

Sistemas sostenibles de producción para el desarrollo del maricultivo con enfoque ecosistémico. La Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI)

Sustainable production systems for the development of marine aquaculture with an ecosystem approach. The Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA)

Mercedes Isla Molleda,¹ Herbert Benedicto Loria Sunza² y Jorge Arturo Tello Cetina²

¹ Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle 246 No. 503 e/ 5ta. Avenida y Mar, Santa Fe, Playa, CP 19100, La Habana, Cuba, E-mail: merisla@cip.alinet.cu

² TecNM/Instituto Tecnológico de Mérida. Av. Tecnológico, S/N. Mérida, Yucatán, México.

RESUMEN

La demanda de productos pesqueros en el mercado mundial está aumentando, particularmente en Asia, dada la afluencia y la apreciación de los beneficios que ofrecen estos alimentos para la salud humana. Esto, combinado con el colapso significativo de las producciones provenientes de la pesca de captura, ha traído como consecuencia un desarrollo vertiginoso de la acuicultura. Hoy, la acuicultura mundial es el sector de más rápido crecimiento de la industria alimentaria y representa aproximadamente el 45,6 % del consumo mundial de pescado. Sin embargo, el rápido desarrollo de sistemas semiintensivos, especialmente la acuicultura marina intensiva, ha generado preocupación a nivel mundial por los posibles impactos ambientales, económicos y sociales del uso de estos sistemas. Durante los últimos años se han llevado a cabo significativas investigaciones sobre el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de alimentos en agua salada, mediante el uso de sistemas mecánicos como, por ejemplo, los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) y otros con un enfoque ecosistémico como la Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI). Este trabajo se basa en mostrar las características del desarrollo de los sistemas AMTI y las posibilidades de su aplicación como sistemas de producción amigables con el medio ambiente, que contribuyan a la seguridad alimentaria, orientados a fortalecer la resiliencia de las comunidades pesqueras y acuícolas dando respuesta a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Palabras clave: acuicultura, impacto, desarrollo sostenible, medio ambiente, alimentos.

ABSTRACT

The demand for fish products in the world market is increasing, particularly in Asia, given the influx and the appreciation of the benefits that this food offers for human health. This, combined with the significant collapse of production from capture fisheries, has led to the rapid development of aquaculture. Today, global aquaculture is the fastest growing sector of the food industry and accounts for approximately 45,6 % of global fish consumption. However, the rapid development of semi-intensive systems, especially intensive marine aquaculture, has generated worldwide concern about the possible environmental, economic and social impacts of the use of these systems. During the last few years, significant research has been carried out on the development of sustainable saltwater food production systems, using mechanical systems such as Aquaculture Recirculation Systems (ARS) and others with an ecosystem approach such as Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA). This work is based on showing the characteristics of the development of the IMTA systems and the possibilities of their application as environmentally friendly production systems that contribute to food safety, oriented to strengthen the resilience of fishing and aquaculture communities by responding to the Sustainable Development Objectives of Agenda 2030.

Keywords: aquaculture, impact, sustainable development, environment, food.

Recibido: 21/6/20

Revisado: 22/6/20

Aceptado: 28/7/20

DESARROLLO

La producción alimentaria tiene invariablemente efectos ambientales: ocupación y fragmentación del hábitat natural anterior, la reducción de la fauna y flora, y de su diversidad y cambios en la calidad del suelo, agua y paisaje (Soto, 2009).

En las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2030 se identifica un eje estratégico referido a "Recursos naturales y medio ambiente", con tres objetivos generales fundamentales para el desarrollo del país, todos relevantes ante la necesidad de dirigir acciones de protección y sostenibilidad para los recursos naturales, contribuir a la seguridad alimentaria, y orientados a fortalecer la resiliencia de las comunidades costeras.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, promovidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), también exponen la necesidad de orientar a nivel nacional acciones que de manera gradual tributen a garantizar el bienestar de los recursos naturales y del hombre.

Los sistemas sostenibles de producción acuícola con enfoque ecosistémico que se enuncian en el presente trabajo, responden a las premisas del ODS 14: "Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible" y del ODS 2: "Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible".

Dando una mirada a nivel mundial, la acuicultura es el sector de más rápido crecimiento de la industria alimentaria y representa aproximadamente el 45,6 % de la producción mundial de pescado (Fig. 1) (FAO, 2018). Según estadísticas de la FAO (2018), el consumo mundial de pescados y mariscos para el 2030 se incrementará hasta un 62 % (en el 2016 fue de 49 % para un consumo per cápita de 20,5 kg), debido al aumento de la población mundial en aproximadamente 8,3 billones de personas y a la permanencia del estatus de no incremento en las capturas; por ende, la única fuente de sustento para aliviar esta demanda lo constituye la acuicultura.

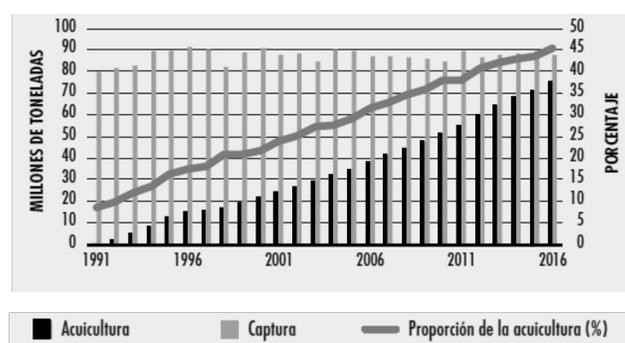


Fig. 1. Proporción de la acuicultura de animales acuáticos en la producción total mundial. Tomado de FAO (2018).

En función de la manera en la que interactúan con el entorno natural que las rodea, las granjas de acuicultura se dividen en tres grupos:

1. **Acuicultura alimentada:** Cultivo de peces y crustáceos. Requieren aporte de alimento para un correcto desarrollo del cultivo.
2. **Acuicultura no alimentada:** Cultivos de moluscos y algunas especies herbívoras y detritívoras.
3. **Acuicultura autótrofa:** Cultivos de algas.

Cada una de estas tres categorías de cultivo tiene una relación diferente con el ecosistema, tanto desde el punto de vista de los aportes que recibe de su entorno como desde el punto de vista de los efectos de la granja sobre el ecosistema que la rodea (Chopin & Robinson, 2004; Soto, 2009).

Otra consideración importante tiene que ver con la aparición de enfermedades. Los problemas de sanidad

animal se pueden resolver con una correcta distribución espacial de la granja, cada enfermedad tiene condiciones particulares en términos biológicos, siendo muy importante conocer su capacidad de propagación y los posibles hospederos, sobre todo por el posible contagio cruzado con las poblaciones salvajes de la zona (Ross *et al.*, 2004; Bansemir *et al.*, 2006; Skar & Mortensen, 2007; Soto, 2009).

El desarrollo de la acuicultura marina, en las últimas tres décadas, ha sido basado fundamentalmente en especies carnívoras u omnívoras de alto valor en el mercado, cultivados con sistemas intensivos y alimento artificial, tradicionalmente en espacios protegidos y semiprotegidos, también en zonas intermareales y de marisma (Fig. 2); sin embargo, al ser estos lugares con aguas relativamente tranquilas y cercanos a la línea de costa, los riesgos de contaminación al medio han sido altos, al tratarse de masas de agua con menores tasas de renovación

y normalmente de poca profundidad, siendo los más frecuentes la contaminación orgánica, eutrofización, y el colapso de la capacidad de carga de las zonas costeras y estuarinas, aparición de enfermedades; además de

que la competencia con otras actividades suele ser muy alta (turismo, pesca artesanal, entre otros) generándose conflictos de usos y recursos e impactos visuales (Cicin-Sain & Knecht, 1998; Soto, 2009; Gentry *et al.*, 2016).



Fig. 2. Sistemas de acuicultura marina tradicional. Izquierda: Cultivo de salmón mar abierto, Noruega. Derecha: Cultivo de tilapia roja en lagunas costeras, Viet Nam. Tomado de Soto (2009).

La acuicultura marina tiene importantes beneficios sociales, económicos y medioambientales (Barrington *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2010) como son: mayor impacto en la seguridad alimentaria y la mitigación de la pobreza; oportunidades de empleo para las comunidades rurales; mayor suministro y disponibilidad de productos alimentarios marinos; mejoramiento de la nutrición y el bienestar humanos; mayor entrada de divisas; y la mejora del reciclaje de los nutrientes (sistemas de acuicultura integrada). Todos estos factores deben ser tenidos en consideración y sopesados por su importancia en una comparación equilibrada de los sistemas de producción alimentaria.

En un futuro no muy lejano, la acuicultura será la manera habitual de aprovisionamiento de productos acuáticos para la mayor parte de la humanidad, como ocurre hoy con la ganadería terrestre frente a la caza. Por otra parte, la FAO está propugnando un Plan de Crecimiento Azul como marco para la gestión sostenible de los recursos acuáticos (FAO, 2018), por lo que el éxito de la acuicultura moderna se basa en:

- Adecuada gestión de la biología de las especies cultivadas.
- Introducción de innovaciones tecnológicas.
- Desarrollo de alimentos específicos.

Existen diversos sistemas tradicionales de cultivo de peces y cada uno es más adecuado para ser aplicado en determinados sitios y con determinadas especies. En base a ello, la FAO, algunos autores reconocidos y otras organizaciones involucradas con la conservación y protección del medio ambiente, abogan por el desarrollo de una acuicultura marina sostenible y por el uso de sistemas de cultivo amigables con el entorno (Chopin,

2006; 2012; 2013; Soto, 2009; FAO, 2011; Leonczek, 2013), que son solo prácticas de policultivo usadas por décadas y por nuestros ancestros en los cultivos agrícolas-acuícolas, con la diferencia que ahora los extrapolamos al medio marino.

Dentro de todas las prácticas de acuicultura integradas, el cultivo de arroz y peces es probablemente uno de los más antiguos, muy desarrollado en Asia, y extendido recientemente en otras regiones (Ridler *et al.*, 2007; Tacon, 2009; Chopin, 2013). En los últimos años la idea de la acuicultura integrada ha sido a menudo considerada un enfoque de mitigación contra el exceso de nutrientes/materia orgánica generada por las actividades intensivas de la acuicultura. En este contexto surge la Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI), donde multitrófico se refiere a la incorporación explícita de especies de diferentes posiciones tróficas o niveles nutricionales interactuando en el mismo sistema (Chopin & Robinson, 2004; Chopin, 2006; 2012; 2013; Chopin *et al.*, 2008; Soto, 2009; Leonczek, 2013). Su filosofía de funcionamiento se basa en el aprovechamiento de los residuos generados y en la mejora de la calidad del agua. Según Chopin (2006) y Soto (2009), la AMTI es una práctica que combina, en proporciones adecuadas, el cultivo de especies alimentadas de forma artificial (ejemplo, peces/camarón) con especies que se alimentan de la materia orgánica excretada (ejemplo, ostras/peces hervíboros), y especies que se alimentan de la materia inorgánica producida dentro del sistema (macrolagas), en función de crear un balance ambiental sostenible denominado biomitigación, lo cual redundará en una estabilidad económica y social por la diversificación de producciones, reducción de riesgos, mejores prácticas de manejo y mejoras en la calidad del agua del ecosistema.

El modelo de cultivo multitrófico integrado que se suele utilizar como ejemplo consiste en la cría de peces, moluscos bivalvos y macroalgas (Fig. 3).

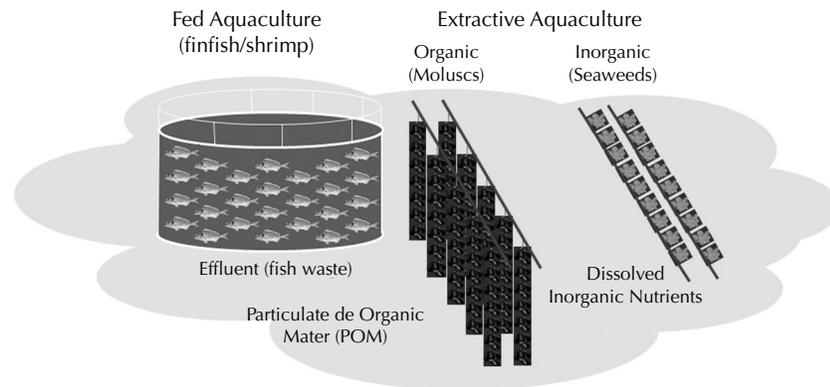


Fig. 3. Modelo de un Sistema AMTI. Adaptado de Chopin (2006).

Los restos no consumidos de pienso y el detritus de los peces pueden ser directamente aprovechados por los bivalvos, ya que son filtradores no selectivos; las algas por su parte, absorben nitrógeno y aportan oxígeno, mejorando la calidad del agua. Se ha comprobado que, en las zonas donde hay una concentración elevada de cultivos de una misma especie, aumentan las probabilidades de que aparezcan enfermedades y de causar desequilibrios ambientales derivados del aporte de residuos, modificación del ecosistema y otras degradaciones ambientales ligadas al funcionamiento de las granjas marinas. Esto hace insostenible este tipo de acuicultura a largo plazo, ya que la degeneración de las zonas de cultivo podría llegar a hacer inviable su uso futuro (Chopin *et al.*, 2008).

Los objetivos finales de un sistema AMTI son lograr el balance entre la producción y la sustentabilidad del ambiente (biomitigación), la estabilidad económica (diversificación de productos y reducción de riesgos) y la aceptación social (mejores prácticas de manejo) (Chopin, 2006). Es importante destacar que la palabra "Integrado" en los sistemas AMTI significa intensificar el cultivo de diferentes especies próximas unas de otras, conectadas por el flujo vertical y horizontal de nutrientes y la transferencia de energía a través del movimiento de las aguas.

Existen diversos tipos de acuicultura multitrofica integrada (Chopin *et al.*, 2008; Chopin, 2013; Leonczek, 2013), basados fundamentalmente en los principios de:

- Utilización de los residuales por relaciones tróficas.
- Mantenimiento de la calidad del agua a través de funciones complementarias entre los sistemas de cultivo. Uso complementario de los recursos acuícolas del medio según los diferentes nichos de las especies en cuestión.

- Prevención de enfermedades a través de la integración de especies acuáticas.

Según Troell (2009), los principales sistemas AMTI para las regiones tropicales se clasifican en cinco categorías principales:

1. **Policultivo:** Especies múltiples cultivadas conjuntamente en estanques/tanques/jaulas; atendiendo al principio de las relaciones tróficas.
2. **Integración secuencial:** Sistemas Acuícolas Particionados (SAP) en tierra y en mar abierto (difiere del policultivo ya que requiere de un flujo directo de aguas residuales secuencialmente entre unidades independientes de cultivo de las diferentes especies).
3. **Integración temporal:** Cultivo de especies en el mismo sitio, beneficiando la nueva especie con los residuos generados por la especie cultivada antecesora.
4. **Integración en manglares:** Acuasilvicultura, prácticas secuenciales usando los manglares como biofiltros.
5. **Integración Acuicultura-Agricultura:** Ejemplo, cultivo de arroz-cultivo de peces/camarones; sistemas acuapónicos.

Entre las tecnologías AMTI para la producción controlada de organismos acuáticos, se encuentran los cultivos de peces en zonas estuarinas y costeras utilizando los hábitats naturales de las especies como estuarios y lagunas costeras, que funcionarían como áreas de cría de especies con valor comercial, entre otras. Esta tecnología ha sido desarrollada en Italia, en la región del Mar Mediterráneo, con muy buenos resultados, y es conocida como Vallicultura (Angel & Freeman, 2009).

Según Alvarez-Lajonchère & Cittolin (2016) la Vallicultura es el resultado de una evolución de las actividades pesqueras tradicionales en áreas costeras y estuarinas que aprovechaban la conducta de diversas

especies de migrar entre dichas zonas y el mar abierto para realizar actividades de alimentación y reproducción. Los juveniles de estas especies son capturados durante la temporada migratoria, cultivados conjuntamente utilizando la flora y la fauna natural del ecosistema estuarino o lagunar y cosechados una vez que alcanzan la talla comercial. Una “Valle” no es más que un sector de una laguna que ha sido confinado con diques, y caracterizado por la presencia de agua salobre y escasa profundidad promedio (de pocos centímetros a un metro). Las estructuras principales de una “valle” son diques, esclusas, canalizaciones internas, sistemas de captura de peces y estanques para el cultivo de forma extensiva.

Un ejemplo clásico de este tipo de tecnología es el *Valle da Pesca* en la Laguna de Venecia, Italia (Fig. 4), donde las principales especies de peces que forman el policultivo y que son objeto de la producción son la dorada (*Sparus aurata*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*), las lisas (*Mugil cephalus*, *Liza aurata*, *L. ramada*,

L. saliens y *Chelon labrosus*) y las anguilas (*Anguilla anguilla*). Las densidades de siembra son generalmente de 2 000-4 000/ha, con 80 % de las lisas, 6-8 % de dorada y 10 % de lubina. Los rendimientos de los valles varían mucho. En la Laguna de Venecia, los valles tienen un promedio de rendimiento de unos 100 kg/ha/año. La composición de la cosecha es de 50 % de lisas, 30 % de anguilas, 15 % de lubinas y doradas, y 5 % de otras especies (Alvarez-Lajonchère & Cittolin, 2016).

En Cuba, la Vallicultura puede aplicarse en lagunas costeras y con ello rehabilitar áreas de esas zonas que han sufrido impactos negativos, como un sistema que puede permitir la sostenibilidad económica para actividades de mitigación en estas áreas; puntualmente pudiera aplicarse una variante que permita la entrada de larvas y la salida de juveniles, de forma tal que se rehabilite la función de servir de área de cría natural de las poblaciones que son objeto de pesquerías comerciales en aguas abiertas de la plataforma.



Fig. 4. El “Valle da Pesca” Valle Cavallino, Laguna de Venecia, Italia.
(Tomado de: <https://www.metropolitano.it/Laguna%di%Venezia:%l%incanto% delle%valli%da%pesca>)

La Acuaponía (Fig. 5) es otra forma de AMTI, es un sistema simbiótico, que combina las técnicas de acuicultura con el cultivo hidropónico de plantas, basado en el máximo aprovechamiento de la energía en forma de nutrientes por los componentes del cultivo, que además de producir biomasa, contribuyen a mantener limpio el ambiente acuático en que se desarrollan. Es la combinación entre vegetales terrestres y organismos acuáticos en una misma instalación y en un mismo ciclo productivo (Barrington *et al.*, 2009). Este tipo de cultivos tiene como ventaja la posibilidad de compartir determinados costos y reducir la posible huella ambiental a través del aprovechamiento de los efluentes. Es un sistema AMTI que puede ser usado tanto en agua dulce como salada, para este último, las plantas a cultivar deben ser las halófilas. Esta técnica es practicada principalmente en países del continente asiático, y ya ha sido introducida

en África, Estados Unidos, América Latina y el Caribe (Barrington *et al.*, 2009).

La técnica de **Integración en manglares** está siendo utilizada en varios países de Asia (Fig. 6), Latino América, Europa y Estados Unidos, con muy buenos resultados e involucrando las comunidades costeras con un enfoque de género (Troell, 2009).

En los últimos años, la FAO ha estado trabajando en la implementación del Enfoque Ecosistémico para la Acuicultura (EAA, por sus siglas en inglés), como una forma de mejorar la gobernanza del sector. El *Enfoque Ecosistémico para la Acuicultura* es una estrategia para la integración de la actividad acuícola dentro del ecosistema, de tal manera que se promueva el desarrollo sostenible, la equidad y la resiliencia de los sistemas sociales y ecológicos interconectados (FAO, 2011). El EAA promueve el uso eficiente de los recursos naturales, así

como la oportunidad de diversos productos y beneficios (y beneficiarios) al tiempo que reduce impactos, y por

lo tanto la acuicultura integrada se convierte en una forma práctica importante para implementar este enfoque.

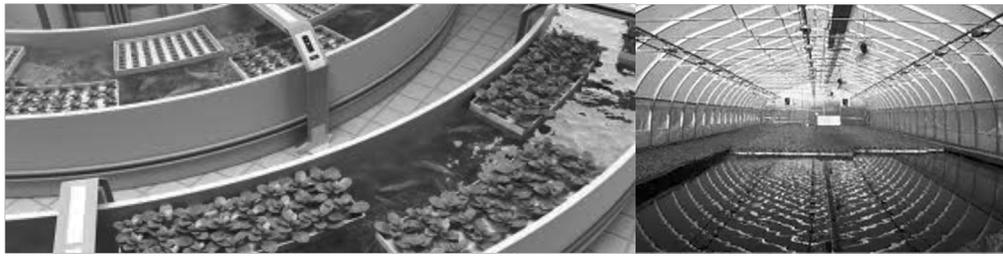


Fig. 5. Sistemas acuapónicos. Tomado de Barrington *et al.* (2009).



Fig. 6. Acuasilvicultura de jaiba y cangrejos. Aklan, Philipinas. Tomado de Troell (2009).

Según Chopin (2012) los sistemas AMTI avanzados en aguas marinas abiertas tienen tres componentes (peces en jaulas, bivalvos en sistemas de cultivo suspendidos de las jaulas o en balsas cercanas a estas, y algas marinas suspendidas de las jaulas), pero es cierto que son sistemas simplificados (Fig. 7). Los sistemas más avanzados estarán

conformados por varios componentes, por ejemplo: peces en jaulas; crustáceos en sistemas de jaulas en aguas medias; organismos detritófagos tales como pepinos de mar, erizos de mar y poliquetos en jaulas de fondo o bandejas suspendidas; peces de fondo en jaulas de fondo; organismos filtradores en sistemas suspendidos y de bandejas (bivalvos y macroalgas) con funciones diferentes o similares para soportes de diferentes tamaños de partículas, o seleccionados por su presencia en diferentes épocas del año, con el único fin de obtener producciones escalonadas creando un balance medioambiental sostenible.

Según Santos (2006) y Macchiavello & Bulboa (2014), las algas marinas más utilizadas para la biofiltración en Europa pertenecen a los géneros *Ulva* y *Gracilaria*. Aunque sus cultivos están bien establecidos, el valor de mercado de estas macroalgas es bajo, ya que se utilizan principalmente como piensos y/o fertilizantes. Actualmente, especies alternativas de algas con mayor valor de mercado están siendo estudiadas, tal es el caso de *Asparagopsis armata*, que tiene un alto valor debido a su capacidad para concentrar los metabolitos orgánicos halogenados, que pueden ser usados en la producción de fungicidas, antibióticos y cosmética para la piel (Neori *et al.*, 2004; Mata *et al.*, 2006; González-Henríquez *et al.*, 2015).



Fig. 7. Cultivo de peces en jaulas con macroalgas, pepino de mar, erizos y abalón. Bahía de Azuma Cho, Japón.

En los sistemas AMTI, los invertebrados y los herbívoros también tienen un alto valor económico. Los moluscos (particularmente los bivalvos) tienen ya un valor de mercado establecido, siendo alta la demanda de consumo; otros animales tróficos intermedios, como los equinodermos, los crustáceos y los poliquetos también son económicamente valiosos (FAO, 2018). Ross *et al.* (2004) mostraron cómo los erizos de mar y los cangrejos se pueden cultivar con vieiras para evitar la bioincrustación en las redes, que a su vez ayuda a reducir los costos de mantenimiento, mejora las tasas de crecimiento de las vieiras, y pueden ser comercializadas como subproductos del cultivo.

Los pepinos de mar, particularmente las especies *Holothuria scabra* y *Stichopus japonicus*, han sido fuertemente explotados por las pesquerías tradicionales, y como resultado de la alta demanda del mercado el cultivo del pepino de mar está creciendo, principalmente en el continente asiático (Hamel & Mercier, 1997; Purcell *et al.*, 2006) siendo una excelente especie candidata para ser utilizada en los sistemas AMTI y en el policultivo con camarones (Purcell *et al.*, 2006; Troell, 2009).

¿Cómo seleccionar las especies a cultivar en los sistemas AMTI?

Según Chopin *et al.* (2008), al establecer qué especies usar en un sistema AMTI se debe considerar la idoneidad de la especie en una unidad particular de hábitat/cultivo, con el propósito de asegurar un crecimiento exitoso y un valor económico productivo rentable. Para ello se deben tener en cuenta los siguientes principios:

- Utilizar especies locales de un mismo ecosistema geográfico y para las cuales la tecnología esté disponible (se evita el riesgo de uso de especies introducidas y/o invasoras, minimiza el daño a otras actividades económicas).
- Utilizar especies que se complementen entre sí en diferentes niveles tróficos.
- Utilizar especies que sean capaces de crecer hasta una biomasa significativa (organismos que actúan como un biofiltro para el exceso de nutrientes y que pueden ser cosechados directamente del agua de forma escalonada con altos volúmenes de producción). La otra alternativa es tener una especie con un valor muy alto en el mercado, en cuyo caso se pueden cultivar volúmenes menores, pero sin embargo, con ello se reduce la capacidad biomitigante o la posibilidad de generar un mayor beneficio ambiental dentro del sistema, por bajas densidades de cultivo.
- Utilizar especies que tengan un valor de mercado establecido o percibido, con el objetivo de poder comercializar las especies alternativas para aumentar el aporte económico.

- Utilizar especies para las cuales estén establecidas las regulaciones y políticas que permitan su comercialización y la exploración de nuevos mercados.

Beneficios de los sistemas AMTI

- **Biomitigación de efluentes:** La mitigación de los efluentes mediante el uso de biofiltros (algas marinas e invertebrados) adecuados para el nicho ecológico de la granja (Chopin *et al.*, 2001; 2008).
- **Control de enfermedades:** La prevención o reducción de enfermedades en los peces cultivados con el uso de algas marinas dada su actividad antibacteriana contra bacterias patógenas (Bansemir *et al.*, 2006), o por crustáceos que reducen la virulencia (Virus de la Anemia Infecciosa del Salmón (ISAV, por sus siglas en inglés) (Skar & Mortensen, 2007).
- **Incremento de los beneficios a través de la diversificación de los productos:** Aumento de los ingresos económicos totales a partir de la comercialización de los subproductos del sistema (Chopin *et al.*, 2012; Nobre *et al.*, 2010; González-Henríquez *et al.*, 2015).
- **Incremento de ganancias por mejores precios:** Diferenciación de los productos AMTI a través del etiquetado ecológico o programas de certificación orgánica (Soto, 2009; FAO, 2011; Chopin *et al.*, 2012; González-Henríquez *et al.*, 2015).
- **Mejora de la economía local:** Crecimiento económico a través del empleo (tanto directo como indirecto), producto, procesamiento y distribución (Ridler *et al.*, 2007; Barrington *et al.*, 2008; Soto, 2009; FAO, 2011; Chopin *et al.*, 2012; Chopin, 2013).
- **Forma "natural" de seguro económico:** La diversificación de productos ofrece protección financiera y disminuye los riesgos económicos ante escenarios de fluctuaciones en los precios, o si uno de los cultivos se pierde debido a enfermedades o inclemencias del clima (Soto, 2009; FAO, 2011; Chopin *et al.*, 2012; Chopin, 2013; González-Henríquez *et al.*, 2015).

Inconvenientes y/o desventajas de los sistemas AMTI (Chopin *et al.*, 2012; González-Henríquez *et al.*, 2015)

Acoplamiento de los diferentes cultivos: Se ha comprobado con las distintas experiencias realizadas a nivel internacional donde se han empleado diferentes especies de distintos grupos tróficos, que no han existido riesgos ni inconvenientes para el acople de las mismas en el sistema.

Beneficios económicos y aceptación social: Se han realizado estudios socioeconómicos teniendo en cuenta también los beneficios sociales, así como un estudio de

preferencias en el que el 50 % de las personas pagaría un 10 % más por productos de AMTI.

Regulación de este tipo de actividad: No existen normativas para regular este tipo de acuicultura. La FAO publicó en el 2011 el Documento No. 5 de *Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable*. “Desarrollo de la acuicultura con Enfoque ecosistémico”, donde se promueve el crear/mejorar/fortalecer los marcos legales para el enfoque ecosistémico de la acuicultura, lo que establece las bases para dichos propósitos.

Bioseguridad: En cuanto al problema de agentes patógenos, hay divergencias en este sentido, pues depende de los tipos de especies a cultivar, los sistemas y las características naturales del entorno donde se desarrolle la actividad.

Experiencias de sistemas AMTI a nivel internacional

Los sistemas AMTI han sido desarrollados a nivel internacional con resultados positivos tanto para las comunidades costeras como para los sectores públicos y de gobierno involucrados, con beneficios sociales y económicos bien enmarcados, siendo los países asiáticos pioneros en establecer esta tecnología (Neori *et al.*, 2004; Ridler *et al.*, 2007; Soto, 2009). La aplicación de sistemas AMTI también se ha evidenciado en otros países del continente americano y en Europa, según Soto (2009), Miranda Baeza *et al.* (2010; 2011) y González-Henríquez *et al.* (2015) los más representativos son:

Chile

Proyecto FONDECYT, cultivo del salmón atlántico (*Salmo salar*) en jaulas flotantes asociados al cultivo de algas (*Macrocystis pyrifera*) y ostras (*Crassostrea gigas*).

Canadá

Bahía de Fundy (Fig. 8) desde 1995, se cultiva el salmón del atlántico (*Salmo salar*) en jaulas flotantes asociados al cultivo de algas (*Saccharina latissima* y *Alaria esculenta*) y mejillones (*Mytilus edulis*).



Fig. 8. Bahía de Fundy, Canadá. A la izquierda salmón, a la derecha mejillones y en el fondo macroalgas. Tomado de Soto (2009).

España

Plan Nacional de Cultivos Marinos Proyecto JACUMAR, “Acuicultura Integrada: experiencia piloto para el desarrollo de sistemas de cultivo multitrofos” del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Proyecto de investigación, enfocado a la mitigación del impacto de jaulas marinas *off shore* y al desarrollo de la acuicultura multitrofica en España a partir del 2012.

Andalucía

- Cultivo suspendido en longline de ostión (*Crassostrea gigas*) y macroalgas asociado a cultivo de lubina (*Dicentrarchus labrax*) en jaulas en mar abierto.
- Cultivo suspendido en cuerdas de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) asociado a cultivo de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en jaulas en mar abierto.
- Policultivo en esteros de ostión (*Crassostrea gigas*) y langostinos (*Pennaeus japonicus*), asociado a un cultivo de lubina (*Dicentrarchus labrax*).
- Cultivo de ostiones (*Crassostrea gigas*) asociado al efluente de naves de cultivo de peces de salinas transformadas.

Cataluña

- Cultivo larvario de pulpo y engorde de moluscos bivalvos en tierra mediante el uso del agua de vertido de engorde de peces marinos (dorada, corvina, lenguado).

Baleares

- Cultivo de mejillón (*Mytilus galloprovincialis*), zamburiña (*Chlamys varia*), centollo (*Maja squinado*) y holoturias, asociados a cultivo de corvina (*Argyrosomus regius*) en un polígono de jaulas en un entorno antropizado.

Galicia (Junta de Galicia, 2012)

- Cultivo suspendido de kombu (*Saccharina latissima*) en mar abierto asociado al cultivo de mejillón en sistema de batea. PORTO-MUIÑOS S.L.
- Cultivos de algas e invertebrados en el efluente de una instalación en tierra, de cultivo de lenguado y rodaballo con recirculación de agua. AQUACRIA S.L.
- Cultivo de macroalgas (*Ulva* spp. y *Saccharina latissima*) en el efluente de una piscifactoría de rodaballo en tierra (*Scophthalmus maximus*), asociando además invertebrados suspensivos (*Aneemonia viridis*) y/o filtradores, distintas especies de almeja (*Tapes decussata* y *Ruditapes philippinarum*). PUNTA MOREIRAS S.L., INTECMAR.
- Cultivo en jaulas de peces (rodaballo) asociados al cultivo de macroalgas (*Saccharina latissima*). MARCULTURA S.L.

Murcia

- Cultivo suspendido de ostra plana (*Ostrea edulis*) asociado a cultivos de dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en jaulas flotantes en mar abierto.
- Cultivos de espardeña (*Stichopus regalis*) y cohombro de mar (*Holothuria tubulosa*) en fondos bajo granja de dorada (*Sparus aurata*) en jaulas flotantes en mar abierto.

Canarias

- Cultivo suspendido asociado a jaulas flotantes en mar abierto: mejillón (*Perna perna*), macroalgas (*Ulva rigida*) y equinodermos (*Paracentrotus lividus*).

México

- Cultivo de tilapia en agua salada (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) con semilla de almeja (*Argopecten ventricosus*).
- Cultivo de tilapia en agua salada (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) asociado al cultivo del ostión del pacífico (*Crassostrea gigas*).
- Cultivo de camarón blanco del Pacífico asociado al cultivo de moluscos y macroalgas (*Litopenaeus vannamei* – *Mytella guyanensis* – *Gracilaria vermiculophylla*).

El conocimiento de los beneficios biológicos, ecológicos, económicos y sociales de los sistemas AMTI se hace imprescindible para el desarrollo futuro y la sostenibilidad acuícola. La concientización de las entidades de gobierno, públicas y comunidad en general, a través de los medios de divulgación y de información masiva sobre los sistemas AMTI y sus características y bondades, ayudaría en la formación de capacidades para avanzar sobre una acuicultura que establece de forma natural los principios de las Buenas Prácticas de Manejo (BPM). Para ello se debe establecer el valor económico y ambiental de los sistemas AMTI y sus coproductos (las algas marinas y los invertebrados pueden ser especies cultivadas muy rentables, no solo por sus servicios como biomitigadores de efluentes, sino también por su diferenciación como Cultivos Premium que diversifican el sector acuícola y reducen riesgos); y tener en cuenta los criterios de selección de especies en función de las condiciones ambientales y oceanográficas de los sitios propuestos para el desarrollo de estos sistemas de cultivo, de acuerdo con las funciones complementarias de las especies dentro del ecosistema.

Retos y desafíos para el desarrollo de la acuicultura multitrófica integrada (Chopin et al., 2012)

Falta de conocimiento biológico de muchas especies. La gran variedad de especies marinas posibles a

cultivar indica la necesidad de mejorar los conocimientos sobre la biología y desarrollo de estas, con el fin de poder establecer policultivos que tengan una huella medioambiental menor que los monocultivos usados tradicionalmente.

Gestión de los cultivos. La acuicultura es una actividad donde los empresarios y pequeños productores, salvo algunas excepciones, se han especializado en el cultivo de pocas especies de forma individual, lo que dificulta la implementación de sistemas multitróficos, ya que carecen de los medios y formación adecuados para la explotación de nuevas especies.

Mercado. La mayor parte de la actividad acuícola vende sus productos en el mercado local, que normalmente no estará habituado a las nuevas especies que se introduzcan, por lo que los estudios de mercado, de diversificación de productos y de aceptación por los consumidores, son una tarea inminente para el desarrollo de los sistemas AMTI.

Viabilidad económica. Algunas especies marinas no tienen un mercado estable o unos precios atractivos que hagan posible su explotación comercial. Las estructuras flotantes para cultivo de especies marinas tienen un costo elevado dado su alto nivel de tecnificación y no todas las especies tienen un precio de mercado que justifique una inversión en estructuras de cultivo, por lo tanto para la elección de las especies a cultivar en los sistemas AMTI se debe tener en cuenta esta premisa.

Inexistencia de proveedores y legislación ambiental. Actualmente hay muy pocas empresas dedicadas a la venta de "plántula" de alga para su engorde, tampoco es fácil conseguir semillas de algunos moluscos bivalvos e incluso existen leyes muy estrictas sobre la exportación de animales vivos destinados al cultivo o repoblación que hacen aún más difícil la implantación de nuevas especies de cultivo en determinadas zonas.

Dificultad de contrastar resultados. La dinámica y complejidad del medio marino hace que sea difícil comparar resultados entre zonas y países, así como extrapolar experiencias de cultivo. El cálculo de las densidades de cada especie a cultivar, el tipo de sistema, el aprovechamiento de los residuos, la mejora de la calidad del agua, así como la capacidad del medio para asimilar las actividades de cultivo, varían en función de las especies y de los ecosistemas involucrados, difieren entre zonas y países.

Según González-Henríquez et al. (2015) la AMTI es un sistema que trata de imitar el ciclo natural de los nutrientes cultivando especies de diferentes niveles tróficos en una misma área. Los beneficios obtenidos mediante este sistema de cultivo no están muy contras-

tados todavía, al ser una forma de cultivo novedosa. Por otro lado, la efectividad del sistema dependerá mucho de factores ambientales, como los niveles de nutrientes existentes en la zona, la disponibilidad de alimento y la hidrodinámica. La AMTI en condiciones de mar abierto presenta también algunos problemas de cara a la operativa comercial, la eficiencia de los diferentes cultivos y la dificultad para rentabilizar todos los cultivos y aprovechar las ventajas de la economía de escala. Se puede afirmar que incentivar el cultivo de diversas especies puede mitigar algunos impactos ambientales, pero su mayor ventaja es que se conseguiría crear un sector productivo más resiliente y mejor preparado para soportar los constantes cambios del mundo actual. Se trata de una actividad emergente y con buenas perspectivas de futuro, pero que aún debe resolver muchas incógnitas para que sea considerada una actividad viable económicamente.

Potencialidades de Cuba para el desarrollo de los sistemas AMTI

En la plataforma cubana, además de especies de peces estuarinos y pelágicos con potencialidades para su cultivo, habitan diferentes especies bentónicas de valor comercial, cuyos hábitos alimentarios (fitofiltradores y detritófagos) los clasifican como depuradores

de los ecosistemas y potencialmente utilizables para mitigar los desperdicios de los sistemas de cultivo en jaulas flotantes, tales como los erizos, los camarones silvestres de las especies *Farfantapenaeus notiales* y *Litopenaeus schmitti*; varias especies de moluscos bivalvos, entre ellos la almeja (*Arca zebra*), el ostión de mangle (*Crassostrea risophorae*) y el ostión de fondo (*Crassostrea virginica*); además de las holoturias o pepinos de mar. En el caso de los organismos filtradores de materia inorgánica, las algas más comunes son la gracilaria y el sargassum (Fig. 9).

Cuba ofrece oportunidades ambientales, de mercado, capital humano y un entorno de estabilidad política, que deben aprovecharse considerando las proyecciones de demanda de productos pesquero-acuícolas tanto a nivel nacional como regional; y la riqueza natural de las especies potenciales que habitan en la plataforma de la isla; todo lo cual brinda una garantía para el desarrollo de los sistemas AMTI, independientemente del bajo nivel en el avance de las técnicas de cultivo de organismos marinos a escala comercial, exceptuando el camarón blanco del pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y el ostión de mangle (*C. risophorae*), cuyas técnicas de cultivo están establecidas, obteniéndose en el 2019 más de 6 000 t de camarón de cultivo y 360 t de ostión de mangle en su concha provenientes de granjas acuícolas (SIEC-GEIA, 2020).

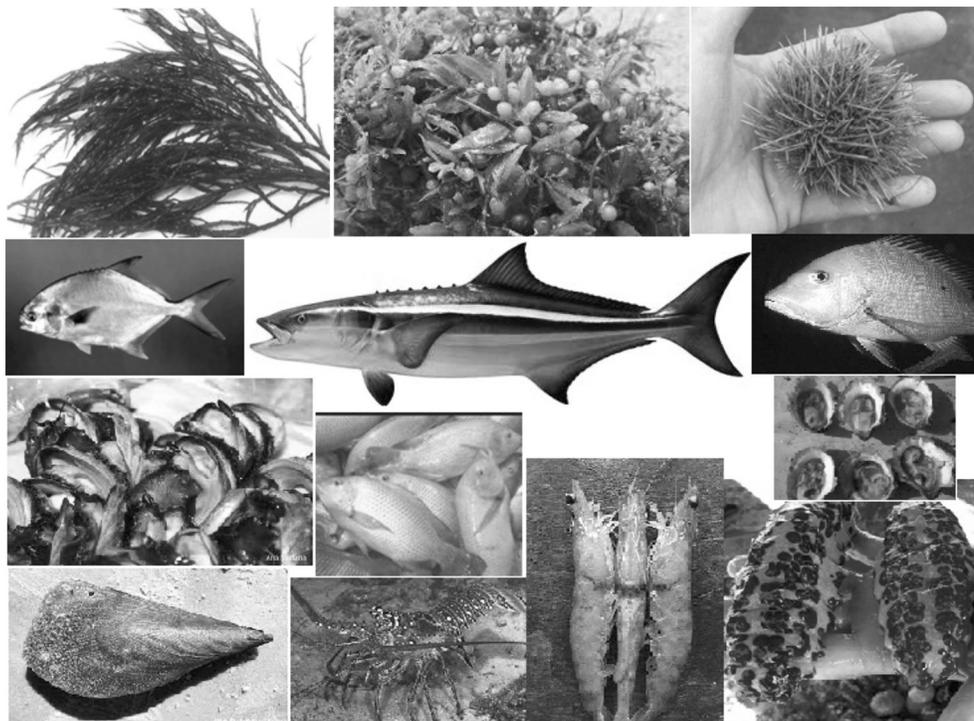


Fig. 9. Especies marinas potenciales de la plataforma cubana que pueden ser utilizadas en los sistemas AMTI.

Es importante señalar que el desarrollo de los sistemas AMTI en Cuba requerirá de incentivos económicos que financien las tecnologías de cultivo que se aplican en estos sistemas, las cuales son costosas y se adquieren por lo general en el mercado internacional, además de la demanda de materiales e insumos, principalmente el alimento para los organismos que encabezan la cadena trófica en el sistema (peces/camarones), los que necesitan pienso de calidad, que también su costo es elevado en el mercado por el nivel de proteína animal que contienen según el tipo de especie para la que se fabrican. Existen alternativas de fabricación y uso de dietas de bajo costo utilizando residuos o descartes de las industrias procesadoras de alimentos (proporcionan un nivel de proteína animal) que pudieran absorber la demanda de producción de alimentos para los sistemas AMTI, pero siempre estarían combinados con el alimento artificial para completar la demanda de proteína/vitaminas que requiera la especie en cultivo (Tacon *et al.*, 2009; Llanes *et al.*, 2019; Mirabent-Casals *et al.*, 2019; Schwahofer-Landuci *et al.*, 2019).

Otras barreras a tener en cuenta para el progreso de los sistemas AMTI en la Isla, son la incidencia de los ciclones tropicales dada la posición geográfica de Cuba en el cinturón del Caribe (Emanuel, 2005; Buesa, 2012; Betanzos-Vega *et al.*, 2019), por lo que la selección de los sitios para la instalación de estos sistemas debe estar aparejada a identificar zonas que ofrezcan protección ante estos eventos naturales, así como utilizar sistemas de fácil desmonte; la carencia de tecnologías de cultivo para satisfacer la demanda de "semilla" de especies como macroalgas, pepino de mar, moluscos y peces autóctonos, dada la no existencia en el territorio de centros de desove que las produzcan, lo que implica que las primeras experiencias de AMTI se realicen con "semilla" y juveniles provenientes del medio natural, mientras se establecen los mecanismos financieros e inversiones que atiendan la necesidad de construir en el territorio nacional centros de desove para estos propósitos y; la captación y capacitación de recursos humanos para atender estas actividades desde el punto de vista científico y productivo.

La pesca y la acuicultura pueden convertirse en un potente instrumento para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población cubana, en la medida en que ambos subsectores sean incorporados en las agendas de desarrollo nacional y local. El establecimiento de políticas, incentivos financieros y acciones encaminadas al desarrollo del maricultivo y al mismo tiempo, orientadas a fortalecer la resiliencia de las comunidades pesqueras y acuícolas ante los efectos negativos del cambio climático, es una meta que con inversiones y estrategias de desarrollo a corto, mediano y largo plazo, puede ser alcanzada y superada, siempre que los actores y beneficiarios estén completa-

mente concientizados de la importancia y beneficios de los sistemas AMTI para la preservación de los ecosistemas marino-costeros y sus recursos naturales. La pesca extractiva no puede continuar siendo la base de suministro de proteína animal proveniente del mar para la alimentación humana; el futuro para suplir esta demanda lo debe garantizar el desarrollo acuícola sostenible y sustentable.

CONSIDERACIONES GENERALES

Los sistemas AMTI son una herramienta valiosa para el desarrollo de una industria acuícola sostenible; son sistemas que usan prácticas acuícolas ambientalmente responsables, económicamente rentables y socialmente aceptables, que promueven el uso de los nutrientes en el medio al mismo tiempo que reducen su impacto. Con estos sistemas se logra la diversificación de las producciones y la diferenciación para su comercialización con mayores beneficios.

Desde el punto de vista social y económico, los sistemas AMTI son técnicas que le atribuyen valor a la acuicultura como un impulsor del bienestar de la comunidad, además de indicadores familiares como empleo, sostenibilidad económica y alimentaria; promueven el desarrollo sostenible, la equidad y la resiliencia entrecruzada entre los sistemas sociales y ecológicos, tanto a nivel local como territorial. Con el uso de los sistemas AMTI se aprovechan los ecosistemas marinos para el desarrollo acuícola como una forma más para mejorar la gobernanza dentro del sector pesquero.

Los cultivos sostenibles en el mar, acuicultura ecológica o biológica, es según Chopin (2013), un sistema que puede evolucionar indefinidamente hacia una mayor utilidad para los humanos, una mayor eficiencia del uso de los recursos y un equilibrio con el medio ambiente que sea favorable a la mayoría de los seres humanos y otras especies.

REFERENCIAS

- Alvarez-Lajonchère, L. & Cittolin, G. (2016). *La "Vallicoltura" italiana, un sistema de policultivo para zonas costeras y estuarinas* (pdf). Disponible en www.industriaacuicola.com
- Angel, D. & Freeman, S. (2009). Integrated aquaculture (INTAQ) as a tool for an ecosystem approach to the marine farming sector in the Mediterranean Sea. In D. Soto (Ed.). *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 529, Rome, FAO, pp. 133-183.
- Bansemir, A., Blume, M., Schröder, S. & Lindequist, U. (2006). Screening of cultivated seaweeds for anti-

- bacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture*, 252, 79- 84.
- Barrington, K., Chopin, T. & Robinson, S. (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In D. Soto (Ed.), *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 529, Rome, FAO, pp. 7-46.
- Barrington, K., Ridler, N., Chopin, T., Robinson, S. & Robinson, B. (2008). Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture International*. DOI: 10.1007/s10499-008-9236-0.
- Betanzos-Vega, A., Capetillo, N., Lopeztegui, A., Garcés, Y. & Tripp-Quezada, A. (2019). Parámetros meteorológicos, represamiento fluvial y huracanes. Variaciones en la hidrología del golfo de Batabanó, Cuba. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(3), diciembre.
- Buesa, R. J. (2012). Hurricanes and the Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*) fisheries. *Proc. Gulf Caribb Fish Inst.*, 64, 429-437.
- Chopin, T. et al. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: key toward sustainability. *Journal of Phycology*, 37, 975-986.
- Chopin, T. & Robinson, S. (2004). Defining the appropriate regulatory and policy framework for the development of integrated multi-trophic aquaculture practices: introduction to the workshop and positioning of the issues. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 104(3), 4-10.
- Chopin, T. (2006). Integrated Multi-Trophic Aquaculture. What it is and why you should care... and don't confuse it with polyculture. *Northern Aquaculture*, 12(4), 4.
- Chopin, T., Robinson, S. M. C., Troell, M., Neori, A., Buschmann, A. H. & Fang, J. (2008). Multi-trophic integration for sustainable marine aquaculture (pp. 2463-2475). In: *The Encyclopedia of Ecology. Ecological Engineering*, vol. 3. S. E. Jørgensen and B. D. Fath (Eds.). Elsevier, Oxford.
- Chopin, T. (2012). Progression of the Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). Concept and upscaling of IMTA systems towards commercialization. *Aquaculture Europe*, 36(4), December, 2011 (2012).
- Chopin T. (2013). Integrated Multi-Trophic Aquaculture Ancient, Adaptable Concept Focuses On Ecological Integration. *Global Aquaculture Advocate*, pp. 16-19.
- Cicin-Sain, B. & Knecht, R. W. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and Practices*. Island Press, Washington, D.C., 517 pp.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688. <https://doi.org/10.1038/nature03906>
- FAO (2011). Desarrollo de la acuicultura. 4. Enfoque ecosistémico a la acuicultura. *Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 5, Supl. 4*, Roma, FAO, 60 pp.
- FAO (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma, 250 pp.
- Gentry, R. R., Lester, S. E., Kappel, C. V., White, C., Bell, T. W., Stevens, J. & Gaines, S. D. (2016). Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution*, 00, 1-11. DOI: 10.1002/ece3.2637.
- González-Henríquez, N., Rey-Méndez, M., Pérez, Y., Bilbao, A., Pavón N., Louzara, G. & Domínguez, R. (2015). Cultivos multitrofos: complementos a la explotación de otras especies de fuerte presencia en el mercado. *Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. VII* (2015), 167-178. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/292669002>
- Hamel, J. F. & Mercier, A. (1997). Sea cucumbers: current fishery and prospects for aquaculture. *Aquaculture Magazine*, 23, 42-53.
- Junta de Galicia (2012). Guerrero, S. & Cremades, J. (Eds.), *Una alternativa sostenible y de futuro para los cultivos marinos en Galicia*. Disponible en: <https://www2.unb.ca/chopinlab/articles/files/Guerrero%20and%20Cremades%202012%20IMTA%20final%20Castilian%20HR.pdf>
- Leonczyk, A. (2013). Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). In: *Traditional and Integrated Aquaculture* (pp. 81-91). Noruega, Bellona.
- Llanes, J., Portales, A. & Toledo, J. (2019). Posibilidades del ensilado cárnico en dietas extrusadas para *Clarias gariepinus*. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 36(2), 68-72.
- Macchiavello, J. & Bulboa, C. (2014). Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with the red abalone *Haliotis rufescens*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42, 523-533
- Mata, L., Silva, J., Schuenoff, A. & Santos, R. (2006). The effects of light and temperature on the photosynthesis of the *Asparagopsis armata* tetrasporophyte (*Falkenbergia rufolanosa*), cultivated in tanks. *Aquaculture*, 252, 12-19.
- Mirabent-Casals, M., Toledo, J. & Jaime Ceballos, B. (2019). Valor nutricional de piensos comerciales cubanos para el alevinaje de tilapia roja (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) en ambiente marino. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 36(1), 9-16.
- Miranda Baeza, A., Lizarraga Armenta, J., Rivas Vega, M., López Elías, J. A. & Nieves Soto, M. (2010). Integrated Culture of Tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) and Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) in a Recirculation

- System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(5), 763-771.
- Miranda Baeza, A. et al. (2011). Acuicultura Multi-trófica, una opción para el uso integral de los recursos naturales. En: L. E. Cruz Suárez, D. Ricque Marie, M. Tapia Salazar, M. G. Nieto López, D. A. Villarreal Cavazos, J. Gamboa Delgado & L. Hernández Hernández (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. et al. (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231, 361-391.
- Nobre, A. M., Robertson-Andersson, D., Neori, A. & Sankar, K. (2010). Ecological-economic assessment of aquaculture options: Comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. *Aquaculture*, 306, 116-126.
- Purcell, S. W., Patrois, J. & Fraisse, N. (2006). Experimental evaluation of co-culture of juvenile sea cucumbers, *Holothuria scabra* (Jaeger), with juvenile blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). *Aquaculture Research*, 37, 515-522.
- Ridler, N. et al. (2007). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): a potential strategic choice for farmers. *Aquaculture Economics and Management*, 11, 99-110.
- Ross, K. A., Thorpe, J. P. & Brand, A. R. (2004). Biological control of fouling in suspended scallop cultivation. *Aquaculture*, 229, 99-116.
- Santos, R. (2006). Special issue opening comments: seaweed-based integrated mariculture. *Aquaculture*, 252, 1-2.
- Schwahofer-Landuci, F., Nishioka-Rombenso, A., Duarte-Pontes, M., Pereira-Maia, M., Eler, G., Cavalheiro-Araujo, B. & Da Silva-Poersch, L. H. (2019). Common moist diet replacement to promote sustainable *Cobia* *Rachycentron canadum*. *Sci. Agric.*, 76(2), 139-147. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0320>
- SIEC-GEIA (2020). *Sistema de Información Estadística Complementaria (SIEC) del Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA)*, 2009-2020.
- Skar, C. K. & Mortensen, S. (2007). Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels *Mytilus edulis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 74, 1-6.
- Soto, D. (2009). Integrated mariculture, a global review. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 529. Rome, FAO, 183 pp.
- Tacon, A. G. J., Metian, M. & Hasan, M. R. (2009). Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 540. Rome, FAO, 209 pp.
- Troell, M. (2009). Integrated marine and brackishwater aquaculture in tropical regions: research, implementation and prospects. In D. Soto (Ed.), *Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 529. Rome, FAO, pp. 47-131.