican mecanismos financieros poco conocidos o aplicados en el sector. Sin embargo, para una de las alternativas menos populares, como la inversión de impacto, 46% de los encuestados manifestó que es una opción accesible (Fig. 10B). Finalmente, también se identificó la necesidad de que la autoridad facilite o promueva algún tipo de seguro público para enfrentar los efectos de tormentas, huracanes, terremotos y otros eventos naturales que pongan en riesgo la infraestructura. Aunque los encuestados reconocieron que la mayoría no cuenta con seguros financieros (Fig. 10A), 56% de ellos confirmaron que sí es una alternativa financiera eficiente para enfrentar impactos relacionados con el clima (Fig. 10C).

318

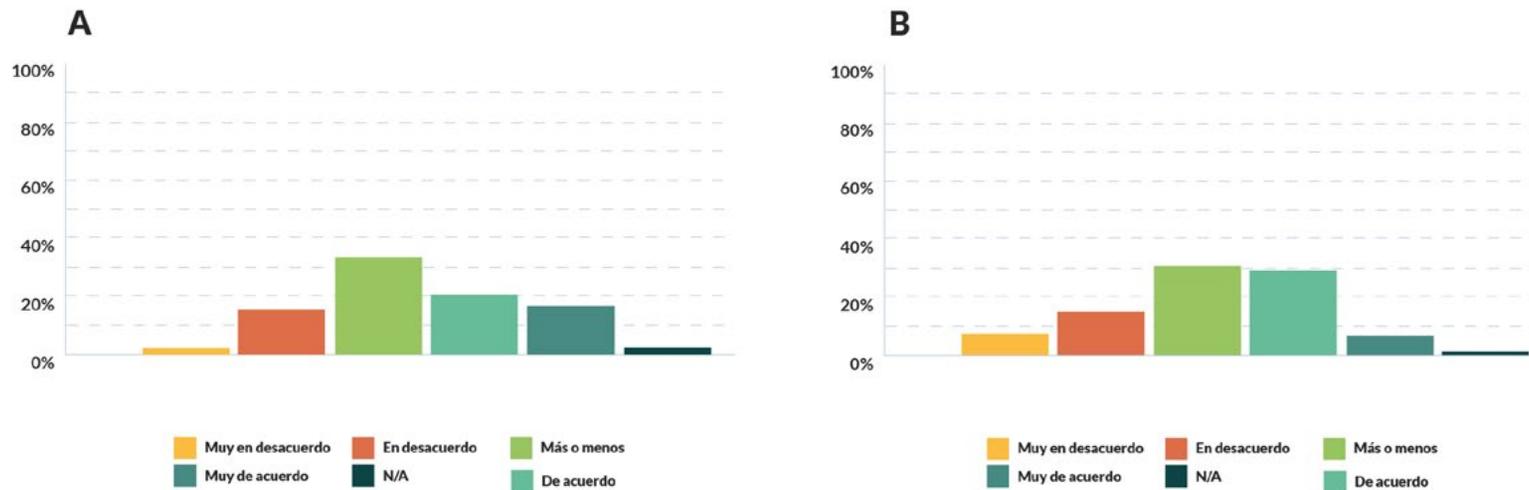


Figura 9. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. Los fondos destinados al desarrollo acuícola en México provienen principalmente del gobierno. B. Los fondos destinados al desarrollo acuícola en México provienen principalmente de empresas privadas.

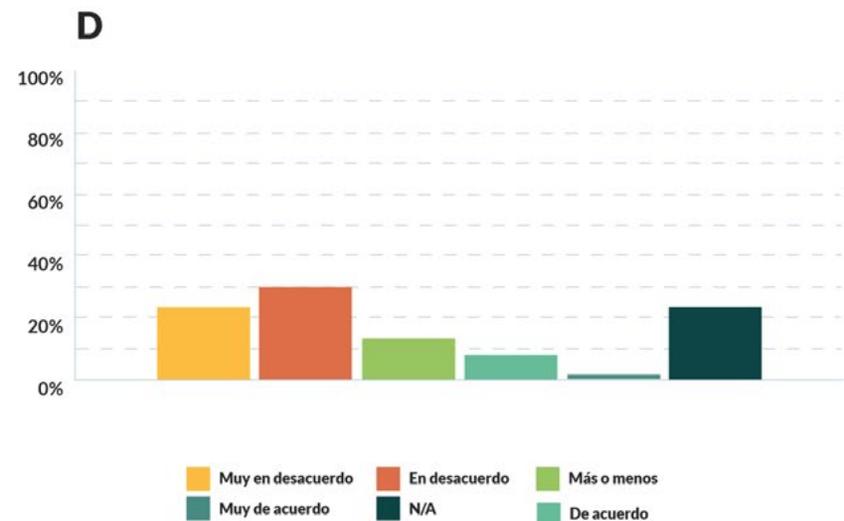
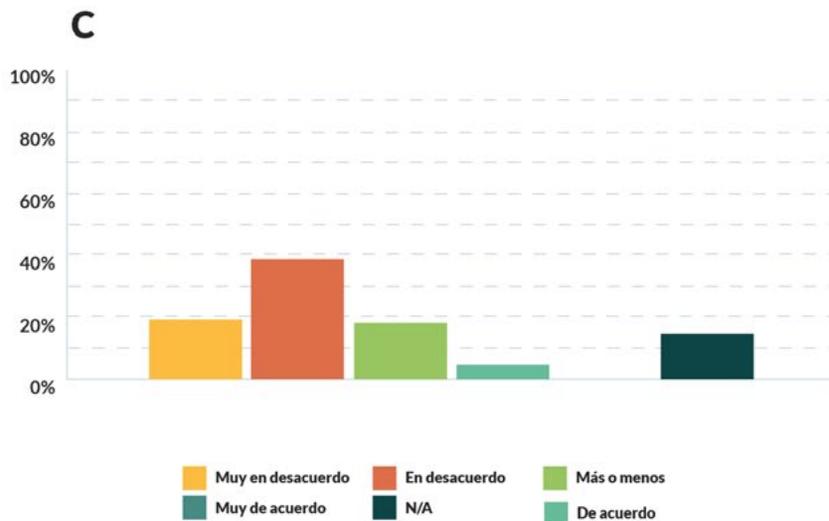
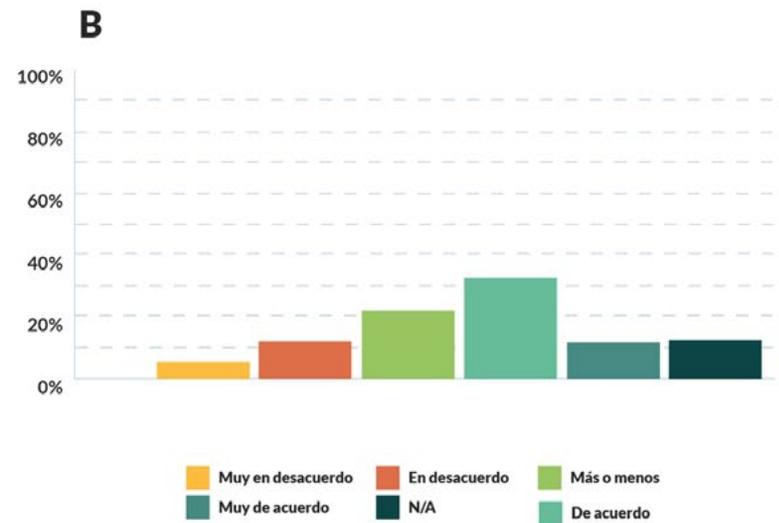
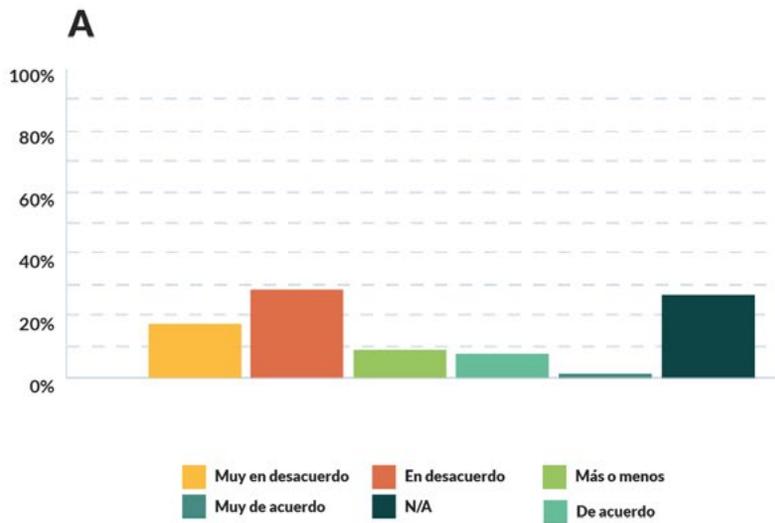


Figura 10. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. Tengo acceso a apoyos económicos que permiten la recuperación de cultivos ante impactos climáticos. B. Las inversiones de impacto son una opción accesible para el desarrollo acuícola en México. C. Los seguros financieros son una medida eficiente para atender impactos ambientales (huracanes y enfermedades) a los cultivos. D. Es sencillo acceder a las alternativas financieras para el desarrollo acuícola.

8. Impacto del COVID-19

En marzo de 2020, al inicio de la elaboración de este diagnóstico, se emitió una alerta global por el impacto de un virus novedoso (SARS-CoV-2) que ha provocado la muerte de más de 440 millones de personas en todo el mundo, incluyendo 5.7 millones de personas contagiadas y más de 300,000 defunciones hasta el inicio de marzo de 2022.

En ese entorno, los efectos sobre la acuicultura a nivel mundial han variado según las regiones, las especies, los mercados y la capacidad financiera de las granjas. Con la suspensión de vuelos internacionales, las exportaciones se detuvieron y la demanda en general sufrió una disminución, debido al cierre de restaurantes y comedores concurridos (Minahal et al., 2020). Sin embargo, después de un año de pandemia, la capacidad de respuesta del sector acuícola, así como los mercados fue aumentando para satisfacer la demanda mediante la implementación de nuevas tecnologías, herramientas de detección para el COVID y protocolos de seguridad para enfrentar la situación, dando como resultado una disminución importante en los efectos negativos de la pandemia (FAO 2021).

320

En este contexto, 60% de los productores que respondieron la encuesta confirmaron que sufrieron impactos negativos en la comercialización de sus productos, por la contingencia sanitaria (Fig. 11 A). En general, uno de los principales efectos fue la interrupción de la comercialización, por lo que los productores no pudieron vender su cosecha y han tenido que mantener grandes cantidades de peces vivos, circunstancia que ha aumentado costes y riesgos (e.g. mortalidad, enfermedades), en particular cuando el suministro de los insumos (alimento) también se ha interrumpido. 40% de los productores encuestados confirmó este efecto en sus granjas; por ejemplo, en el caso de los jureles (*Seriola rivoliana*) de Baja California Sur, a los que se les provee diariamente más de seis toneladas de alimento (Vázquez-Arce, comunicación personal, 15 de octubre de 2020).

A nivel internacional, algunos gobiernos apoyaron a los productores acuícolas mediante la distribución de apoyos económicos o la

activación de seguros. En México, se habilitó un programa de apoyo económico directo (Bienpesca) para pescadores ribereños y de aguas continentales, tripulantes de embarcaciones mayores y trabajadores operativos de unidades de producción acuícolas ligados a UE pesqueras y acuícolas activas e inscritas en el RNPA. Solamente 7% de los productores encuestados confirmó haber recibido este apoyo (Fig. 11C).

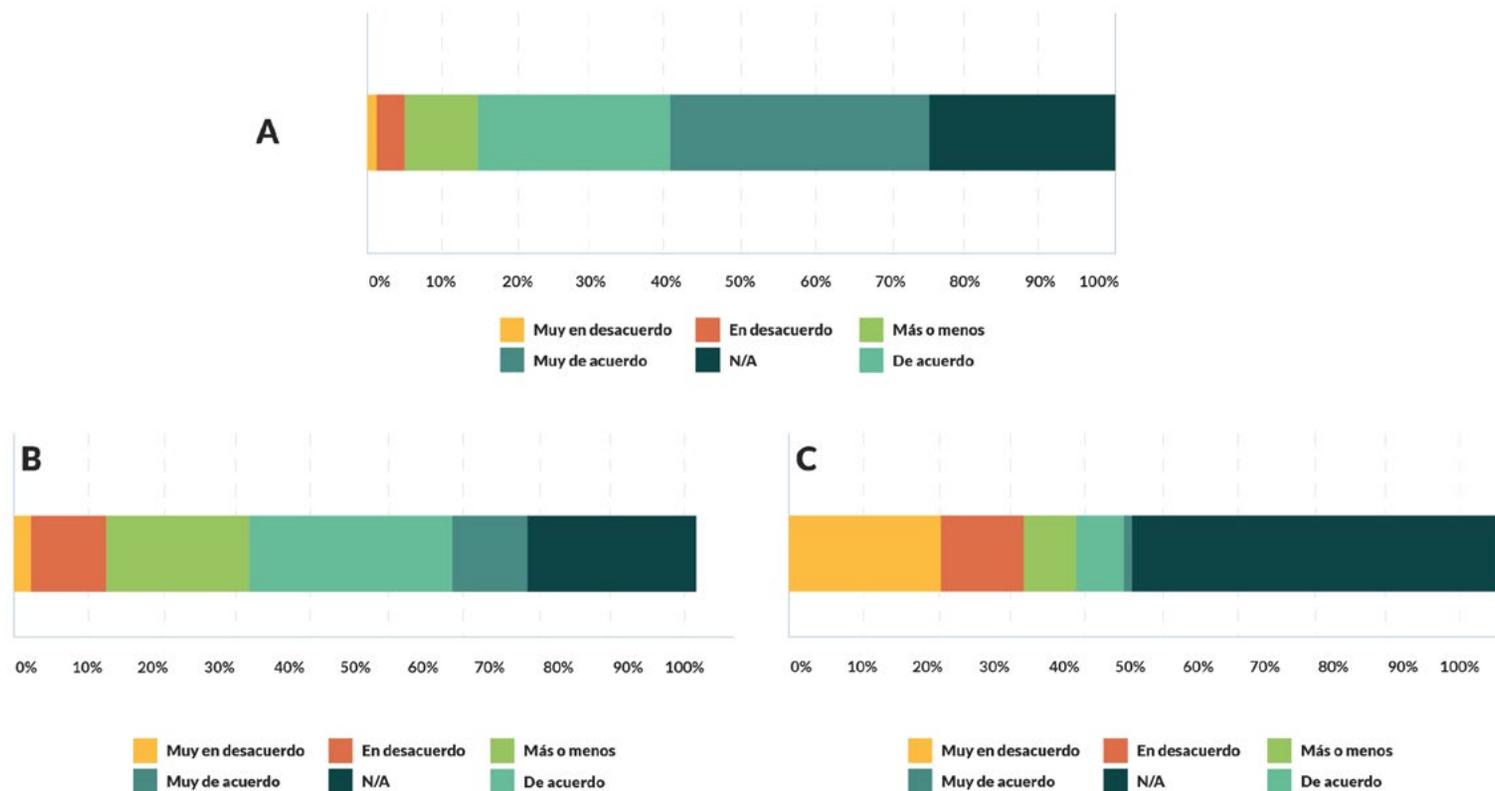


Figura 11. Respuestas agregadas de los encuestados sobre las siguientes afirmaciones: A. Debido a la contingencia sanitaria, (COVID-19) hubo efectos negativos en la comercialización de los productos. B. Debido a la contingencia sanitaria (COVID-19), los gastos operativos para mantener la producción acuícola se incrementaron. C. Debido a la contingencia sanitaria (COVID-19), recibí apoyo de gobierno (Bienpesca y otros).

9. Retos

El cultivo de peces, invertebrados, anfibios, plantas y algas en México enfrenta varios retos que han sido revisados por diferentes estudios (Garza de Yta, 2017; Norzagaray Campos et al., 2012), haciendo un particular énfasis en las políticas públicas que permiten que el sector se desarrolle. A pesar de la burocracia, la tasa de crecimiento promedio de la producción acuícola entre 2016 y 2018 fue de 6%, que es superior al 3.6% mundial (Banco Mundial, 2020; CONAPESCA, 2018). Las cifras pueden ser alentadoras en cuanto al interés de más personas para cultivar y generar ingresos mediante el cultivo de organismos acuáticos, aunque es desalentador considerando las omisiones que supone una política de Estado con múltiples leyes e instituciones, pero sin las capacidades de vigilar su cumplimiento. Se estima que 25% de los productores acuícolas no están registrados (CONAPESCA, 2018), lo que implica no solo la generación de empleo informal, sino la falta de control del uso de recursos destinados para el cultivo y la consecuente gestación de un problema social y ecológico en el mediano y largo plazo (SAGARPA-IICA, 2019).

322

La economía es impulsada por la capacidad de producir más y mejores bienes para un mayor número de gente; en este caso, la acuicultura ya ha demostrado, a nivel mundial y nacional, que es capaz de impulsar la economía y el bienestar social (FAO, 2020). En la actualidad, un kilo de producto acuícola mexicano vale entre cinco y seis veces más que un kilo de producto de la pesca (capítulo I).

Una muestra de la poca efectividad de la política nacional es la conversión de oportunidades rentables en problemas sociales y ambientales. Como ejemplo, basta observar el valor en el mercado del buche de la especie pesquera totoaba (*T. macdonaldi*), estimado en 160,000 pesos por kilo a precio de playa, que alcanza una cotización de hasta 1.2 millones de pesos por kilo en Asia. En lugar de aprovechar las condiciones, se han producido consecuencias sociales perjudiciales que han derivado en pérdida de vidas humanas, incremento de violencia e intervención del crimen organizado, cesión de atribuciones del Estado para la vigilancia a organismos extranjeros y degradación ambiental, como ha ocurrido con la vaquita marina (*Phocoena sinus*), que se encuentra al borde de la extinción. La totoaba y huachinango que produce la empresa Earth Ocean Farms, en Baja California Sur, están a la vanguardia en la maricultura mexicana,

una alternativa para la recuperación de las poblaciones silvestres y un producto de alta calidad que enfrentó una legislación incapaz de favorecerla, debido a que es una especie enlistada en la NOM-059, de especies endémicas en riesgo y que no pueden ser comercializadas fuera del país (DOF, 2019a). Esta situación cambió en marzo de 2022 después de que el Comité Permanente de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) votó a favor para permitir que Earth Ocean Farms (EOF), una instalación de acuicultura en México, participe en el comercio internacional de peces totoaba criados en cautiverio. Si bien, será clave generar los mecanismos de vigilancia para evitar que las empresas comercializadoras no cedan a la presión de las actividades ilegales, la acción representa una oportunidad importante para el sector.

Los efectos de una política de Estado poco efectiva se reflejan en la situación de la acuicultura mexicana, que depende enteramente del ingenio del productor para sortear las trabas y lograr el éxito pese a la baja probabilidad de éxito, que muchas veces solo será alcanzado por quien dispone de un gran capital social y económico. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024 y el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024, en los próximos años se dará un gran impulso a la acuicultura rural (DOF, 2019b, 2020a, 2020b). Si bien es un primer paso para poner en la agenda a los menos beneficiados en términos económicos, la acuicultura depende de un nivel de profesionalización alto, así como de una inversión constante en ciencia y tecnología, para lo cual nuestro país se mantiene en el rezago y tomará más de cuatro años consolidar una primera generación de profesionistas y un plan de desarrollo basado en ciencia y tecnología que ayude a definir políticas para la comercialización y el desarrollo de la actividad acuícola.

La descripción anterior puede resultar áspera para las instituciones de gobierno, mas no para su gente, que labora y opera con financiamiento básico y enfrenta retos mayúsculos. La participación de la sociedad civil, la organización del sector acuícola, el manejo integral de la pesca y la acuicultura apoyado en instituciones académicas capaces es crucial.

De los 102 participantes encuestados, incluyendo representantes de gobierno, al clasificar de mayor a menor los retos del sector

acuícola, una tercera parte coincidió en que la burocracia asociada con el emprendimiento de la acuicultura nacional es uno de los principales, 21% consideró que comercializar los productos es el siguiente, 11% identificó en el acceso a la ciencia y tecnología un tercer desafío. Siguen otras categorías ligadas al uso de agua, el marco legal, las certificaciones de buenas prácticas y los impactos del cambio climático (Fig. 12).

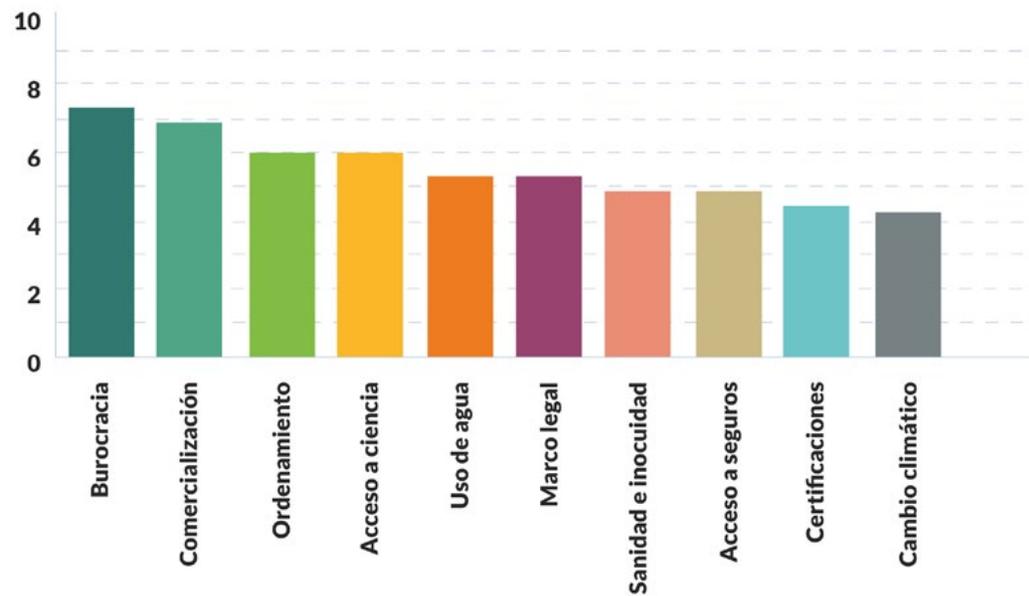


Figura 12. Retos del sector acuícola identificados por los encuestados (académicos, productores, representantes de gobierno, integrantes de la sociedad civil organizada y pescadores).

10. Conclusiones

A continuación, se sintetiza la percepción de diferentes actores que integran el sector acuícola, con predominancia de académicos, productores y representantes de gobierno, derivada del estudio realizado. En general, se reconoce la importancia de atender tres puntos centrales: burocracia, comercialización y ordenamiento. La percepción de los retos puede ser diferencial entre actores, aunque hay un grado de consenso en la mayoría de los temas que fueron revisados durante el taller, las entrevistas y las encuestas.

o

- Burocracia (administración): Los principales retos reconocidos radican en la administración de la acuicultura y la burocracia asociada para realizar la actividad. Todos los actores coinciden en necesidades clave, que ponen en evidencia un terreno dispar para los diferentes tipos de productores; por ejemplo, los altos costos de los trámites requeridos (manifestación de impacto), la falta de claridad en los procesos, la carencia de alternativas financieras y la poca vinculación de las instituciones para dar garantía a los emprendedores acuícolas.

- El segundo punto más relevante es el reto de la comercialización de los productos y agregar valor en el procesamiento. La producción nacional podría satisfacer la demanda y contribuir a reducir las importaciones si se invierte en la promoción de los productos y en el procesamiento para ofrecer las alternativas que busca el consumidor.

- El tercer punto relevante es el ordenamiento de la actividad. La acuicultura se realiza en casi la totalidad del territorio nacional. En algunas entidades se realiza con mayor intensidad (Sonora y Sinaloa), las especies cultivadas que son más rentables tienen espacios bien definidos y hay muchos esfuerzos atomizados que pueden entrar en conflicto con otras actividades que dependen de recursos y ambientes comunes (agua, suelo, zonas costeras, marismas) que necesitan ser ubicados de manera integral. El potencial acuícola de México podrá alcanzarse de manera sustentable mediante la planeación integral estratégica, el ordenamiento, la profesionalización y la implementación de mecanismos financieros que puedan detonar un crecimiento inteligente que tenga resultados justos con los ecosistemas y la sociedad.

- El acceso a la ciencia y tecnología es clave para lograr el desarrollo de la acuicultura en México. Fomentar la asociatividad y la vinculación entre los actores son algunas de las acciones particulares sugeridas para poder enfrentar los retos en materia normativa y legal.

- El impacto del COVID-19 en la comercialización de los productos ha sido negativo. Las principales consecuencias de la interrupción de la demanda y la cadena productiva en el sector acuícola es el incremento de costos para mantener a los organismos o procesarlos para posteriormente venderlos. Aún estamos conociendo los efectos que la pandemia tendrá en el sector acuícola y pesquero; las alternativas aún no son claras, pero algunas opciones podrían ser la promoción y la comercialización de productos dentro del país y garantizar la seguridad alimentaria.

326

- Crear reglas y normas basadas en ciencia que puedan orientar el desarrollo acuícola es fundamental para asegurar un crecimiento ordenado, con un diseño inteligente que busque la rentabilidad de las operaciones y los esfuerzos de los productores, a la vez que minimiza los impactos ambientales.

11. Referencias

- Aguilar Ramírez, D. (2019). Lineamientos de política pública para el desarrollo y crecimiento de la pesca y acuicultura en México y bienestar del sector. Sindicato Democrático de Trabajadores de Pesca y Acuicultura de la SADER.
- Celaya Tentori, M. y Almaraz Alvarado, A. (2018). Recuento histórico de la normatividad pesquera en México: un largo proceso de auge y crisis. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(16). México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457654930004>.
- Clavelle, T., Lester, S. E., Gentry, R. y Froehlich, H. E. (2019). Interactions and management for the future of marine aquaculture and capture fisheries. *Fish and Fisheries*, 20(2), 368-388. <https://doi.org/10.1111/faf.12351>.
- CONAPESCA (2018). Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura 2018. México, SAGARPA.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., Plantinga, A. J., Thilsted, S. H. y Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95-100..
- DeWalt, B. R., Ramírez Zavala, J.R., Noriega, L. y González, R. E. (2002). Shrimp aquaculture, the people and the environment in coastal Mexico. World Bank, World Wildlife Fund, Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, FAO. Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.
- DOF(2019a). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Publicado el 14 de noviembre de 2019.
- (2019b). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado el 12 de julio de 2019.

– (2020a). Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. Publicado el 30 diciembre de 2020.

– (2020b). Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024. Publicado el 25 de junio de 2020.

FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

– (2021). The impact of COVID-19 on fisheries and aquaculture – A global assessment from the perspective of regional fishery bodies: Second assessment – November 2020. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb5269en>

Flores Nava A. (2010). Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio climático en México: un enfoque costero y marino (pp. 319-334). Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.

328 Garza de Yta, A. (2017). Once upon a time in Mexico... Challenges for mexican aquaculture. *World Aquaculture*, 48(3), 18-23.

Martínez-Martínez S. T. y González-Laxe, F. (2016). La construcción de la política pesquera en México. Una mirada desde el campo geográfico. *Atlantic Review of Economics*, 2.

Minahal, Q., Munir, S., Komal, W., Fatima, S., Liaqat, S. y Shehzadi, I. (2020). Global impact of COVID-19 on aquaculture and fisheries: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8 (60), 42-48.

Natale, F., Hofherr, J., Fiore, G. y Virtanen, J. (2013). Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*, 38, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.037>.

Norzagaray Campos, M., Muñoz Sevilla, P., Sánchez Velasco, L., Capurro Filograsso, L. y Llánes Cárdenas, O. (2012). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *Revista AquaTIC*, (37), 20-25. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/119>.

Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S. R. y Ruiz-Fernández, A. C. (1998). The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal

pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 36(1), 65-75. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90035-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90035-2).

SAGARPA-IICA (2019). El sector pesquero en México descrito a partir de la Encuesta Nacional de Pesca y Acuicultura 2016. México. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de https://www.academia.edu/38373761/IICA_EL_Sector_Pesquero_en_Mexico_Feb_14_2019_pdf.

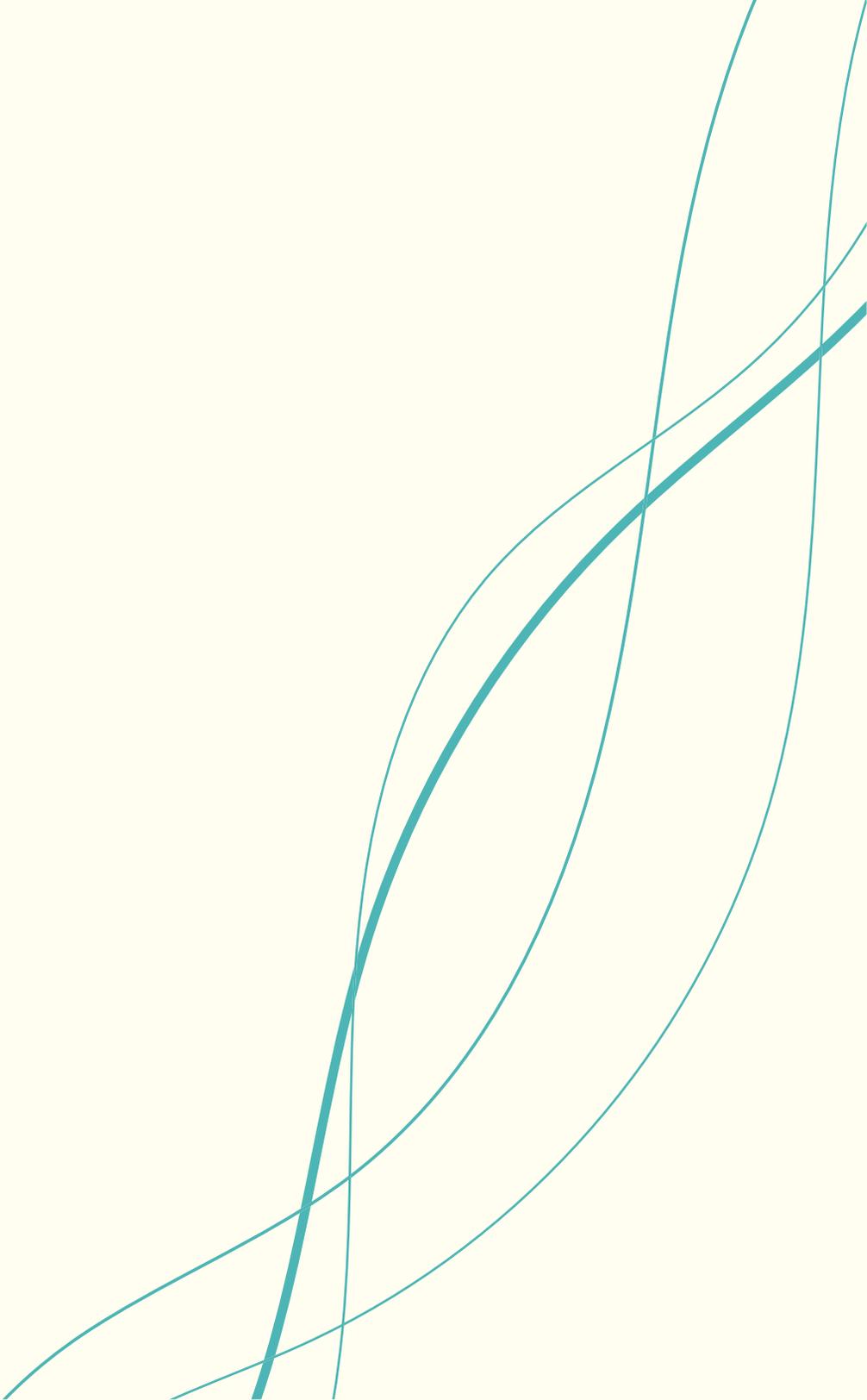
Sakai, Y., Yagi, N. y Sumaila U. R. (2019). Fishery subsidies: the interaction between science and policy. *Fisheries Science*, 85, 439-447.

Unzueta Bustamante, M. L. (2010). Acuicultura en México: Situación actual y retos futuros. *Avances en Nutrición Acuícola*. <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/120>.

Valderrama, D. y Anderson, J. L. (2010). Market interactions between aquaculture and common-property fisheries: Recent evidence from the Bristol Bay sockeye salmon fishery in Alaska. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59(2), 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.12.001>.

IX. Recomendaciones finales

Leonardo Vázquez-Vera



1. La acuicultura en México

El cultivo de organismos acuáticos en México fue una actividad realizada con fines ceremoniales y religiosos en la época prehispánica, la cual se diluyó tras el encuentro con la cultura española. El interés de cultivar organismos renació a finales del siglo XIX, cuando la estructura normativa del país comenzó a fortalecerse y reconoció el potencial de la nación para el aprovechamiento de recursos pesqueros y acuícolas.

Aun cuando se identificó la importancia de la acuicultura, el país no contaba con la experiencia ni la tecnología suficiente para despuntar en el tema, de modo que las alianzas fueron claves para introducir las primeras especies de peces dulceacuícolas y las tecnologías que darían paso al inicio de la actividad acuícola. Sin embargo, cultivar organismos acuáticos no resultó tan relevante para la economía nacional, en parte porque la gran riqueza y abundancia de los mares mexicanos mantuvo a los gobiernos ocupados en administrar el aprovechamiento, dejando a la acuicultura como actividad complementaria. Por otro lado, las restricciones legales para el aprovechamiento de especies de gran valor cerraron la puerta al interés de productores acuícolas hasta que se reformó la Ley de Pesca en la década de 1990. La oportunidad de cultivar comercialmente las especies antes restringidas atrajo inversiones para el cultivo, entre las que destaca el camarón, que hoy posiciona al país como el séptimo productor más importante del mundo en cuanto a la especie, que depende 70% de la acuicultura.

En la actualidad, el sector acuícola mexicano está conformado por 56,250 personas (CONAPESCA, 2018),²¹ que operan 9,320 instalaciones acuícolas, distribuidas en todas las entidades federativas, para el cultivo de más de sesenta especies de peces, plantas, algas, anfibios y moluscos. Las principales especies que hoy se cultivan son el camarón, la tilapia, la trucha, el ostión, el atún, el bagre

²¹El cálculo está basado en factores que relacionan el número de personas por tipo de cultivo e instalación.

y la carpa. Entre 2005 y 2018, la acuicultura contribuyó, en promedio, con 12% (\pm desviación estándar 3%) de la producción anual combinada (pesca y acuicultura) de desembarques y aportó cerca de 40% del valor nacional de la producción conjunta, estimado en 36,000 millones de pesos al año.

2. Retos y oportunidades

A través de los ensayos de este diagnóstico, se tiene una perspectiva de los retos que enfrenta el desarrollo de la acuicultura mexicana. México cuenta con las instituciones y el marco legal para realizar el trabajo analítico en materia ambiental y autorizar o rechazar nuevos proyectos acuícolas, pero evaluar caso por caso es poco eficaz y propenso a la corrupción. El paso fundamental para que el desarrollo de la acuicultura nacional ocurra sin exacerbar los conflictos socioecológicos actuales es proveer a los futuros empresarios con directrices claras basadas en la planeación integral y objetivos que trasciendan los periodos de gobierno y sean revisados, actualizados de manera periódica integrando el conocimiento científico y tradicional de los diferentes actores involucrados.

Analizar la disponibilidad de recursos (*e.g.* agua, suelo, energía), identificar conflictos de uso, conocer el potencial acuícola y la capacidad de carga de los ecosistemas marino-costeros y dulceacuícolas del país es básico para definir una estrategia de crecimiento a futuro. Este proceso evitará llenar el país de estanques y tinas con la promesa de significar una alternativa económica, ya que, sin una estrategia financiera y de mercado definida para los productos, las empresas tienen garantizado el fracaso. Como se vio en el capítulo VIII (Voz de los actores en el sector acuícola), la comercialización de los productos es uno de los retos que enfrentan los empresarios después de superar las trabas administrativas y de un plan nacional para aceptar o no el cultivo de una u otra especie en cualquier región del país.

El marco institucional y legal en el cual operan los empresarios acuícolas es determinante para el crecimiento del sector y para que la actividad sea una alternativa económica viable no solo para un grupo reducido. Puntos críticos para el desarrollo de la actividad incluyen la revisión y la actualización de la LGPAS, a fin de precisar la definición de la acuicultura e incluir las diferentes modalidades de la actividad, cada una con distintos requerimientos y con distintos resultados. Para que la acuicultura tenga un crecimiento sostenible

debe estar basado en información científica con enfoque integral, cumpliendo tanto en lo económico como en lo social y ambiental. Una visión a futuro del modelo de crecimiento de la actividad acuícola debe reconocer e incorporar los métodos de restauración basados en el cultivo de especies clave para los ecosistemas, el maricultivo y opciones integrales como los cultivos multitróficos, zonas de manejo integral que incluyan herramientas legales para dar reconocimiento legal y oportunidades a más usuarios sin generar conflicto ni traslape de derechos.

El reglamento debió expedirse seis meses después de la publicación de la LGPAS (julio de 2007), como se indica en su artículo sexto transitorio. A la fecha, se continúa operando sin el reglamento actualizado, irregularidad que impide que dicha ley cumpla el objeto para el que fue creada, comprometiendo la sustentabilidad de los recursos marinos y costeros.

334

Otros puntos relevantes en materia normativa que ponen en desventaja a los emprendedores acuícolas es la tenencia de las tierras (Ley Agraria), la falta de mecanismos para dar garantías y beneficios a inversionistas y ejidatarios, el bajo nivel asignado al uso de agua para la acuicultura (Ley de Aguas Nacionales), aunque la actividad puede usar con más eficiencia el recurso hídrico que la agricultura, y la ausencia de evaluación adecuada de las regiones prioritarias a las que se pueda otorgar tarifas de consumo de energía preferenciales (Ley de Energía para el Campo) o mecanismos financieros que generen empresas rentables. El análisis necesario para considerar un cambio en el orden de prelación para el uso de agua debe incluir no solo el balance hídrico actual sino las proyecciones futuras además planear a nivel de cuencas y no por entidad federativa exclusivamente.

Internacionalmente, la acuicultura es considerada como una herramienta para proveer de alimento a una población creciente ante un clima cada vez más variable e incierto, garantizando proteína acuática de alta calidad, trabajo digno y economías vibrantes. Desde

las instituciones que administran la pesca y la acuicultura, existe interés, patente en el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura (2020-2024), de promover el desarrollo acuícola (DOF, 2019, 2020a, 2020b), objetivo que debe convocar a todos los actores del sector pesquero y acuícola, ya que las buenas intenciones son insuficientes y se requiere compromiso y políticas públicas consistentes para garantizar un medio ambiente sano, una sociedad resiliente y una economía robusta.

En materia de cambio climático, es fundamental considerar la información más actual disponible e impulsar una planeación integral para identificar áreas óptimas para el cultivo de especies adecuadas, identificar las técnicas de cultivo y seguir impulsando la generación de conocimiento para la toma de decisiones. Finalmente, será determinante armonizar el marco legal en materia climática para que las entidades federativas y municipios puedan acceder a los programas y proyectos destinados a fomentar la adaptación social y la mitigación de gases de efecto invernadero.

335

Por otro lado, existe una preocupación documentada respecto a las interacciones entre sectores, como los efectos indirectos de la competencia entre productos acuícolas y pesqueros, que puede incrementar la presión pesquera y contribuir al deterioro de los recursos pesqueros en México (Natale et al., 2013; Valderrama y Anderson, 2010; Longo et al., 2019). El ordenamiento, la inspección y la vigilancia serán cruciales para evitarlo, así como la trazabilidad de los productos y el control de precios. La historia normativa de la pesca y la acuicultura mexicanas provee de suficientes ejemplos para evitar repetir los errores que han propiciado el rezago de ambos sectores, con la ventaja de que hoy las condiciones permiten constatar el crecimiento acuícola. De acuerdo con la FAO (2020), se proyecta un crecimiento de 47% en el volumen de producción acuícola para 2030 y de menos de 7% para la pesca. Si bien la revisión y la actualización de las políticas públicas pueden ofrecer un marco adecuado, será tarea de todos los actores fomentar su cumplimiento.

2.1 Oportunidades para las organizaciones de la sociedad civil

La sociedad civil organizada puede tener una función crítica en diferentes líneas de acción (e.g. ciencia y tecnología, equidad de género, políticas públicas, desarrollo de capacidades) siguiendo modelos participativos como los que han generado con el sector pesquero (Espinosa-Romero et al., 2014; Torre y Fernández, 2018), que han resultado en la consolidación, la modificación y la aplicación efectiva de la normatividad vigente con resultados favorables para la pesca sustentable y la conservación de los recursos. Aun cuando el número de asociaciones civiles dedicadas a la acuacultura son escasas, existen comités estatales de sanidad (algunos con la figura de asociación civil) que pueden fortalecerse y formalizarse mediante acuerdos o proyectos específicos con financiamientos mixtos. Por otro lado, algunas de las organizaciones de la sociedad civil que actualmente están a la vanguardia en temas de pesca han integrado ejemplos innovadores que deben reforzarse; por ejemplo, la concesión comunitaria otorgada para el aprovechamiento y el cultivo de bivalvos en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, y la integración de herramientas de manejo en Bahía de Kino y Puerto Libertad, Sonora, para un manejo integral que incluye actividades de maricultivo, zonas de refugio y aprovechamiento pesquero en una disposición espacial que garantiza el derecho exclusivo de acceso (COBI, 2020), el cultivo de ostión en Tamaulipas para la recuperación de los bancos y la mejora de la calidad de agua, así como la restauración de la Bahía Santa Cruz, en Sonora. Adicionalmente, la asociación civil Causa Natura ha contribuido significativamente a promover la transparencia y la inclusión en el manejo pesquero y acuícola, temas que podrían exportarse para fortalecer la asociatividad en el sector.

336

La iniciativa Impacto Colectivo por la Pesca y la Acuacultura Mexicanas es un colectivo que integra a los principales actores de la pesca en México, incluyendo empresarios, comercializadoras y las instituciones de gobierno que administran y manejan la materia. El colectivo tiene hoy una presencia importante y representa un gran paso desde la sociedad civil organizada para incidir en las políticas

públicas relacionadas con la pesca. Por otro lado, recientemente se conformó la Sociedad Mexicana de Acuicultura con base en Mérida, Yucatán y con la visión de integrar a productores, académicos y comercializadores.

Es importante atender a ambos sectores (pesca y acuicultura) y no relegar la acuicultura a un segundo plano. La acuicultura es una nueva oportunidad para la economía y la sociedad mexicanas; con financiamiento y dirección adecuada, puede incluso ser una oportunidad para la restauración de algunos ecosistemas (e.g. bahías, esteros, lagos). Desafortunadamente, México ha experimentado varios casos en los que grandes oportunidades económicas se convierten en serios problemas sociales y ecológicos, debido a políticas aplicadas de manera reactiva, prohibitiva y no inclusiva. La inversión en investigación científica y desarrollo de capacidades, resolver la confusa repartición de poderes y responsabilidades entre los tres niveles de gobierno y acabar con la inobservancia normativa son algunos de los temas que deben atenderse para evitar los errores que han marcado la historia del sector agroalimentario en México. Es necesaria la participación de todos los actores para detener esta inercia.

337

2.2 Oportunidades para el sector académico

El sector académico tiene un papel decisivo en generar, adaptar y transferir tecnología a los empresarios acuícolas en conjunto con las instituciones de gobierno, las comercializadoras y la sociedad civil. Los 14 centros acuícolas del país y el INAPESCA deben ser aliados de la academia y marcar un rumbo general de la investigación acuícola en México. Ya existen muy buenos ejemplos nacionales tanto en pesca como en acuicultura (e.g. co-manejo en recursos bentónicos del pacífico, certificación de pesquerías, cultivo de camarón, impulso a la maricultura de jurel y atún), los cuales conviene fortalecer, además de desarrollarlos para otras especies nativas.

La investigación científica debe responder a una estrategia transversal que contribuya a la toma de decisiones, la creación de políticas públicas y la atención de las necesidades tecnológicas para promover la competitividad de los empresarios (e.g. intensificación de cultivos, control de enfermedades, capacitación, asesoría). Uno de los modelos funcionales es la construcción de parques tecnológicos que

sirvan de incubadoras para el desarrollo de tecnología e investigación científica (e.g. BioHelis, en La Paz, Baja California Sur) (Villarreal-Colmenares et al., 2010). Mientras este tipo de modelos no se fortalezcan, los avances de la ciencia acuícola mexicana seguirán siendo lejanos y carecerán de utilidad para los empresarios.

2.3 Mecanismos financieros y oportunidades para los empresarios

La iniciativa privada (tanto productores como inversionistas) y el gobierno deben generar mecanismos para facilitar a los productores el acceso a capital. Existen opciones para financiar el crecimiento acuícola en México, pero es necesario ofrecer los canales apropiados, como foros de inversión y plataformas digitales, para difundir información sobre proyectos atractivos para invertir, fondos, programas, créditos y seguros adecuados para el sector.

338 Paralelamente, sería provechoso el desarrollo de cursos y capacitaciones para que los productores conozcan las alternativas de financiamiento, los requisitos y las pautas para la presentación de proyectos.

Es evidente la dificultad que tienen los pequeños productores para acceder al capital, por lo que es necesario que el gobierno genere los mecanismos para cerrar esa brecha y que el pequeño productor acceda a financiamiento con mejores condiciones, que incentiven el emprendimiento y permitan el escalamiento de los proyectos. Con ese propósito, se pueden implementar esquemas de seguros que reduzcan el riesgo, así como programas de crédito diseñados para cubrir las necesidades de este segmento.

La acuicultura registra ejemplos de asociación que ayudan a entender cómo, en conjunto, se puede acceder a esquemas financieros novedosos cubriendo las exigencias y disminuyendo el riesgo para las empresas financieras y/o inversionistas. Por otro lado, los problemas que enfrenta la comercialización de productos acuícolas (e.g. procesamiento para agregar valor, cadenas de distribución) pueden atenderse en colectivo garantizando volúmenes en el mercado. En cuanto a la asociatividad, existen modelos desarrollados por los pescadores que pueden exportarse a las prácticas acuícolas. Hacer el cruce de información requiere de foros y espacios adecuados para promover la colaboración.

3. Cambio climático: oportunidades ante la incertidumbre climática

El cambio climático ya impacta a la acuicultura y la pesca, de diferentes formas e intensidades, siendo el sector pesquero relativamente más vulnerable que el sector acuícola. Los cuerpos de agua mexicanos presentan respuestas diferenciales ante los efectos del cambio climático. En general, las zonas de surgencia en el Pacífico Norte y Golfo de Tehuantepec se verán mayormente afectadas por la acidificación, la hipoxia y la temperatura. En el Pacífico (corriente de California y corriente Norecuatorial), se han medido los efectos por el incremento de los vientos, las anomalías térmicas, el aumento de la intensidad de la surgencia, la alta productividad, el menor pH y las bajas de oxígeno que se han asociado con la mortalidad de organismos sésiles y a la dificultad para producir estructuras calcáreas (concha) en instalaciones acuícolas. El Golfo de México es susceptible a huracanes, hipoxia, aumento del nivel del mar, acidificación y florecimiento de algas. Los cuerpos de agua interiores se verán afectados por la temperatura del aire, las precipitaciones, la eutrofización, la estratificación y la hipoxia; las zonas costeras, también por huracanes, inundaciones, cambios en la salinidad y aumento del nivel del mar.

Los efectos del cambio climático en el cultivo son variables en función del grupo de especies objetivo y su ubicación. Por ejemplo, considerando la producción de camarón, algunos de los factores que tendrán mayor impacto son el aumento del nivel del mar, el calentamiento y la incidencia de huracanes y tormentas. En aguas interiores, el cultivo de especies como la tilapia, la carpa y la trucha arcoíris estará sujeto a problemas de estratificación del agua, debido al incremento de la temperatura, pues esta se considera crítica para el cultivo de especies de clima templado. En cuanto al cultivo de bivalvos, la acidificación jugará un papel más relevante en la supervivencia de larvas y la formación de la concha. Finalmente, en cuanto a la piscicultura de especies marinas, el incremento de la temperatura del mar y el florecimiento de algas nocivas (mareas rojas) tendrán un efecto negativo en la supervivencia y el desarrollo de las especies. Una ventaja es que la acuicultura tiene control sobre muchas de estas variables, ya que, en gran medida, se pueden atender y prevenir mediante la planeación del proyecto, integrando tecnologías y aplicando los mecanismos financieros adecuados. Que cada

productor realice esta labor implica un costo mayor y no hacerlo puede significar el fracaso o un impacto ambiental incontrolable. En la planeación integral, los modelos de cambio climático pueden ayudar a tomar la decisión de dónde cultivar y qué especies y tipo de cultivo son idóneos para cada región del país. En estos procesos es donde un reto como el cambio climático puede integrar la participación de instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil y los tres órdenes de gobierno (municipal, estatal y federal), para instrumentar la LGCC y vincularse eficientemente con los instrumentos normativos de las entidades federativas y municipios del país y atender las necesidades del sector pesquero y acuícola de manera incluyente, eficaz y con planes basados en datos científicos.

En México ya se cuenta con los escenarios modelados de vulnerabilidad del sector acuícola y los efectos esperados en los océanos. Además, un Plan Estratégico de Cambio Climático para el sector Agroalimentario está en preparación y existen recomendaciones clave para enfrentar el reto ambiental más grande para la humanidad y el país.

340

El futuro de la acuicultura mexicana está en construcción y requiere la participación de todos los actores involucrados para asegurar el acceso a productos de alta calidad alimentaria, empleos dignos y economías vibrantes e incluyentes. Sumar esfuerzos y actuar de manera coordinada es indispensable para garantizar un medio ambiente sano, factor crucial para nuestra supervivencia.

4. Referencias

- Comunidad y Biodiversidad (2020). Zonas de manejo integral. Comunidad y Biodiversidad, The Nature Conservancy. [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=rx7zmHfdQi8>.
- CONAPESCA (2018). Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura 2018. México, SAGARPA.
- DOF (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado el 12 de julio de 2019.
- (2020a). Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. Publicado el 30 diciembre de 2020.
- (2020b). Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024. Publicado el 25 de junio de 2020.
- Espinosa-Romero, M. J., Rodríguez, L. F. Weaver, A. H. Villanueva-Aznar, C. y Torre, J. (2014). The Changing Role of NGOs in Mexican Small-Scale Fisheries: From Environmental Conservation to Multi-Scale Governance. *Marine Policy*, 50, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.07.005>.
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Flores Nava A. (2010). Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobos-Zapata (eds.). *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino* (319-334). Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Longo, S. B., Clark, B., York, R. y Jorgenson, A. K. (2019), Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*, 33, 832-841. <https://doi.org/10.1111/cobi.13295>.
- Natale, F., Hofherr, J., Fiore, G. y Virtanen, J. (2013). Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*, 38, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.05.037> .

- Torre, J. y Fernández Rivera-Melo, F. (2018). Acción sin daño: Un análisis de las intervenciones de una organización de la sociedad civil ambientalista en comunidades costeras del noroeste de México. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 39(153), 69-97. <https://dx.doi.org/10.24901/rehs.v39i153.391>.
- Valderrama, D. y Anderson, J. L. (2010). Market interactions between aquaculture and common-property fisheries. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 115-128.
- Villarreal-Colmenares, H., Mercier, L., Naranjo, J., Beltrán, L. F. y Hernández, S. (2010). BioHelis: an innovation and technology park in Mexico that promotes green growth. XXVII IASP World Conference on Science and Technology Parks.

Anexo 1. Recomendaciones de los actores recopiladas en la encuesta nacional

Tema	Subtema	Recomendación
Marco legal	Combate a la corrupción	Transparentar la distribución de apoyos a la acuicultura.
	Derechos de acceso	Otorgar concesión de aguas oceánicas a personas que habiten dentro de las mismas comunidades.
	Disminución de burocracia	<p>Agilizar procesos burocráticos mediante la transferencia de responsabilidades federales al ámbito estatal.</p> <p>Agilizar el otorgamiento de los permisos y establecer un programa nacional para el desarrollo acuícola.</p> <p>Facilitar las gestiones administrativas.</p> <p>Reducir la burocracia e incrementar la promoción.</p> <p>Reducir la burocracia y el papeleo. Flexibilizar los trámites de permisos y los apoyos a pequeños productores.</p> <p>Evitar la regulación excesiva.</p> <p>Agilizar los procesos.</p>
	Gobernabilidad y transparencia	<p>Aplicar adecuadamente la normatividad</p> <p>Castigar con severidad a los furtivos. Reforzar el papel de actores de la vigilancia.</p> <p>Invertir más en el sector. Monitorear el destino de los recursos.</p> <p>Aclarar y aplicar las normas correspondientes.</p> <p>Mejorar y aplicar las sanciones.</p> <p>Aplicar la reglamentación existente y transparentar el marco normativo y su implementación.</p>
Tema	Subtema	Recomendación

Marco legal

Fortalecer la inspección y la vigilancia para evitar la ilegalidad y los abusos laborales (derechos humanos).

Impacto ambiental

Agilizar y reducir el costo del resolutivo de impacto ambiental favorable emitido por la SEMARNAT, el cual debe de obtenerse para desarrollar la actividad legalmente.

Ley de Aguas Nacionales y Ley de Energía para el Campo

Regular los candados y propiciar la transparencia en la concesión de aguas.

Dar certeza jurídica a la acuicultura en materia de tarifas homologadas de agua y energía a nivel nacional.

Garantizar en la Ley de Aguas Nacionales que el uso de agua para la acuicultura sea considerado como actividad prioritaria productora de alimentos, como es el caso de la agricultura y la ganadería, clasificando dicho uso en el nivel 4 de importancia, solo después de la ganadería, y no como se encuentra ahora.

En la misma línea, eliminar el pago de derechos por el uso de agua de la actividad acuícola para la producción en agua dulce, concepto que se ha cubierto desde que existe la actividad, ya que se le considera ajena al sector primario. Además, se está pagando por el uso del agua, aunque la acuicultura no consume el agua, y esta puede aprovecharse para varios usos después de la acuicultura, como el riego agrícola.

Facilitar el acceso al agua para uso acuícola, lo que implica replantear las cuencas hídricas vedadas y menores cobros por descargas (Ley de Aguas Nacionales).

Implementar la prelación del uso de agua y la tarifa eléctrica acuícola.

Reducir de manera sustantiva el cobro por uso de agua para fines acuícolas.

Tema	Subtema	Recomendación
Marco legal		Reconocer la actividad acuícola como primaria para los subsidios de energía y agua.
	Ordenamiento y planeación	<p>Actualizar y aplicar instrumentos de gestión de las zonas marino-costeras, como el ordenamiento acuícola, el ordenamiento ecológico-marino, el manifiesto de impacto regulatorio (análisis costo-beneficio), la evaluación de impacto ambiental y la evaluación de la política nacional de mares y costas.</p> <p>Otorgar apoyos efectivos al sector acuícola, orientados a aumentar la producción acuícola, innovar los procesos o dotarlos de valor agregado, que sean congruentes con la política nacional acuícola (que no existe), la cual debe definir los sectores que impulsa y guiar la evaluación de resultados.</p>
	Subsidios	<p>Reubicar los subsidios a la energía y mejorar el sistema de impuestos a las emisiones.</p> <p>Dirigir adecuadamente los subsidios (a productividad, no a producción).</p>
	Vinculación	<p>Diseñar una política intersectorial ligada a otros sectores marinos.</p> <p>Propiciar el acercamiento de las instituciones al sector acuícola.</p>
	Normatividad	<p>Diseñar marco regulatorio adecuado a las microunidades económicas.</p> <p>Actualizar la Carta Nacional Pesquera.</p> <p>Actualizar la normatividad en materia de cultivo de especies protegidas.</p> <p>Actualizar las normativas a la realidad del año 2020.</p> <p>Emitir el Reglamento de la Ley de Pesca y Acuicultura Sustentable.</p> <p>Expedir el Reglamento de Pesca y Acuicultura.</p> <p>Generar normas que ayuden al comanejo, como sucede con la pesca.</p> <p>Incluir la afirmativa ficta en la solicitud de permisos. Eliminar los pagos sobre ventas en los permisos de fomento.</p> <p>Incluir la definición de acuicultura artesanal.</p> <p>Crear NOM para limitar el contenido de agua en productos importados.</p> <p>Reconocer la acuicultura como sector independiente de la pesca.</p>

Marco legal

Regular el procedimiento de creación y actualización de la Carta Nacional Acuícola, en la que se establezcan procesos y tiempos claros, espacios de participación ciudadana donde las opiniones sean vinculantes, así como la obligatoriedad de utilizar la mejor ciencia posible.

Sacar la acuicultura de la ley de pesca y pasarla a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Sacar la acuicultura de la CONAPESCA.

Expedir una nueva ley acuícola, separada de la ley de pesca, con su propia dependencia gubernamental dedicada a la materia, pues son actividades autónomas.

Desarrollo acuícola

Declarar a la acuicultura como actividad prioritaria y que tenga el peso de actividades como la ganadería y la agricultura.

Contar con mayor interés de parte de las autoridades (gobiernos estatales y federal).

Tema	Subtema	Recomendación
Sustentabilidad	Gobernabilidad y transparencia	Atribuir responsabilidad por daños al ambiente. Ejecutar activa y eficazmente las buenas prácticas. Hacer eficiente el marco legal en materia de impacto ambiental para autorizar el desempeño de la actividad. Implementar la verificación física obligada del cumplimiento de medidas de mitigación de impactos ambientales.

Impacto ambiental

Al momento de llenar los estanques de agua es tiempo de desove de camarón azul se protege dentro de los esteros y la acuicultura mata las larvas del camarón de muchas especies y con los filtros quedan atrapadas y los eliminan haciendo un daño a la naturaleza tienen que sacar agua indirecto por medio de pozos y el regreso al mar de la agua sin oxígeno es muy malo que siembren canal de regreso mangle y zacatón y dependen de la sardina como fuente de proteína pescan un millón de toneladas de sardina la transforman en harina de pescado para la acuicultura.

Llevar a cabo el control y el manejo de agua residuales (el regreso al mar de agua sin oxígeno).

Destinar un porcentaje de las ganancias de la producción a medidas que mejoren las practicas acuícolas de tal manera que se orienten al equilibrio con el entorno.

Implementar más controles de buenas prácticas.

Reforzar la observancia del uso de medicamentos y la revisión de las especies de cultivo (especies invasoras).

Impulsar el desarrollo del cultivo de especies nativas, las cuales están adaptadas a las condiciones ambientales locales, en vez de preferir especies introducidas, las cuales han provocado desastres ecológicos.

Regular el uso de alimento basado en harinas de pescado.

Regular la acuicultura extensiva. Regular el desecho de aguas residuales de los centros de cultivo.

Tema	Subtema	Recomendación
Sustentabilidad	Ordenamiento y planeación	Regionalizar los criterios de viabilidad.

Subsidios Rediseñar los subsidios para que sean eficientes y operen en el mismo sentido. Por ejemplo, modificar el subsidio de uso de combustibles a la adquisición de tecnologías (energía solar, aireadores lobulares, etc.) para reducir la huella de carbono de la actividad sin mermar la competitividad de los productores.

Normatividad y legislación Incluir la palabra “sustentabilidad” en la definición de “acuicultura” y precisar su significado.

Tema	Subtema	Recomendación
------	---------	---------------

Ciencia y Tecnología	Presupuesto	Incrementar el presupuesto a ciencia y tecnología. Incrementar el presupuesto para investigación y recursos humanos en dependencias federales.
----------------------	--------------------	---

	Transferencia	Facilitar el acceso a los programas de capacitación y la tecnología. Fomentar el desarrollo de tecnologías aplicables en el sector, de tal forma que no solo se queden en tesis o artículos científicos. Reformar las normas laborales para asegurar la contratación de personal de investigación.
--	----------------------	--

	Vinculación	Mejorar el acceso a apoyos para productores y aumentar el apoyo a los proyectos científicos. Tener proyectos o programas que concreten la implementación de los proyectos viables aplicados a la acuicultura. Exigir, por ley, que los pescadores de recursos acuícolas o con potencial acuícola aporten reproductores o los insumos biológicos necesarios para la investigación de estas especies, en aras de mejorar la acuicultura, pues para los investigadores es complicado el acceso a los insumos biológicos (por los costos asociados o por la dificultad para obtener los permisos).
--	--------------------	---

	Normatividad y legislación	Promover el desarrollo científico en asuntos acuícolas, ya que no está considerado en el marco normativo.
--	-----------------------------------	---

	Desarrollo acuícola	Fomentar las inversiones en tecnología. Promover la creación de distritos o parques acuícolas, con facilidades para instalar nuevas empresas del ramo.
--	----------------------------	---

Tema	Subtema	Recomendación
Comercialización	Fomento al consumo	Implementar una política nacional de consumo local (productos acuícolas). Abrir las compras institucionales de pescados e incluirlos en la canasta básica por ser sanos y poseer alto valor alimenticio y bajo contenido de grasas.
	Gobernabilidad y transparencia	Ampliar las oportunidades de acceso a la información en materia de exportación.
	Sanidad	Actualizar las normas de importaciones y sanitarias. Integrar candados relacionados con el otorgamiento de apoyos para inversión. Por ejemplo, el cumplimiento de certificaciones básicas del SENASICA; en caso de un segundo apoyo, el cumplimiento de determinado número de inspecciones que validen la correcta aplicación de los recursos.

Tema	Subtema	Recomendación
Desarrollo de capacidades	Bienestar social	Aplicar examen psicológico, físico y médico a todo el personal. Proporcionar capacitación continua, enfocada y de calidad.
	Disminución de burocracia	Dar asesoría en los procesos de obtención de permisos y agilizar los trámites.
	Profesionalización	Proporcionar capacitación y financiamiento. Ofrecer certificaciones y cursos.
	Desarrollo acuícola	Fomentar el desarrollo de microempresas comunitarias e incorporar mujeres.

Tema	Subtema	Recomendación
Financiamiento y seguros	Disminución de burocracia	Hacer más eficientes los trámites burocráticos. Garantizar equidad social en el manejo de recursos económicos, incluidos los financiamientos.
	Fomento al consumo	Incrementar el monto de los apoyos y favorecer que la comercialización sea generalizada para que todos tengan acceso al producto.
	Presupuesto	Aumentar los apoyos a productores.
	Seguros	Ofrecer seguros para productores acuícolas por parte del gobierno.
	Desarrollo acuícola	Hacer más accesibles los apoyos a la acuicultura y acelerar los tiempos de respuesta. Otorgar apoyos financieros reales a pequeñas empresas para estimular los cultivos.
		Ampliar los apoyos a pequeños acuicultores.



FMCN

FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.

INSTITUCIÓN PRIVADA