del Río-Rodríguez, R.E., Navarro-Flores, J., Paredes-Trujillo, A., Mendoza-Carranza, M., obos-Pox,J.M., Ávila-Castillo, R.A., Gómez-Solanom M.I. 2023. Estrategias y tendencias de la acuicultura en el camino hacia la sustentabilidad y la seguridad alimentaria. p. 157-176. En; Rivera-Arriaga E., Azuz-Adeath, I. (eds). La Década del Océano en México 2021-2030: La Ciencia que Necesitamos. RICOMAR, Universidad Autónoma de Campeche. 472 p. ISBN 978-607-8907-12-0. doi 10.26359/EPOMEX01202305

Estrategias y tendencias de la acuicultura en el camino hacia la sustentabilidad y la seguridad alimentaria

R. E. del Río-Rodríguez, J. Navarro-Flores, A. Paredes-Trujillo, M. Mendoza-Carranza, J. M. Cobos-Pox, R. A. Ávila-Castillo, M. I. Gómez-Solano

Ahora, cultivemos los mares
The Nature Conservancy

Resumen

La acuicultura, definida como el cultivo de plantas y animales acuáticos es la actividad productiva de mayor expansión y crecimiento en este momento en el mundo. Es también la actividad más novel comparada con otros sistemas de producción de alimento para consumo humano y animal. Le ha tocado a la acuicultura el seguir creciendo en un mundo de cambios rápidos y grandes retos de corto plazo, tales como mantenerse sostenible en un mundo amenazado por el calentamiento global y la demanda de alimentos sanos ante el incremento de la sobrepoblación humana. La acuacultura tradicionalmente ocupa grandes espacios y usa inmensas cantidades de agua; consume una parte importante de harina y aceite de pescado en la fabricación de sus alimentos y tiende a eutrofizar los cuerpos de agua aledaños a sus cultivos. Es precisamente en estos temas que existe intensa actividad por parte de los científicos

de la acuicultura, en las que se han abordado propuestas tecnológicas para disminuir esos impactos. El presente capítulo es una breve reseña de las más importantes propuestas tecnológicas en acuacultura, cuyo fin es el de aprovechar al máximo el espacio de cultivo, el reciclaje del agua, el aprovechamiento de redes tróficas para maximizar la utilidad del alimento, el reemplazo parcial o total de la harina de pescado en la elaboración de piensos acuícolas y la cancelación de los efectos de la polución.
Palabras clave: Acuacultura, sutentabilidad, seguridad alimentaria.

Abstract

Aquaculture, the growth of aquatic animals and plants is currently the fastest growing sector of animal production for human consumption worldwide. It is also the most novel food production activity when compared with other older food produce systems. Aquaculture needs to keep growing in order to meet the demand in the coming years; it must also keep its sustainability in a world of constant change and difficult challenges, such as overpopulation and global warming. Traditionally, aquaculture occupies large areas and utilizes considerable amounts of waters; it also depends on meal and fish oil in their fish food production and tends to contaminate water bodies. Aquaculture scientists are currently busy exploring different technological approaches aimed to minimizing these effects. The present chapter introduces briefly the most important technologies currently in use in commercial and experimental aquaculture for sustainability and food security.
Keywords: Aquaculture, sustainability, food security.

Introducción

En la década de los 1950´s la acuicultura del mundo producía tan solo el 4 % de productos pesqueros para consumo humano. En tan solo 70 años esta actividad suple el 52 % de este consumo y ante el continuo declive de las pesquerías y el aumento en el consumo de productos de pescado *per cápita* en el mundo, se necesita quintuplicar la producción acuícola actual para responder a la demanda que se generará entre el 2030 al 2050 (FAO, 2018). El crecimiento de la acuicultura ante otras actividades de producción de antigüedad milenaria creadas por el hombre es inusitado; sin embargo, a pesar de ser la actividad productiva más novel, enfrenta los mismos retos de crecimiento: sustentabilidad a la par de seguridad alimentaria (Martins *et al.,* 2010). Esto implica que la actividad produzca alimentos nutritivos, seguros y disponibles mientras preserva la integridad del planeta y los recursos de las generaciones futuras.

Como toda actividad productiva, la acuicultura no está exenta de utilizar recursos naturales y espacios en la consecución de sus objetivos y, por ende, causar impactos en el ambiente natural. Y es sobre éstas dos vertientes sobre las que los científicos de esta actividad emplean a fondo toda su creatividad. Es decir, producir la misma cantidad en lo mínimo de espacio y con menor uso del agua. La utilización del agua dulce o marina y de espacios como terrenos costeros o interiores, fiordos, bahías, costas o mar abierto con tránsito marino para la producción, son los dos principales conflictos de la actividad y a la vez en donde causa mayor impacto. En segundo lugar, pero no menos importante, es la utilización de harina de pescado para la producción de piensos acuícolas -considerado la paradoja de la acuicultura- y la generación de compuestos nitrogenados derivado de los desechos y el alimento no consumido y su liberación al ambiente. El presente capítulo compendia de forma breve las principales estrategias y enfoques en investigación recientemente aplicados para reducir la utilización del agua y del espacio en la producción sustentable de especies acuícolas y las tecnologías con respecto al impacto de la alimentación dependiente de harinas de pescado y la polución producidos por la actividad.

Sistemas de Recirculación Acuícola

Los sistemas de recirculación acuícola (SRA), o por sus siglas en inglés (RAS), se han desarrollado para atender a las crecientes regulaciones ambientales en países con acceso limitado a tierra y agua. La producción en los sistemas RAS es una alternativa al cultivo de organismos acuáticos, por medio de la reutilización del agua previamente tratada de manera física, química y biológica; es esencialmente un sistema de producción cerrado que re-utiliza más del 85 % de su agua para la producción continua y se puede incorporar a otros sistemas de producción agrícola, como la acuaponía y los sistemas bio-floc (ver más adelante). Los RAS solo renuevan un 10 % de agua del sistema que es la que pierde por evaporación, limpieza o purgas de los tanques de cultivo. El cultivo de los peces y/o crustáceos en los RAS se realiza bajo condiciones totalmente

controladas, proporcionando un ambiente adecuado para promover el crecimiento y o reproducción de los cultivos acuáticos, ofreciendo condiciones óptimas de oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal (NAT), nitritos, nitratos, dióxido de carbono, temperatura, pH y niveles de alcalinidad en el sistema, lo que da la posibilidad a los piscicultores a utilizar bajos volúmenes de agua y liberar poca o ninguna contaminación al medio ambiente (Timmons *et al.,* 2002). Los RAS se presentan como alternativa para contrarrestar los impactos ambientales, tecnología apropiada y eficiente en el control de enfermades.

Los componentes básicos de un RAS (figura 1), son los tanques de cultivo, filtros mecánicos para la remoción de sólidos, filtros biológicos para la descomposición y la eliminación de los residuos de excreción y alimento no consumido, aeración y recirculación del agua, dispositivos de desinfección como filtros ultravioletas y generadores de ozono y fraccionador de espuma para la remoción de solidos de partículas finas (Martins *et al.,* 2010). Las inversiones de capital al principio son altas, por lo cual es importante su correcta configuración para la especie que se requiere cultivar y la producción que se desea obtener (cada especie requiere condiciones diferentes), en decir, a partir de la configuración básica, los RAS son muy variados en su conformación final. Por encima del diseño, es también muy importante un buen manejo alimenticio y vigilancia de la calidad del agua, ya que influye directamente en la viabilidad económica tales como el capital invertido, costes de mantenimiento, ritmo de producción y mortalidad entre otros (Beveridge y McAndrew, 2000; Schneider *et al.,* 2006).

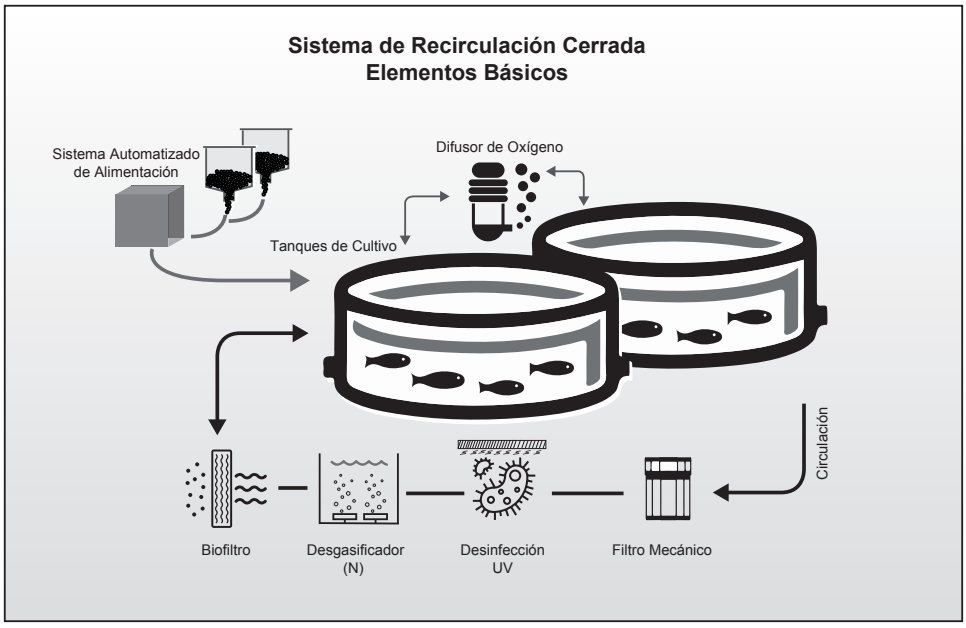

Figura 1. Esquema que ilustra los componentes principales de un sistema de recirculación cerrada, dond el reemplazo de agua es menor al 10 %. Los sistemasde recirculación cerrada o RAS (por sus siglas en inglés) son parte de latecnología en acuicultura para abatir los conflictos por el uso del agua y su ahorro

Actualmente se producen más de 10 especies en RAS a nivel industrial principalmente para la producción de semillas de peces, (tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), bagre africano (*Clarias gariepinus*), anguila (*Anguilla anguilla*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykis*) como principales especies, de agua dulce y el rodaballo, la lubina, el lenguado, barramundi, el robalo blanco y el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) como principales especies marinas) (Martins *et al.,* 2010; Dalsgaard *et al.,* 2013; Ibarra-Castro *et al.,* 2017.

Por lo tanto, los RAS son sistemas acuícolas intensivos altamente productivos, ecológicos y eficientes en el uso del agua, que no están asociados con impactos ambientales adversos, como la destrucción del hábitat, la contaminación del agua por la eutrofización, el agotamiento biótico, los efectos ecológicos en la biodiversidad debido al escape de peces en cautiverio y especies exóticas, brotes de enfermedades y transmisión de parásitos (Ahmed y Turchini, 2021).

Sistemas de Cultivo Biofloc

Los sistemas de cultivo Biofloc son parecidos a los SRA en el sentido de su objeto con respecto a reducir el uso de agua y los espacios de cultivo manejando altas densidades en los tanques, pero acoplados con la premisa de reducir el uso de alimentación artificial aunado a una tasa de cero recambio. Asimismo, limitar o controlar los brotes de enfermedades y contagios, con el uso de tecnología que minimice los costos de operación y la liberación de materia orgánica cuyo nitrógeno conlleva a la eutrofización de ambientes acuáticos aledaños (Cienfuegos *et al.,* 2017). El sistema que cumple con estos requisitos es el llamado Biofloc o tecnología Biofloc (BFT inglés) (Hargreaves, 2013; Cienfuegos *et al.,* 2017; Hossein y Sharifinia, 2020). La BFT consiste en el desarrollo de agregados microbianos formados a partir de la relación carbono: nitrógeno (C: N), en el agua con bajo o nulo recambio, alta oxigenación, y dietas con porcentajes de proteína bajos. El sistema requiere de una fuente externa de carbono como la melaza (caña de azúcar) y de N a partirdel alimento y excretas de los peces, lo cual alimenta el "*floc*" o suspensión (figura 2). Las fuentes más utilizadas de carbono son el salvado de arroz, trigo y cebada, entre otros (Cienfuegos *et al.,* 2017). La tecnología Biofloc depende de que esta biomasa formada por materia orgánica y microorganismos se mantenga suspendida en la columna de agua y disponible para ser ingerida por la especie objeto del cultivo y a su vez, se retroalimente con el reciclaje de los desechos del sistema y el continuo agregado de fuentes de carbono y nitrógeno al agua. Un aspecto contraproducente en esta tecnología es el uso intenso de aireación con el objeto de mantener el flóculo en suspensión, lo cual incrementa el uso de energía eléctrica y en consecuencia los costos de producción.

Está tecnología ha sido aplicada en sistemas de cultivo de agua dulce y marinos con cierto grado de éxito. El *floc* se compone básicamente de bacterias heterótrofas, algas, protozoos y partículas de materia orgánica como las heces y el alimento no consumido dentro del sistema (Hargreaves, 2013; Hossein y Sharifinia, 2020); algunas

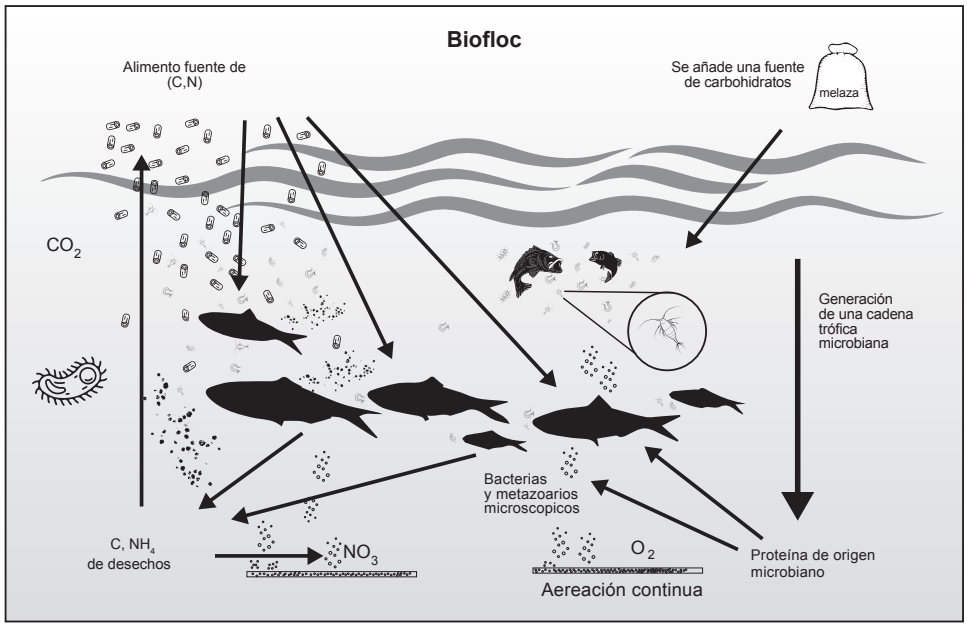

Figura 2. El cultivo "Biofloc" es parte de la acuicultura moderna y funciona bajo un principio ecológico quasi-autónomo de producción de alimento en el mismoreservorio de cultivo, con recambio de agua cero, dado una fuente decarbohidratos y nitrógeno con profusa aireación para producir alimento natural en suspensión (floc) y éste se incorpore a la ingesta de los organismos objeto delcultivo.

veces hasta metazoarios como micro-nemátodos y copépodos. Al estar en equilibrio, las bacterias patógenas no tienen oportunidad de causar infección en los peces y a su vez, el nitrógeno liberado en las heces y el alimento no consumido no causa daño, pues es reciclado por la composta microbiana. La BFT cuenta con antecedes de ser empleado en el cultivo de camarones y peces. En el cultivo del camaróncamarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* se ha descubierto también que el agua BFT ofrece factores que mejoran el crecimiento, como proteínas microbianas, además de reforzar su sistema inmune presentando resistencia a las infecciones por *Vibrio parahaemolyticus* (Ju *et al.,* 2008; Hargreaves, 2013; Promthale *et al.,* 2019). Otro hallazgo es la mejora en el estado de los antioxidantes (Xu y Pan, 2013), en la tilapia *Oreochromis niloticus* y curvina roja *Sciaenops ocellatus* (Betanzo-Torres *et al.,* 2019; Poersch *et al.,* 2021).

La tecnología biofloc (BFT) requiere de un conocimiento profundo de la dinámica del cultivo a nivel microscópico, así como el cálculo de balances de materia en términos de carbono y nitrógeno a la par de los requerimientos básicos de la especie en cultivo. La tecnología ha reemplazado con éxito algunos métodos de cultivos de peces convencionales como el caso del camarón y la tilapia, reduciendo el espacio y el consumo de agua y su impacto negativo en el ecosistema. Al momento se considera el sistema más amigable con el medio ambiente, pues fomenta al crecimiento de bacterias benéficas en el agua de los cultivos

para mantener la calidad del agua, ayuda a reducir los costos de producción (menor suministro de alimento exógeno) con bajos niveles de conversión alimenticia (menos alimento, más crecimiento), permite aumentar las densidades de siembra y biomasa por metro cubico y reduce significativamente el uso del agua al mantener cero recambio (Hossein y Sharifinia, 2020). El biofloc representa básicamente un ecosistema acuático mantenido de manera artificial pero sujeto a variables no controladas como la temperatura principalmente, que influye en la dinámica del crecimiento de los microorganismos, lo cual genera en ocasiones un imbalance en el floc provocando fluctuaciones no esperadas en la producción. En contraposición, los productos acuícolas generados en sistemas Biofloc alcanzan un mayor precio de mercado pues la percepción del público es que esta producción está ligada a un sistema orgánico y amigable con el ambiente.

Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA)

La acuicultura multi-trófica integrada, se define como la acuicultura que hace un mejor aprovechamiento del alimento, retirando el posible exceso de materia orgánica generada en el cultivo acuícola principal mediante la incorporación de cultivos secundarios; bajo este principio se genera una reducción de impacto al medioambiente, una diversificación de especies y un beneficio económico extra (figura 3).

En este esquema se recomienda que la acuicultura tradicional monocultivo (peces, camarón), se integre con macoinvertebrados bentónicos, filtradores en suspensión y plantas acuáticas. Esta tecnología fue denominada AMTI (*Acuicultura Multi-trófica Integrada*) o conocida internacionalmente como Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) (Costa *et al.,* 2021).

La idea núcleo de esta propuesta productiva consiste en que el alimento peletizado o aglomerado por extrusión dado a la especie objetivo (*e.g.* El salmón), por su forma de engullir y masticar el alimento, genera particulado grueso y fino que no logra ingerir y que cae al fondo de la jaula marina o queda en suspensión. Debajo de esta se propone otro encierro con un invertebrado que puede ser pepino de mar, langostas o camarones que aprovecharían este granulado grueso. Por otra parte, el granulado fino del alimento cuyo componente es principalmente nitrógeno, tiene mayor flotabilidad, serviría de alimento a moluscos o anélidos filtradores, así como macroalgas marinas suspendidas a los lados de la jaula principal que absorberían el nitrógeno y el fosforo molecular. De esta manera muy poco del alimento es desperdiciado en esta cadena de alimentación con aprovechamiento total de alimento industrializado.

Esta tecnología es exclusiva del ambiente marino y se viene desarrollando en los últimos años en sistemas de jaulas marinas y cultivos en la costa con algunas propuestas en tierra usando agua de mar. Canadá y España han sido pioneros en esta tecnología y su desarrollo se ha manifestado también en Chile, Sudáfrica, Israel, China, Reino Unido, Irlanda, Portugal, Francia, Turquía, Noruega, Japón, Corea, Tailandia, Estados Unidos y México (Chopin *et al.,* 2010). Los métodos de acuicultura integrada permiten producir biomasa adicional para otros usos

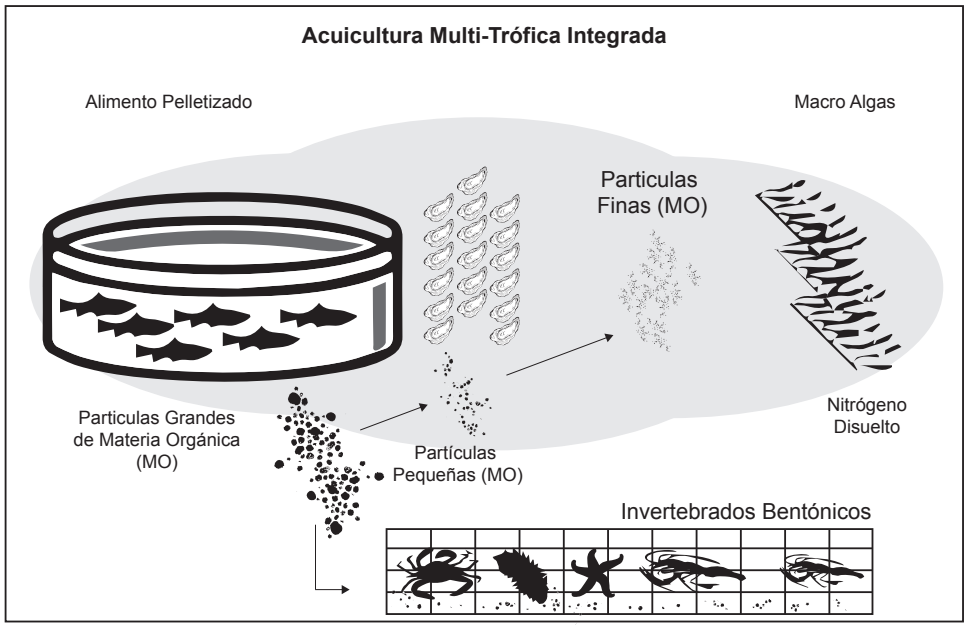

Figura 3. El concepto de acuicultura multi-trófica se basa en el aprovechamiento casi total del alimento balanceado y los subproductos que se generan como granulado grueso, fino y extrafino durante la dispersión. Estos granulados son aprovechados por elementos animales menores de la red trófica (predadores, ramoneadores y filtradores) e indirectamente por elementos vegetales, aprovechándose el alimento balanceado a su máximo posible.

sin suponer un gasto añadido (Troell *et al.,* 2003). Aunque se basa en un principio general, la composición de un IMTA en los distintos niveles ofrece la oportunidad de utilizar varias especies o conformaciones, añadiendo así un interesante reto de investigación. La mayoría de estos sistemas aún están en evaluación. Los IMTA, ofrecen ventajas económicas en la producción simultánea de diferentes especies de alto valor comercial con el objetivo de incrementar la rentabilidad de todo el sistema productivo (Troell *et al.,* 2003). Por ejemplo, el IMTA, se está aplicando en el cultivo o producción de trucha (*Onchorhynchus mykiss irideus*), dos toneladas/año, mariscos (mejillones azules *Mytilus edulis*) 6 toneladas/año y algas (sugar kelp *Saccharina latissima*) una tonelada/año de producción (Buck *et al.,* 2018). Este tipo de tecnología se puede aplicar a los sistemas de cultivo en jaulas que actualmente cultivan seriola cola amarilla (*Seriola rivoliana*) en frente de la bahía de La Paz, México, al igual que el cultivo de dorada (*Sparus aurata*) frente a las costas de Ashdod (Israel) en el mar Mediterráneo. La tecnología IMTA se puede aplicar a la infraestructura ya disponible en el mar, como lo son en los pozos petroleros y estaciones eólicas, logrando con ello reducir el impacto de su huella ecológica, para el cual han iniciado investigaciones con diferentes algas marinas (*S. lattisima, Laminaria digitata, Palmaria palmata*), bivalvos (*M. edulis*, *Ostrea edulis*, *Crassostrea gigas*) y peces (*Dicenctrarchus labrax, Gadus morhua, Sconphthalmus maximus, M. aeglefinus*) (Gimpel *et al.,* 2015).

Acuaponía

De acuerdo con el diccionario de la real academia, acuaponía significa "tecnología que combina la acuicultura con la hidroponía, es decir el cultivo de animales acuáticos como peces, cangrejos, camarones, langostinos, calamares u ostras con plantas acuáticas, generando un ambiente simbiótico de beneficio mutuo" (Rodríguez-González *et al.,* 2015). En términos generales se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por organismos acuáticos (peces regularmente) son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos que funcionan como fuente de nutrientes para las plantas, las cuales a su vez actúan como filtro biológico (figura 4). Al remover los nitratos, nitritos, fosfatos, potasio y carbón orgánico del agua, se crean dos tipos de productos comercializables (Ramírez *et al.,* 2017; Colt *et al.,* 2021). La acuaponia presenta la ventaja de mayor sostenibilidad, menor consumo de recursos, y menos impactos ambientales en comparación con la acuicultura convencional (Blidariu y Grozea, 2011). Esta tecnología es un derivado de un concepto más antiguo conocido como "cultivos integrales", aunque éstos últimos no eran tan controlados y diseñados con propósito como la acuaponia.

Usualmente, los sistemas acuapónicos se asemejan mucho a los sistemas de recirculación acuícola (RAS) pues incluyen todos los componentes de dicho sistema pero acoplados a camas de crecimiento para las plantas. El diseño de ésta última es muy variable y sus formas siguen los requerimientos de los vegetales propósito. La mayoría de los sistemas acuapónicos para la producción de vegetales (hortalizas y hierbas aromáticas principalmente) son sistemas de agua dulce, aunque se han operado sistemas de peces marinos y macroalgas (Love *et al.,* 2015). La acuaponía presenta tres formas de cultivo de plantas: (1) cultivo en aguas profundas, donde las plantas son sostenidas por balsas que flotan en la superficie del agua, (2) el lecho de medios y (3) técnica de película de nutrientes (Colt *et al.,* 2021). Por lo tanto, existe una gran variedad de peces que se pueden cultivar en acuaponía (uso comestible u ornamentales), tilapia, cahama blanca, koi, goldfish, murray cod, aumentando cada vez más el número de especies que se emplean bajo este sistema. Sobresale entre éstas a nivel mundial, la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), que posee extraordinarias cualidades como, crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades (Nelson, 2004) y alta productividad de los sistemas acuapónicos.

Debido a su carácter integrador, la acuaponía es una tecnología compleja de producción de alimentos que puede abordar los tres pilares de la sostenibilidad: ambiental, económica y social (**F**ruscela *et al.,* 2021). En términos generales se deben de preferir plantas verdes, cuya parte comercial no es el fruto y que sean de ciclo corto, como la albahaca, menta, orégano, lechuga, tomates y cochombro. En conclusión, la acuaponía presenta ventajas: no requiere el uso de fertilizantes y pesticidas, el cultivo de plantas y la cría de peces se benefician mutuamente con base en el principio de reciclaje de agua y aprovechamiento de nutrientes. La producción de los alimentos en este tipo de sistema es de mejor calidad debido a que la concentración de nutrimentos que existen en el agua de uso acuícola, es mayor que la del agua de riego.

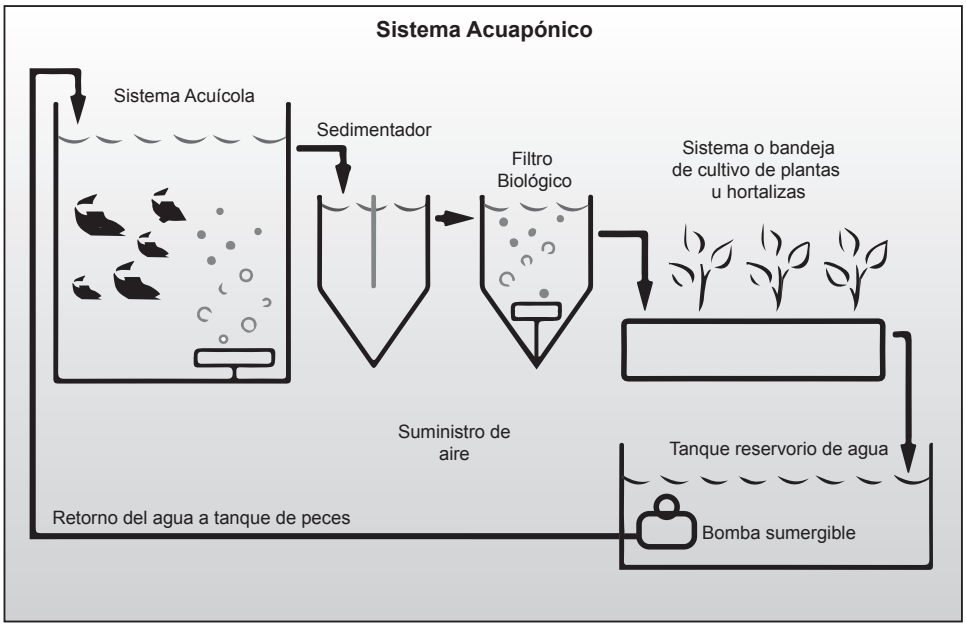

Figura 4. Representación simple de un sistema acuapónico.

Traslado de cultivos marinos a tierra (*inland aquaculture*)

El término "cultivos inland" se refiere a cultivos de organismos acuáticos tierra adentro o también llamadas zonas continentales. El término de acuacultura *inland* se aplica indistintamente para los diversos cultivos que se establecen en las zonas continentales sean de agua dulce o salada (Edwards 2015; Islam *et al.,* 2019; Hasan *et al.,* 2021). La mayoría de la producción acuícola de peces, crustáceos y moluscos proviene de aguas interiores (FAO, 2009). Dentro de la acuacultura *inland*, se desarrolla un tipo específico, basado en fuentes de agua salinas subterráneas enfocado al cultivo de especies marinas y estuarinas. Recientemente algunos cultivos que requerían que la fase de engorda se llevara a cabo en aguas abiertas usando jaulas marinas, han sido trasladados totalmente a tierra, cerrando el ciclo de cultivo en sistemas de recirculación, salvaguardando la integridad de las aguas abiertas, tal es el caso del salmón en Dinamarca.

La intrusión o salinización de los mantos freáticos afecta cerca de 1 000 millones de hectáreas en más de 100 países y esta ocurre por causas naturales y antrópicas (Bennetts *et al.,* 2006). A medida que la demanda de alimento a nivel mundial ha crecido, así como problemas ambientales como la salinización de las aguas del subsuelo, nuevas formas de poducción se han propuesto, una de estas es la acuacultura basada en aguas salinas del subsuelo o acuacultura *inland*. Actualmente este tipo de acuacultura se encuentra en Australia, Estados Unidos de América, China, Taiwán, India, Ecuador y

Brasil especialmente en regiones áridas y semiáridas.

El cultivo *inland* basado en aguas salinas subterráneas incluye a varias especies de origen marino como peces (*e.g. Pagrus auratus*, *Lates calcarifer, Mugil cephalus*), crustáceos (*e.g. Litopenaeus vannamei*, *Penaeus latisulcatus*), moluscos (*e.g. Mytilus edulis*), pepinos de mar (*Holoturia scabra*) hasta algas marinas (*Spirulina*, *Gracilaria cliftonii*) (Fielder *et al.,* 2001; Jana *et al.,* 2004; Prangnell y Fotedar, 2006; Sandeep *et al.,*2013; Dinh y Fotedar, 2016). Así mismo, Partridge *et al.* (2008) menciona que para Australia se han identificado al menos 13 especies con potencial para la acuacultura *inland* entre ellas especies marinas (*Sillaginodes punctata*) estuarinas (*Acanthopagrus butcheri*), catadromas (*Macquaria novemaculeata*) y anádromas (*Oncorhynchus mykiss*). De todas las especies que son usadas en la acuacultura inland, la que mayor atención ha recibido, por sus altas rentas y facilidad de manejo y adaptación a las aguas salinas del subsuelo es el camarón blanco del Pacífico *L. vannamei;* esta es una especie que habita en rangos de salinidad que van de 1 a 40 partes por mil (Laramore *et al.,* 2001; Prangnell y Fotedar 2006), por lo que se adapta más fácilmente al rango más común de salinidad de las aguas subterráneas que fluctúa de 0.5 a 28.3 ppm (Smith, 1990; Samocha *et al.,* 2001; Saoud *et al.,* 2003). A pesar de esto, se pueden encontrar aguas subterráneas que van de agua dulce a agua hipersalina (Mazor y George 1992; Partridge *et al.,* 2008).

Uno de los retos para este tipo de acuacultura es, que generalmente las aguas salinas subsuperficiales presentan una composición química diferente al agua de mar, por lo que muchos cultivos requieren la adición de diversos minerales. Una de las deficiencias más señaladas es la de potasio (McNevin *et al.,* 2004; Partridge y Creeper 2004; Fitzpatrick *et al.,* 2005). Su deficiencia causa altos niveles de mortalidad, por lo que el mejoramiento de la composición iónica del agua subterránea para cultivo es uno de los principales retos al que se enfrenta este tipo de acuacultura.

México y especialmente sus zonas áridas han sido identificadas como zonas críticas para el incremento de la salinización de las aguas subterráneas (Hassani *et al.,* 2021),P por lo que las alternativas para la acuacultura *inland* como forma de aprovechar este problema para la producción de alimentos se incrementan. En México la acuacultura *inland* se ha desarrollado en zonas áridas del norte y principalmente es el camarón blanco del Pacifico (*L. vannamei*) (Mariscal-Lagarda *et al.,* 2012), aunque en estados como Yucatán se han realizado iniciativas para el cultivo del camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) con buenos resultados (Gullian *et al.,* 2010). Este tipo de acuacultura es aún incipiente en México, pero a medida que avanza la salinización de las aguas subterráneas puede tomar relevancia para la generación de alimentos y aprovechamiento de este tipo de agua.

Mejoramiento genético

El mejoramiento genético de especies animales y vegetales por el hombre no es algo novedoso, se practica desde hace milenios, haciendo una selección sistemática de características deseables en una población. Con esto se ha logrado satisfacer necesidades humanas, desde estéticas a alimentarias. Este mejoramiento ha sido más enfocado en especies terrestres. Sin embargo, se tienen registros de más de 2 000 mil años en los que se documentan practicas acuícolas en China, el Mediterráneo y Centroamérica y donde posiblemente comenzó el mejoramiento genético primario a través de la selección y búsqueda de los mejores ejemplares (Olesen *et al.,* 2015).

Una de las ventajas del uso de especies o ejemplares genéticamente mejorados es precisamente que están seleccionadas características que les permiten un crecimiento rápido y resistencia a enfermedades en entornos de cultivos cerrados semi-intensivos, intensivos y extensivos. Por el contrario, cultivos basados en organismos sin mejoramiento genéticos presentan frecuentemente bajas tasas de crecimiento por baja conversión alimenticia y altas mortalidades, lo cual incrementa los costos (Olesen *et al.,* 2015). Es por esto, que la acuacultura de organismos genéticamente mejorados contribuye significativamente a la producción de alimentos, siendo especialmente importante en países de baja renta, donde las necesidades de alimento son apremiantes pero los recursos económicos son escasos.

La acuacultura comprende el cultivo de una alta diversidad de especies (362 de peces, 104 de moluscos, 62 crustáceos entre otras (Troell *et al.,* 2014; Houston *et al.,*2020). Sin embargo, son el salmón del Atlántico y la tilapia las dos especies a las que mayores esfuerzos se han invertido en mejoramiento genético (Olesen *et al.,* 2015; Yáñez *et al.,* 2020). Cerca del 100 % de la producción acuícola mundial actual de salmón del Atlántico se basa en poblaciones sometidas a mejora genética sistemática (Rye *et al.,* 2012). La carpa y otros ciprinidos a pesar de su alta producción a nivel mundial, sigue basada en organismos que no difieren mucho de sus contrapartes salvajes (Gjedrem *et al.,* 2012; Rye *et al.,* 2012; Olesen *et al.,* 2015). El ciclo de cultivo de tilapia variedad GIFT por ejemplo, se redujo de 8 a 5 o 6 meses a talla comercial. GIFT significa del inglés tilapia de cultivo mejorada genéticamente (*Genetically Improved Farmed Tilapia*) y es la variedad de tilapia de mayor producción en México y el resto del mundo.

La tecnología para la mejora genética de especies de importancia para la acuacultura pueden ser la hibridación y cruzamiento, manipulación cromosómica, control sexual, transgénesis y reproducción selectiva (figura 5). La cría selectiva es ampliamente reconocida como un factor clave para el desarrollo de los recursos, producciones acuícolas eficientes, sostenibles y económicamente rentables (World Bank 2006; Rye *et al.,* 2012). Los programas de selección individual (masiva) son relativamente simples pues están basados en características fenotípicas, son de bajo costo y pueden ser altamente efectivos para mejorar los rasgos deseados, por ejemplo, la tasa de crecimiento y la talla máxima (Bentsen *et al.,* 2017). Sin embargo, en investigaciones más antiguas como la de Hulata *et al.* (1986) después de dos generaciones de selección masiva para la tasa de crecimiento

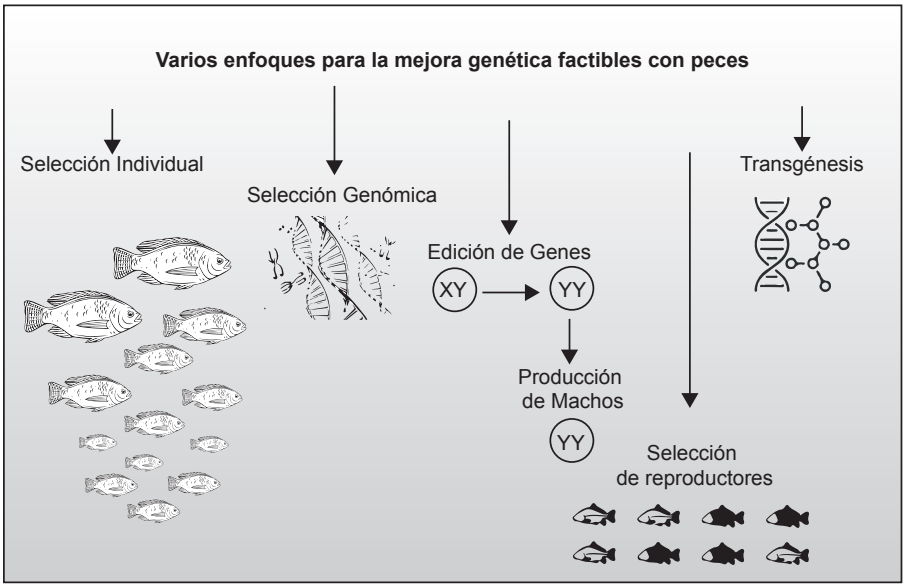

Figura 5. Diversas técnicas y enfoques para el mejoramiento genético de los reproductores y crías de peces.

con tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) no observaron ninguna mejoría sobre la población base original. Atribuyeron la falta de respuesta a la selección a la endogamia y la deriva genética. Una opción a estos problemas es la selección dentro de cohortes y el intercambio de pies de cría. El apareamiento podría realizarse entre individuos de los diferentes grupos sobre una base rotacional para evitar la endogamia (Camara y Symonds 2014).

La tecnología genómica y la biotecnología se han aplicado en estudios sobre crecimiento y resistencia a enfermedades. La Secuenciación de genes de interés y análisis del genoma de los transcriptomas siguen siendo los principales enfoques para mejoras genéticas. Una de las novedades más interesantes es la aplicación de la edición del genoma en la generación de nuevos rasgos (Shen y Yue 2019). Esto se ha empleado principalmente para mejorar rasgos económicamente importantes lo cual ha tenido un gran impacto en la acuicultura. Otro aspecto es la supresión de genes tales como el gen de la miostatina que regula el crecimiento muscular suprimiéndolo para el correcto desarrollo. Con su supresión, se busca un acelerado crecimiento con un correspondiente incremento en biomasa en menor tiempo. Este aspecto aún está en estudio en acuacultura.

Hay muchos problemas pendientes de resolución antes de la aplicación de programas mejorados de cría selectiva. Los desafíos clave incluyen limitaciones biológicas, selección genética y estrategias de asignación de parejas, los efectos del medio ambiente en la estabilidad del genotipo, en particular en respuesta al cambio climático, así como la adopción de cepas mejoradas por usuarios finales. En este respecto también el conocimiento acerca del cuidado y conservación de organismos mejorados por parte de los usuarios finales es limitado (Nguyen, 2016).

Policultivo

La piscicultura es una actividad que promueve la producción de alimentos de origen proteico, para satisfacer la demanda alimenticia de la población y en su práctica es necesario desarrollar tecnologías responsables con el ambiente (Políticas del Sector pesquero, 2001). Los policultivos son una alternativa de producción sustentable basada en una combinación de cultivos de diferentes especies de organismos acuáticos (figura 6) con diferentes hábitos alimenticios, que tienen el propósito de aprovechar de una mejor forma el espacio y alimento que existe en los sistemas de producción (FAO, 2020). Los policultivos tienen su origen en China, de donde se han difundido a través del sureste asiático y hacia otras regiones del mundo (Latinoamérica) (García *et al.,* 2011). Su objetivo principal es la de cultivar simultáneamente diversas especies acuáticas para lograr y promover el uso del ambiente de una manera sustentable y redituable (Hernández-Barraza, 2011). Su funcionamiento consiste en enriquecer los estanques a través de fertilizantes químicos, estiércoles o con prácticas de alimentación que contengan abundantes microorganismos, todo ello con la finalidad de obtener alimento natural para los organismos bajo cultivo. La mayoría de los organismos acuáticos sometidos a policultivo deben alimentarse de grupos específicos de microorganismos (Urdiales-Reinoso, 1996). Para que este alimento natural sea utilizado efectivamente, los policultivos deben ser equilibrados con especies acuáticas con diferentes hábitos alimenticios por ejemplo, diversidad de peces bentófagos (La car-

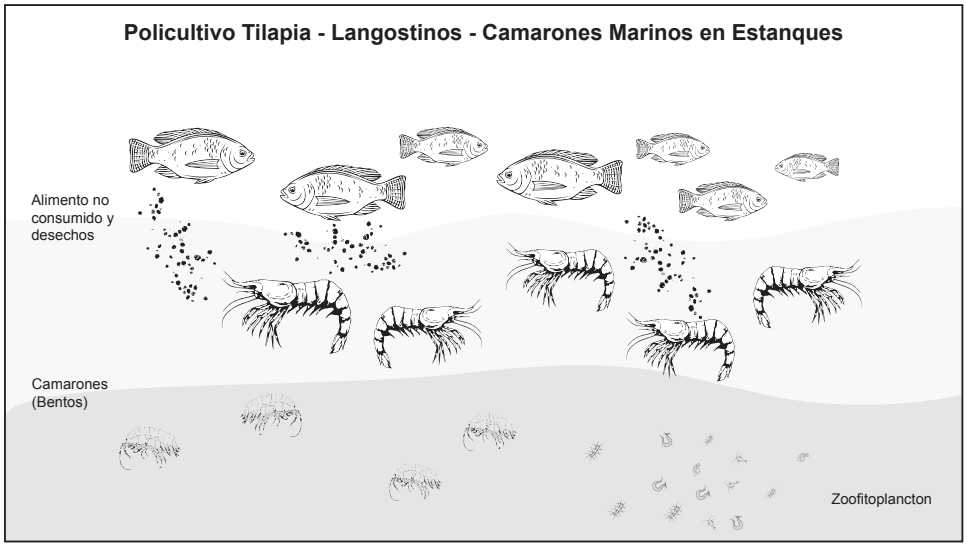

Figura 6. El policultivo es una idea añeja de la acuicultura que se está retomando con una visión más moderna y que incluye especies de alto valor comercial como los camarones y tilapias. El concepto se basa en el aprovechamiento del alimento por especies en distintos sustratos. Se asume también que las inmunoglobulinas contenidas en el mucus de la piel de las tilapias, ejerce un efecto protector depotenciales patógenos presentes en la columna de agua para los camarones.

pa común, *Cyprinus carpio*), planctívoros (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*) herbívoros (*Ctenopharyngodon idella*), piscívoros (*Clarius* spp. y *Siluros* spp.; *Ophicephalus* spp.; *Cichla* spp.), crustaceos como el camarón (*Litopenaeus vannamei*) combinados con cultivo de tilapia. Sin embargo, aún son pocos los trabajos documentados al respecto principalmente en America Latina (Urdiales-Reinoso, 1996; Hernández-Barraza, 2011; López-Gómez, 2016; McDonal-Vera *et al.,* 2019). Algunos autores han incluido con éxito peces nativos de hábitos detritívoros-iliófagos, como bocachico y de peces introducidos como *Oreochromis* spp. de hábitos omnívoros en sistemas de producción en Colombia. Recientemente, se ha propuesto el uso de policultivos combinando camarón blanco del Pacífico y tilapia roja, como una alternativa económica viable de mayor rentabilidad, pero los estudios preliminares no han escalado a nivel comercial para determinar su factibilidad económica definitiva (López-Gómez, 2016; Mcdonal-Vera *et al.,*2019). Hernández-Barraza *et al.,* 2011) evaluaron policultivos con camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y la tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) bajo un sistema de recirculación de agua. Ellos determinaron que este policutivo es una alternativa viable para la producción comercial en Tamaulipas. Sin embargo, argumentan que es necesario realizar prácticas y pruebas en estanques a mayor escala para estimular el cambio de mono a policultivo en los productores de camarón. Urdiales-Reinoso (1996) determinaron que el policultivo de camaron y tilapia según resulto ser cinco veces más productivo que el monocultivo de ambas especies. Por otro lado, se ha observado, que la biomasa final de camarón, tilapia y pargo fue mayor en los cultivos mixtos (2.0, 7.7 y 2.9 veces mayor, respectivamente) en compración con los monocultivos de estas especies (López-Gómez, 2016). Dentro de las ventajas ecológicas de estos cultivos son el aprovechamiento de toda la columna de agua, incluido el fondo, para mejorar la dinámica trófica del estanque; ventajas sociales y económicas, tal como proporcionar alimento para la población, y reducir el costo del alimento del cultivo, lo que representa más del 60 % del costo de producción en la mayoría de los sistemas empleados (Espinal *et al.,* 2005). Este tipo de acuacultura es aplicada en extensionismo, aunque se ha intentado escalarla al tipo comercial.

Consorcios microbianos en reemplazo de la harina de pescado

El uso de harina de pescado para la producción de piensos acuícolas es considerado la paradoja de la acuicultura. ¿Cómo hacer sustentable una producción de peces cuando se necesitan peces para sostener los cultivos? Pero la idea de encontrar un sustituto es un asunto que abarca una de las áreas de investigación más copiosas en acuicultura. La harina de pescado se usa por su alto contenido proteico y es prácticamente insustituible. Algunas especies de peces necesitan hasta un 45 % de proteína en el alimento. Esto se debe a que el metabolismo energético de los peces está basado mayormente en la combustión de proteínas y no en azúcares como sucede en los ma-

míferos incluyendo el hombre. Por ende, una gran cantidad de la literatura científica sobre alimentación en acuicultura reporta la efectividad de diversos biomateriales en sustitución parcial o total de la harina de pescado, que va desde plantas hasta insectos. A la fecha, no se ha encontrado el material que tenga la misma efectividad que la harina de pescado o que pueda reemplazarlo en su totalidad.

Investigaciones recientes reportan el uso de ciertos consorcios microbianos en sustitución parcial o total de la harina de pescado cuya efectividad, claman, es igual que la anterior en inclusiones totales. El principio se basa en que estos consorcios conformados por especies microbianas marinas selectas, producen exopolímeros con efectos de factores de crecimiento. A la fecha, estos factores son desconocidos pero sus efectos son visibles. Algunos investigadores sostienen que el uso directo de microbios en los alimentación de peces será la próxima revolución en la producción de piensos porque será de muy bajo impacto para el ambiente (Martínez-Córdoba *et al.,* 2016; Bathia *et al.,* 2018).

CSIRO, una organización australiana de investigación industrial ha logrado un alimento para acuacultura en el cual la harina y el aceite de pescado han sido reemplazados parcial o totalmente con resultados diversos. Científicos de esta organización (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*) comenzaron sus investigaciones en 1990 observando el papel que juegan los microbios marinos en las dietas naturales de camarones. El equipo científico consolidó un consorcio microbiano que produce varios exopolímeros que fomentan el crecimiento y que fueron probados en inclusiones de dietas por más de dos décadas. Actualmente se comercializa un producto llamado Novacq™ (Ridley Corporation) (Rombenson *et al.,* 2021), específicamente para el camarón tigre en el que la inclusión de harina de pescado se ha reducido al minimo. El crecimiento es de 20 a 40 % más rápido que los piensos tradicionales y la fórmula del consorcio es una patente secreta.

El alimento se creó inicialmente para especies de camarones asiáticos, en particular el camarón tigre gigante (*Penaeus monodon*) y actualmente este producto ha sido probado experimentalmente en camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* y en el que obtuvieron el doble de peso comparado con dietas comerciales tradicionales (Rombenso *et al.,* 2021). En ese experimento se probó también una dieta con exclusión de harina de pescado al 100 % y se reportan crecimientos mayores a las dietas tradicionales. El camarón blanco del Pacífico actualmente es la especie más importante de camarón cultivado en el mundo, por lo que la empresa promotora de esta iniciativa para camarón blanco (Viet-Uc) pretende tomar la comercialización global. El camarón blanco es nativo de las aguas del Pacífico mexicano y el tema de consorcios microbianos como suplementos alimenticios en la especie, está siendo abordada al menos por un grupo de investigación en nuestro país.

En el posible escenario en donde este tipo de tecnología se generalice, se producirían cambios profundos en la actividad acuícola y la pesca. En el primer caso, los ciclos de cultivo serían más cortos, las sobrevivencias más altas y tallas mayores en el mercado, generando una diversificación en el comercio y el poder productivo. Para la pesca, la reducción en el uso de harinas de pescado para la acuacultura -tomando en cuenta que el 52 % del consumo humano provie-

ne de la actividad- puede tener un impacto negativo en el mercado de las harinas, a menos que el uso se diversifique hacia otros productos de consumo o como coadyuvante en productos industrializados. De cualquier manera, el gran beneficiado sería el ambiente, por lo que una explosión en el uso de estos productos para la acuicultura, podría observarse en muy corto plazo en el futuro.

Referencias

Ahmed, N., Turchini, G.M. 2021. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner Production,* 297, 126604. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604.

Bennetts DA, Webb JA, Stone DJM, Hill DM. 2006. Understanding the salinisation process for groundwater in an area of south-eastern Australia, using hydrochemical and isotopic evidence. *J Hydrol.,* 323(1–4):178–192. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.08.023.

Bentsen HB, Gjerde B, Eknath AE, de Vera MSP, Velasco RR, Danting JC, Dionisio EE, Longalong FM, Reyes RA, Abella TA, et al. 2017. Genetic improvement of farmed tilapias: Response to five generations of selection for increased body weight at harvest in *Oreochromis niloticus* and the further impact of the project. *Aquaculture.* 468206–217. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.10.018

Betanzo-Torres, E.A., Marín-Muñiz, J.L., Piñar-Álvarez, M.A., Celdrán-Sabater, D., Mata-Alejandro, H. 2019. Análisis de la aplicación de la tecnología biofloc en la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México. *RINDERESU* 4(1-2), 42-58.

Beveridge, M.C.M., Mc Andrew, B.J. (eds.). 2000. Tilapias: Biology and Exploitation. Fish and Fisheries Series 25. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Blidariu, F., Grozea, A. 2011. Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics. *Anim. Sci. Biotechnol.* 44(2),1–8.

Buck, B.H., Troell, M.F., Krause, G., Angel, D.L., Grote, B., Chopin, T. 2018. State of the art and challenges for offshore Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Frontiers in Marine Science*, 5(165), 1-21. https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00165.

Camara M, Symonds J. 2014. Genetic improvement of New Zealand aquaculture species: programmes, progress and prospects. *New Zeal J Mar Freshw Res.,* 48(3): 466–491. doi:10.1080/00288330.2014.932291.

Chopin, T, Buschmann A.H., Halling C., Troell, M., Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish., Neefus, C. 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: key toward sustainability. *Journal of Phycology*, 37, 975–986.

Chopin, T., Troell, M., Reid G.K., Knowler D., Robinson S.M.C., Neori A., Buschmann A.H., Pang S.J., Fang, J. 2010 Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) – a responsible practice providing diversified seafood products while rendering biomitigative services through its extractive components. Abstracts. Aquaculture Europe 2010. Porto. Portugal.

Cienfuegos, M.K., Monroy, D.M.C., Hamdan, P.A., Castro, M.J., Becerril, C.D., 2017. Probiotics used in Biofloc system for fish and crustacean culture: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(5), 120-125.

Colt, J., Schuur, A.M., Weaver, D., Semmens, K. 2021. Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1-48. https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1886240

Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., Bovbjerg, P.P. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquaculture Engineering,* 53, 2-13. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008.

Dinh HQ, Fotedar R. 2016. Early development of the blue mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758) cultured in potassium-fortified inland saline water. *Aquaculture*. 452373–379. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.11.025.

Edwards P. 2015. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. *Aquaculture*. 4472–14.

Espinal, GC, Martínez CH, González RF. 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica, 1991-2005. Documento de trabajo, nro. 106 [Internet]. Bogotá: Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 46 p. Disponible en: http://www.ibcperu.org/doc/isis/9812. pdf.

FAO. 2009. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. FAO Rome.

FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura (2018th ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). http://www.fao.org/publications/es

FAO., 2020. El estado mundial de la pesca y la acuacultura 2020. ISBN 978-92-5- 306675-9. Roma. https://sustainablefisheries-uw.org/el-estado-mundial-de-la-pesca-y-la-acuicultura-2020.

Fielder DS, Bardsley WJ, Allan GL. 2001. Survival and growth of Australian snapper, *Pagrus auratus*, in saline groundwater from inland New South Wales, Australia. *Aquaculture.* 201(1–2):73–90. doi:10.1016/S0044-8486(01)00555-5

Fitzpatrick RW, Baker AKM, Raven M, Rogers S, Degens B, George R, Kirby J. 2005. Mineralogy, biogeochemistry, hydro-pedology and risks of sediments, salt efflorescences and soils in open drains in the wheatbelt of Western Australia. In: Regolith. Citeseer, pp 97–101

García JJ, Celis LM, Villalba EL, Mendoza LC, Brú SB, Atencio VJ, Pardo1 SC. 2011. Evaluación del policultivo de Boca chico *Prochilodus magdalenae* y Tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Med. Vet. Zoot.*, 58(II).

Gjedrem T, Robinson N, Rye M. 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*. 350–353117–129. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.04.008

Gimpel, A., Stelzenmüller, V., Grote, B., Núñez-Riboni, I., Buck, B. H., Pogoda, B.,*et al.* (2015). Evaluating the co-use of offshore wind farms and aquaculture in the German EEZ - a GIS modelling approach. *Mar. Policy.,* 55, 102–115.

Gullian M, Aramburu C, Sanders B, Lope R. 2010. Viability of culturing pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in low-salinity groundwater from the Yucatán Peninsula (SE, México). *Aquaculture*. 302(3–4):202–207. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.02.019.

Hargreaves, J.A. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center. 4503.

Hasan J, Lima RA, Shaha DC. 2021. Fisheries resources of Bangladesh: A review. *Int J Fish Aquat Stud.* 9131–138.

Hassani A, Azapagic A, Shokri N. 2021. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nat Commun*. 12(1):6663. doi:10.1038/s41467-021-26907-3.

Hernández-Barraza CA. 2011. Evaluación del crecimiento de camarón blanco del pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en policultivo con tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) bajo un sistema de recirculación de agua. Universidas Autonoma de Tamaulipas.

Hossein, M.K., Sharifinia, M., 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 1-15. doi: 10.1111/raq.12412

Houston RD, Bean TP, Macqueen DJ, Gundappa MK, Jin YH, Jenkins TL, Selly SLC, Martin SAM, Stevens JR, Santos EM, et al. 2020. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nat Rev Genet.* 21(7):389–409.doi:10.1038/s41576-020-0227-y

Hulata G, Wohlfarth GW, Halevy A. 1986. Mass selection for growth rate in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 57(1–4):177–184. doi:10.1016/0044-8486(86)90195-X

Ibarra-Castro, L., Navarro-Flores, J., Sánchez-Téllez, J.L., Martínez-Brown, J.M., Ochoa-Bojórquez, L.A., Rojo-Cebreros, A.H., 2017. Hatchery production of Pacific White Snook at CIAD-Unity Mazatlan, Mexico. World Aquacult. 48(3), 25–2.

Islam MM, Barman A, Kundu GK, Kabir MA, Paul B. 2019. Vulnerability of inland and coastal aquaculture to climate change: Evidence from a developing country. *Aquac Fish*. 4(5):183–189. doi:https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.02.007

Jana SN, Garg SK, Patra BC. 2004. Effect of periphyton on growth performance of grey mullet, *Mugil cephalus* (Linn.), in inland saline ground-

water ponds. *J Appl Ichthyol.* 20(2):110–117. doi:10.1046/j.1439-0426.2003.00530.x.

Ju, Z., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W. 2008. Enhanced growth effects on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. *Aquaculture Nutrition* 14, 533–543.

Laramore S, Laramore CR, Scarpa J. 2001. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *J World Aquac Soc.* 32(4):385–392.

López-Gómez C. 2016. Estudio del crecimiento y supervivencia del cultivo mixto camarón-tilapia y camarón-pargo en un sistema de recirculación. Universidad Autonoma de Nayarit.

Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R.E. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. *Aquaculture*. 435, 67–74. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.09.023.

Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Shneider, O., Blancheton, J.P. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquaculture engineering,* 43: 83-93. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2010.09.002.

Mariscal-Lagarda MM, Páez-Osuna F, Esquer-Méndez JL, Guerrero-Monroy I, del Vivar AR, Félix-Gastelum R. 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. *Aquaculture*. 366–36776–84. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.09.003

Mazor E, George R. 1992. Marine airborne salts applied to trace evapotranspiration, local recharge and lateral groundwater flow in Western Australia. *J Hydrol.* 139(1–4):63–77. doi:10.1016/0022-1694(92)90195-2.

McDonal-Vera A, Contreras-Sánchez WM, Duncan NJ, Fitzsimmons K, Contreras-García MJ, Martinez-García F. 2019. Effect of Red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*) on growth and survival of the pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in simultaneous polyculture under marine conditions. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud* http://biotecnia.unison.mx.

McNevin AA, Boyd CE, Silapajarn O, Silapajarn K. 2004. Ionic Supplementation of Pond Waters for Inland Culture of Marine Shrimp. *J World Aquac Soc.* 35(4):460–467. doi:10.1111/j.1749-7345.2004.tb00111.x

Nelson, R.L. 2004. Tilapia. Fast growing, hardy and tasty. *Aquaponics Journal*. 35,16-17.

Nguyen NH. 2016. Genetic improvement for important farmed aquaculture species with a reference to carp, tilapia and prawns in Asia: achievements, lessons and challenges. *Fish Fish*. 17(2):483–506. doi:10.1111/faf.12122

Olesen I, Bentsen H, Phillips M, Ponzoni R. 2015. Can the Global Adoption of Genetically Improved Farmed Fish Increase Beyond 10%, and How? *J Mar Sci Eng.* 3(2):240–266. doi:10.3390/jmse3020240.

Partridge GJ, Creeper J. 2004. Skeletal myopathy in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), cultured in potassium-deficient saline groundwater. *J Fish Dis.* 27(9):523–530. doi:10.1111/j.1365-2761.2004.00567.x

Partridge GJ, Lymbery AJ, George RJ. 2008. Finfish Mariculture in Inland Australia: A Review of Potential Water Sources, Species, and Production Systems. *J World Aquac Soc.* 39(3):291–310. doi:10.1111/j.1749-7345.2008.00169.x

Partridge GJ, Sarre GA, Ginbey BM, Kay GD, Jenkins GI. 2006. Finfish production in a static, inland saline water body using a Semi-Intensive Floating Tank System (SIFTS). *Aquac Eng.* 35(2):109–121. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.09.001.

Piedrahita RH. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226(1–4):35–44. doi:10.1016/S0044-8486(03)00465-4

Poersch, L., Brunson, J., Gaona, C.A., Stokes, A., Richardson, J., Pitts, K., Leffler, J. 2021. Pacif white shrimp, red drum, and tilapia integrated in a biofloc system: Used of tilapia as a consumer of total suspended solids. *World Aquaculture Society,* 52, 1168-1177. DOI: 10.1111/jwas.12832.

Políticas del Sector Pesquero. (2001). Discurso de Instalación del Consejo Nacional de Pesca y Acuacultura, por el Presidente Vicente Fox Quesada. El 30 de agosto del 2001, en el salón "Secretarios" de la SAGARPA en la Cd. de México, D.F. Presidencia de la República.

Prangnell DI, Fotedar R. 2006. The growth and survival of western king prawns, *Penaeus latisulcatus* Kishinouye, in potassium-fortified inland saline water. *Aquaculture*. 259(1–4):234–242. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.05.023

Promthale, P., Pongtippatee, P., Withyachumnarnkul, B., Wongprasert, K. 2019. Bioflocs substituted fishmeal feed stimulates immune response and protects shrimp from *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Fish and Shellfish Immunology,* S1050464819307673. https://doi.org/10.1016/ j.fsi.2019.07.084.

Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., Hurtado, H.G. 2017. La Acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Facultad de Ciencias Básicas, 4(1); 32-51. https://doi.org/10.18359/rfcb.2230.

Rombenso, A. N., Duong, M. H., Hines, B. M., Ma, T. and Simon C. J. 2021. The marine microbial biomass, NovacqTM, a useful feed additive for postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei, Aquaculture,* (530), 1: 1-27.

Rye M, Gjedrem B, Gjedrem T. 2012. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review. *Aquaculture*. 344–34912–22. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.03.003.

Samocha TM, Davis AD, Lawrence AL, Collins CR, Van Wyk P. 2001. Intensive and super-intensive production of the Pacific white *Litopenaeus vannamei* in greenhouse-enclosed raceway systems. Book of Abstracts. *Aquaculture*. 573183.

Sandeep KP, Shukla SP, Harikrishna V, Muralidhar AP, Vennila A, Purushothaman CS, Ratheesh Kumar R. 2013. Utilization of inland saline water for Spirulina cultivation. *J Water Reuse Desalin*. 3(4):346–356. doi:10.2166/wrd.2013.102.

Saoud IP, Davis DA, Rouse DB. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture*. 217(1–4):373–383.

Schneider, O., Blancheton, J.P., Varadi, L., Eding, E.H., Verreth, J.A.J., 2006. Cost price and production strategies in European recirculation systems. Linking Tradition & Technology Highest Quality for the Consumer. WAS, Firenze, Italy.

Shen Y, Yue G. 2019. Current status of research on aquaculture genetics and genomics-information from ISGA 2018. *Aquac Fish.* 4(2):43–47. doi:10.1016/j.aaf.2018.11.001.

Smith LL. 1990. Feasibility of penaeid shrimp culture in inland saline ground-water-fed ponds. T*ex J Sci*., 423–12.

Timmons, M. B. Ebeling J. M., Wheaton, F. W. Summerfelt, S. T. and B. J. Vinci. 2002. Recirculating aquaculture systems, 2nd edition. Northeastern Aquaculture Center. NRAC Publ. No. 01-002. Cayuga Aqua Aventures, Ithaca, N. Y.

Troell, M., Halling, C., Neori, A., Buschmann, A.H., Chopin, T., Yarish, C., Kautsky, N., 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 226, 69–80.

Troell M, Naylor RL, Metian M, Beveridge M, Tyedmers PH, Folke C, Arrow KJ, Barrett S, Crépin A-S, Ehrlich PR*, et al.* 2014. Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proc Natl Acad Sci*. 111(37):13257–13263. doi:10.1073/pnas.1404067111

Urdiales-Reinoso MV. 1996. Policultivo de Camarón (*Penaeus vannamei*) y Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en pilas de concreto.

World Bank. 2006. Report No. 36622-GLB.

Xu W-J, Pan L-Q (2013) Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input. *Aquaculture* 412, 117–124.

Yáñez JM, Joshi R, Yoshida GM. 2020. Genomics to accelerate genetic improvement in tilapia. *Anim Genet.* 51(5):658–674. doi:10.1111/age.1298.