

# MODELOS DE CULTIVO EN ACUICULTURA Y SU IMPORTANCIA ALIMENTICIA

*Data de aceite: 01/08/2023*

### **José Luis Gómez-Márquez**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo, esq. Fuerte de Loreto, Ejército de Oriente, Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México.

### **Bertha Peña-Mendoza**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo, esq. Fuerte de Loreto, Ejército de Oriente, Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México.

### **José Luis Guzmán-Santiago**

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla 5 de mayo, esq. Fuerte de Loreto, Ejército de Oriente, Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México.

### **Roberto Trejo-Albarrán**

Laboratorio de Hidrobiología, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca, Morelos.

fines ornamentales, religiosos y con el fin de tener disponibilidad del recurso íctico, los introdujeron en los ríos y embalses naturales (lagos) y artificiales (estanques). El incremento de la población desde el siglo pasado, ha generado una mayor demanda mundial en la producción de peces y mariscos, debido a que los recursos acuáticos de captura cada vez son insuficientes.

México es un país con alto potencial para llevar a cabo el desarrollo de la acuicultura, debido a que presenta gran variedad de climas asociados a una gran diversidad de paisajes con diferente relieve fisiográfico, diversos tipos de vegetación y cuenta con el 12% de la biodiversidad mundial y más de 12 000 especies endémicas (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). La acuicultura se ha venido desarrollando desde hace muchos años con un crecimiento sustentable y participa con una cantidad importante en la producción nacional, que reporta un consumo *per cápita* de productos pesqueros de 9.9 Kg/persona/año en 1960 a casi 20.2 Kg en el 2020 (FAO, 2022). Este incremento, se debe a que los productos pesqueros se caracterizan por tener alta cantidad y calidad proteínica, pocos carbohidratos y gran cantidad de ácidos

**RESUMEN:** En México la acuicultura tiene sus inicios en el período prehispánico, cuando los peces eran cultivados con

grasos.

Según el grado de tecnificación que se utiliza en los sistemas de cultivo de moluscos, crustáceos y peces, este se divide en **extensivo, semi-intensivo, intensivos** e incluso, en la producción de camarón, tilapia y trucha existe el sistema **hiperintensivo**, el cual se puede desarrollar en jaulas, líneas suspendidas, estanques, canales, estanques de concreto y otros sistemas y la producción está determinada por la densidad de organismos por m<sup>2</sup>, el tipo de alimentación, flujo de agua, tecnología empleada, capital a invertir y la especie acuática a producir.

Este recurso natural renovable ha sido heredado por nuestros antepasados, que pensaban que era un recurso inagotable; sin embargo, hoy en día eso no es cierto y a menos que lo conservemos para las futuras generaciones en forma ordenada y administrada, estos no seguirán siendo una fuente inagotable de riqueza alimenticia y económica.

**PALABRAS-CLAVE:** Acuicultura, tipos de cultivo, alimentación, producción

**ABSTRACT:** In Mexico, aquaculture has its beginnings in the pre-Hispanic period, when fish were cultivated for ornamental and religious purposes, and in order to have availability of fish resources, they were introduced into rivers, natural (lakes) and artificial (ponds) reservoirs. The increase in the population since the last century has generated a greater world demand in the production of fish and shellfish, due to the fact that the aquatic resources obtained by capture are increasingly insufficient.

Mexico is a country with high potential to carry out the development of aquaculture, because it presents a great variety of climates associated with a great diversity of landscapes with different physiographic relief, various types of vegetation and has 12% of biodiversity. worldwide and more than 12,000 endemic species (Llorente-Bousquets and Ocegueda, 2008). Aquaculture has been developing for many years with sustainable growth and participates with a significant amount in national production, which reports a per capita consumption of fish products from 3.46 Kg/person/year in 1970 to almost 17.03 Kg in 2017. This increase is due to the fact that fishery products are characterized by having a high quantity and quality of protein, few carbohydrates and a large quantity of fatty acids.

Depending on the degree of technology used in mollusk, crustacean and fish farming systems, this is divided into extensive, semi-intensive, intensive and even, in the production of shrimp, tilapia and trout there is a hyperintensive system, which It can be developed in cages, suspended lines, ponds, channels, concrete ponds and other systems and the production is determined by the density of organisms per m<sup>2</sup>, the type of food, water flow, technology used, capital to invest and the species aquatic to produce.

This renewable natural resource has been inherited by our ancestors, who thought it was an inexhaustible resource; however, nowadays this is not true and unless we preserve it for future generations in an orderly and managed manner, they will not continue to be an inexhaustible source of food and economic wealth.

**KEYWORDS:** Aquaculture, types of culture, feeding, production

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura, es una actividad que abarca muy variados aspectos y una amplia gama

de especies, sistemas y prácticas y resulta indudable que, a pequeña escala, promueve el desarrollo socio-económico y cumple los objetivos de producción de alimentos, generación de ingresos, y provisión de empleo para los agricultores de escasos recursos (FAO, 2022).

Esta actividad productiva, se presenta hoy, como una nueva alternativa de producción para el sector agropecuario con excelentes perspectivas. Sin embargo, es necesario desarrollar tecnología en este campo, que optimice los sistemas de producción y transformación de las diversas especies acuícolas, en específico para la región Norte de México (Hernández *et al.*, 2009).

La **acuicultura** con base en el DOF (1994), es el cultivo de especies de la flora y fauna acuáticas, mediante el empleo de métodos y técnicas para su desarrollo controlado en todo estadio biológico y ambiente acuático y en cualquier tipo de instalación. También se puede considerar como el cultivo y producción de animales y plantas acuáticas en agua dulce, salobre o marina bajo condiciones controladas y/o semi-controladas, en donde interviene la mano del hombre. Los principales organismos acuáticos producidos son peces, moluscos, crustáceos y otros invertebrados, así como plantas acuáticas en ambiente marino, salobre o agua dulce, en estanques naturales en las zonas rurales hasta los sistemas cerrados de producción intensiva dentro de las ciudades, con una producción de alimentos por hectárea muy superior a la de la agricultura o a la de la ganadería y es actualmente, uno de los sectores productivos de mayor crecimiento en el mundo. (FAO, 2011; Escárcega 2020).

Las especies acuícolas que se cultivan artificialmente en México son en su mayoría introducidas, debido a que las especies endémicas (nativas) son difíciles de manejar por su agresividad, porque no aceptan el alimento artificial o porque su crecimiento es lento. Por otro lado todos los productos acuícolas se caracterizan por tener alta cantidad y calidad proteínica, pocos carbohidratos y gran cantidad de ácidos grasos poli-insaturados, cantidades mayores que los que aportan otros productos agropecuarios (Fragoso y de Ocampo, 2004).

México por ser un país situado en la confluencia de las regiones zoogeográficas Neártica y Neotropical, cuenta con una gran biodiversidad. Dentro de esa diversidad se encuentran numerosas especies nativas que son explotadas comercialmente en forma artesanal y tradicionalmente aceptadas en los mercados locales. Diferentes especies de cíclidos nativos llamados regionalmente mojarras, mantienen pesquerías en diferentes partes del país (Chávez, 1993).

La *acuicultura* es una práctica milenaria que cultiva organismos acuáticos como moluscos, peces, algas y que interviene en la crianza de estas especies para aumentar su producción. A la práctica que se dedica exclusivamente a los peces se le denomina *piscicultura* y suele dividirse de acuerdo con el tipo de agua donde residen los peces (dulce salobre o marina) y con la especie a la que pertenecen. Por tanto, la producción de larvas de peces, también llamada *larvicultura*, constituye una etapa clave para esta industria (Escárcega, 2020).

México es uno de los países megadiversos a nivel mundial con mayor extensión oceánica (~ 65%) que terrestre (35%), distribuida en la región del Océano Pacífico (incluyendo los Golfo de California y Tehuantepec) y en el Océano Atlántico (con el Golfo de México y el Mar Caribe). Posee una gran riqueza natural en sus regiones oceánica y costera, ligada a la extensión territorial y diversidad, producto de su singular fisiografía y posición geográfica intertropical. Los litorales de México tienen una extensión de 11,592 km de línea de costa, incluidos más de 500 rasgos morfológicos interconectados o aislados –lagunas, bahías, esteros, estuarios y marismas- exclusivamente en su parte continental y sin incluir litorales insulares, de los cuáles 8,475 km pertenecen al Océano Pacífico y 3,117 km al Golfo de México y Mar Caribe. La zona económica exclusiva de México cubre un total de 2 946 825 km<sup>2</sup> y una extensión de mar territorial de 231 813 km<sup>2</sup> (Figura 1). Con respecto a la superficie continental, tiene 2 500 000 has para desarrollar actividades acuícolas (INEGI 2003; de la Lanza, 2004).

Todos estos recursos acuáticos son de importancia económica y alimenticia para la población mexicana, ya que en diciembre de 2017, el CONEVAL dio a conocer los resultados de la medición de pobreza a nivel municipal correspondientes a 2015, los cuales han permitido identificar la existencia de un problema dual. De acuerdo con los datos de CONEVAL al 2017 se estimó que 53.42 millones de personas (43.69% de la población) se encontraban en situación de pobreza a nivel nacional, de las cuales 9.4 millones se encuentran en situación de pobreza extrema. De este total, el 23.3% (27 millones) de la población vive en pobreza alimentaria y el 12.5% sufre desnutrición crónica. Por una parte, existen municipios donde el fenómeno de la pobreza se generaliza a la mayoría de sus habitantes y por otra, existen municipios grandes en términos del número de habitantes y con porcentajes de pobreza menores, que muestran una mayor diversidad de las condiciones de vida de su población (CONEVAL, 2019).

México constituye una nación con una economía emergente, donde resulta necesario diversificar las opciones productivas para avanzar en la conservación del capital natural, la autosuficiencia alimentaria, la generación de empleos y el desarrollo regional. En este sentido, el potencial de crecimiento de la piscicultura marina es amplio si consideramos la disponibilidad de más de 11 500 mil kilómetros de litorales y la existencia de una fauna tropical diversa (Escárcega, 2005).

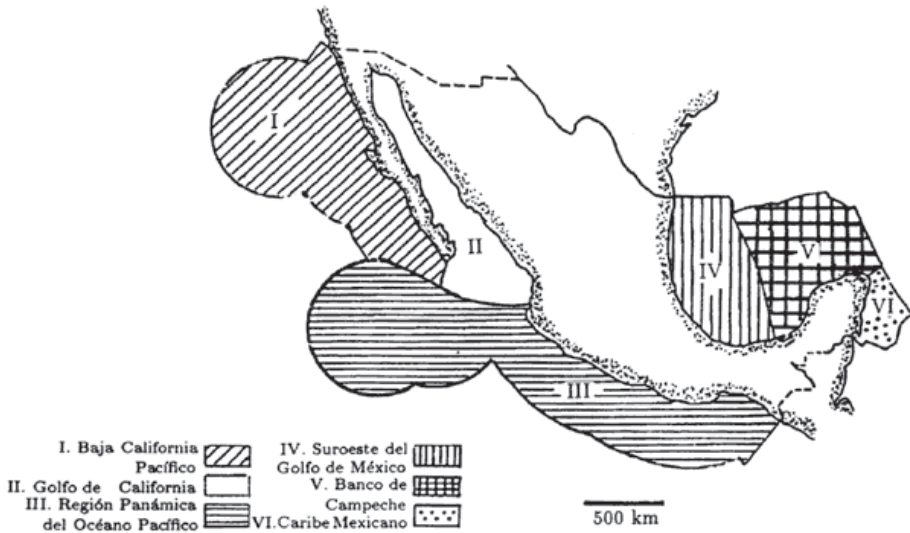


Figura 1. La Zona Económicamente Exclusiva (ZEE) de México comprende la provincia marina hasta las 200 millas náuticas (370.4) y en conjunto cubre una superficie de 2 946 825 km<sup>2</sup>, los que sumados a los 2 000 000 de extensión continental, dan un total de 4 946 000 km<sup>2</sup> de superficie territorial nacional. La ZEE se divide en seis subprovincias, tomando como base la situación geográfica de cada una de ellas, así como las características geológicas, climatológicas, biológicas e hidrológicas de las mismas (Tomada de Aguayo y Trápaga, 1996).

Esta actividad productiva, se presenta hoy, como una nueva alternativa de producción para el sector agropecuario con excelentes perspectivas. Sin embargo, es necesario desarrollar tecnología en este campo, que optimice los sistemas de producción y transformación de las diversas especies acuícolas (Hernández *et al.*, 2009).

La acuicultura se está expandiendo y desarrollando en prácticamente todas las regiones del mundo. La demanda de la población mundial por productos acuáticos está incrementando, mientras que la producción por captura de las pescaderías se ha reducido, alcanzando muchas de ellas su máximo potencial productivo. Como consecuencia, no será posible en el corto plazo, sostener el suministro u oferta de productos acuáticos, dirigida a una población que constantemente crece y demanda pescado y marisco (Hernández *et al.*, 2009).

La producción mundial de peces, crustáceos, moluscos y otros animales acuáticos paso en 1980 de 71.8 millones de toneladas a 178 millones de toneladas en 2020 (Figura 2). lo que supone un ligero descenso en comparación con el récord histórico de 179 millones de toneladas registrado en 2018. La pesca de captura contribuyó con 90 millones de toneladas (el 51%) y la acuicultura con 88 millones de toneladas (el 49 %) (FAO, 2022). En México, la producción anual por pesca fue de 1 618 000 toneladas en 2007 y aumentó a 1 950 000 de toneladas en 2021. De estos totales, 267 772 toneladas se produjeron por medio de la acuicultura en el 2007 y en 2021 se incrementó cerca del 50% con una

producción acuática de 351 002 toneladas, siendo la mojarra y el camarón las principales especies que se producen por medio de la acuicultura (CONAPESCA, 2021).

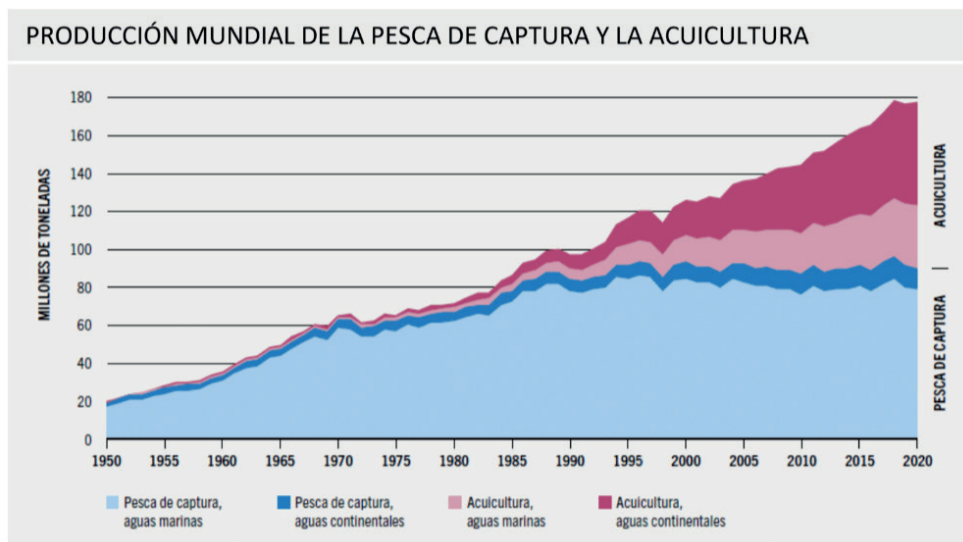


Figura 2. Estado mundial de la pesca y la acuicultura (Tomada de FAO, 2022)

La acuicultura, como toda industria agroalimentaria, se enfrenta al reto del desarrollo sostenible. La acuicultura ha crecido de manera exponencial en los últimos 65 años, partiendo de una producción de menos de 1 millón de toneladas en 1950 a 80 millones de toneladas en 2020. Si se considerando que la producción pesquera de capturas se mantiene estática e incluso ha decrecido en los últimos años, la acuicultura continúa creciendo más rápidamente que cualquier otro sector productor de alimentos de origen animal y seguirá desempeñando un gran y creciente papel a nivel mundial en la producción de pescado para satisfacer la creciente demanda de productos pesqueros (FAO 2022).

La acuicultura entonces, parece tener el suficiente potencial para realizar una significativa contribución a la producción de estos recursos acuáticos, para atender la demanda de la población. De acuerdo con Avilés y Vásquez (2006) y (FAO, 2014), la acuicultura se ha convertido en un factor importante para mejorar la seguridad alimentaria, elevar los estándares nutricionales y aliviar la pobreza y economía de los países en desarrollo.

El futuro de la producción de peces, requiere el uso de agua tan económico como sea posible, rehusándola y eliminando a su vez, residuos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de los peces. Por otra parte, las demandas de legislación ambiental, son también cada vez mayores, reduciendo con ello las posibilidades de producir en sistemas abiertos en los que no hay un adecuado control del medio ambiente. En otras palabras, las granjas

de peces ya existentes enfrentan la necesidad de encontrar sistemas de purificación de sus aguas residuales. Esto acelera el desarrollo de sistemas de producción intensivos, con sistemas del ahorro del agua para la producción de peces, que no dependan de factores ambientales naturales, sobre todo en aquellas regiones donde el agua es más escasa (Hernández *et al.* 2009).

La flexibilidad tecnológica de esta actividad, permite lograr una eficiente factibilidad técnica y económica considerando deferentes niveles de intensidad de producción, sea este intensivo, semi-intensivo o extensivo. En la acuicultura intensiva se utilizan insumos de alta calidad en grandes cantidades permitiendo altos rendimientos de producción, lo contrario se realizan en la acuicultura extensiva la cual puede no necesariamente emplear fertilizantes y alimentos suplementarios de calidad inferior y en menor cantidad, conduciendo a menores rendimientos de producción, lo que permite una reducción significativa de los costos de producción.

La acuicultura se realiza predominantemente en ambientes dulceacuícolas, la contribución de la acuicultura marina, permanece modesta. Se realiza en tres tipos de ambientes acuáticos: agua dulce, salobre y marina, correspondiendo a cada una el 58.7 %, 6.3 % y 35 %. La acuicultura es entonces predominante mente dulceacuícola. En estos ambientes en los grupos cultivados se tienen a los peces, los cuales constituyen el grupo mayor en la producción acuícola; sin embargo, cuando se observan en todos los ambientes, se encuentra que esta tendencia cambia, se tiene como predominantes a los crustáceos en los ambientes salobres y a los moluscos y algas en los ambientes marinos (FAO, 2014).

La acuicultura en México ha sido desarrollada en forma muy variada, en la mayoría de las regiones del País, utilizando diversas prácticas y sistemas de producción, desde intensivo, semi-intensivo y extensivo. La producción acuícola se lleva a través de sistemas de cultivo que al igual que en las demás producciones, están determinados por la densidad de organismos por metro cuadrado o cúbico, tipo de alimentación (natural o artificial), flujo de agua, tecnología empleada, capital a invertir, especie acuática a producir, etc. (Hernández *et al.*, 2009).

Según el grado de tecnificación que se utiliza para la producción de moluscos, crustáceos y peces, se puede dividir en sistemas de producción **extensivos**, **semi-intensivo**, **intensivos** e incluso en producción de camarón tilapia y trucha existe el sistema **hiperintensivo**.

## SISTEMA EXTENSIVO

También se le denomina **acuicultura de repoblamiento** y se realiza principalmente para resiembra en embalses (presas, jagueyes, bordos o microreservorios, lagos y lagunas) o en estanques rústicos de tierra; corresponde a la práctica de crianza, preengorda y engorda de las especies a expensas de la productividad natural o en su caso de adiciones



de bajo nivel como fertilizantes para producir un incremento de la productividad natural (Figura 3).



Figura 3. Presa Emiliano Zapata y estanques rústicos cerca del Lago Coatetelco, Mor. (Autoría)

Su manejo se centra únicamente en la siembra y cosecha de organismos, la alimentación está dada por la producción natural del agua que forma la cadena alimenticia (fitoplancton, zooplancton, crustáceos, moluscos, peces, insectos etc.), alimento que alcanza a mantener un número reducido de organismos, la densidad que se puede incrementar al aumentar el alimento natural fertilizando el agua, pero utiliza fertilizantes y alimentos suplementarios de calidad inferior y en menor cantidad, que aún que resulta en un menor rendimiento en la escala de producción, permite una reducción significativa de los costos de producción. Normalmente, sólo una parte del ciclo de vida es controlado, por ejemplo, los estanques explotados extensivamente a menudo dependen de las crías de vida silvestre para la reproducción y mantenimiento de las existencias (Fragoso y de Ocampo, 2004; Hernández *et al.* 2009; Cáceres, 2017).

El **cultivo extensivo** se caracteriza emplear densidades bajas de organismos (1 por cada uno o dos metros cuadrados) que repercuten en bajas producciones a bajos costos, debido a que las crías son en su mayoría donadas por los centros de producción piscícolas del gobierno, realizan un ciclo de producción al año, los recambios de agua muy baja dada de forma natural (lluvia, afluentes de ríos, etc.), supervivencia baja, amplia competencia entre especies, no se lleva a cabo la medición de los parámetros físico-químicos del agua y no se tiene tecnología alguna. Para las cosechas que pueden ser totales o parciales se utilizan redes de arrastre (Fragoso y de Ocampo, 2004).

En estas explotaciones se pueden cultivar una, dos o más especies acuáticas por ejemplo diferentes carpas, peces con crustáceos (tilapia, langosta), o se puede cultivar animales acuáticos con terrestre como es el caso de peces con patos, vacas o cerdos o peces y vegetales como hortalizas. El rendimiento en la acuicultura extensiva es de aproximadamente 100 kg/ha/año, aunque normalmente de 1 a 2 ton/ha/año (500 Kg/Ha sin fertilizar y de 1000 a 1500 Kg con embalses fertilizados) (Fragoso y de Ocampo, 2004;



## SISTEMA SEMI-INTENSIVO

Este tipo de cultivo se le llega a denominar **acuicultura de subsistencia o rural** y se lleva a cabo en estanques rústicas de tierra o de tierra con paredes de cemento, su tamaño es mediano (de 250 m<sup>2</sup> a una ha), en donde la densidad de organismos puede llegar a ser de 1 a 10 peces/m<sup>3</sup>, estos organismos se alimentan parcialmente del alimento natural del agua complementándose con alimento balanceado, diciéndose teóricamente que el 50 % de sus necesidades nutricionales son cubiertas con alimento natural y el 50 % restante del alimento balanceado (Figura 4).



Figura 4. Estanque de tierra con revestimiento de membrana (Tomada de Saavedra, 2006)

En los sistemas semi-intensivos, se ha realizado una modificación significativa sobre el ambiente, se tiene control completo sobre el agua, las especies cultivadas y las especies que se cosechan. Se utilizan fertilizantes para lograr una máxima producción; también puede usarse un alimento suplementario no completo, para complementar la productividad natural sin necesidad de utilizar aireación mecánica.

El flujo de agua en los estanques es necesario, y se deben realizar recambios de al menos 5% por día. Un concepto errado y generalizado acerca del crecimiento de peces en estanques, es que éstos requieren de un flujo continuo de agua. En un estanque el agua debe ser agregada solamente cuando se necesite corregir los problemas de baja calidad del agua o para reemplazar las pérdidas por evaporación y filtración. Un flujo de agua continuo en el estanque remueve los nutrientes añadidos por medio de la fertilización e inhibe el crecimiento de plancton. Es necesario realizar medición de algunos parámetros en el agua como la concentración de oxígeno disuelto, temperatura, color y transparencia (visibilidad al disco de Secchi), con el fin de determinar la calidad de agua en el cultivo para un mejor crecimiento de los peces. Se espera crecimientos medios homogéneos de

mono o policultivo, pudiendo obtener hasta 2 cosechas anuales. Este tipo de sistema se caracteriza por tener un costo de producción que si bien no es elevado, si incide en el costo de producción final y éstos se deben al alimento y mano de obra principalmente (Fragoso y de Ocampo, 2004; Saavedra, 2006).

El manejo que se realiza es: después de una cosecha se debe secar el estanque para ser desinfectado por medio de cal viva (CaO) si es drenado completamente, también el secado es importante para airear el fondo, favorecer la descomposición de la materia orgánica y neutralizar el pH, después se debe llenar a tercio nuevamente y fertilizar con fertilizantes (inorgánicos) como son: calcio nitrogenado, nitrato de amonio, Nitrato de sodio, Superfosfato triple, entre otros o con abonos (orgánicos) que pueden ser estiércoles (Arredondo, 1993; Ramírez, 1997).

El color del agua es un buen indicador de la productividad del estanque. Las aguas claras, por lo general, no contienen abundantes organismos naturales que sirvan de alimento a los peces, mientras que la abundancia y presencia de diferentes especies de fitoplancton y otros organismos naturales producen el color verde. Por lo tanto, al encalar y fertilizar el estanque se incrementa la abundancia de estos organismos. Obtenido este color en el agua después de quince días, se llena el estanque al nivel de profundidad deseada. Todos los días se alimentan los organismos, se revisan los parámetros de oxígeno y temperatura, cada mes se toman muestras proporcionales de peces, se pesan, se miden, se revisan que no estén enfermos y se ajusta la cantidad de alimento a ofrecer, cada semana se toman parámetros de transparencia y color para saber la cantidad de fertilizante que se tiene que verter (Fragoso y de Ocampo, 2004; Saavedra, 2006).

Se basa en la siembra de densidades más altas, de 3000 a 6000 alevines/ha en dependencia de las características de cada especie y sitio en cuestión. El cultivo semi-intensivo permite obtener rendimientos superiores a 2 Ton/ha/año en microreservorios, presas y estanques

## **SISTEMA INTENSIVO**

Tiene como objetivo desarrollar una alta productividad y eficiencia económica, con especies de alto valor mercantil para la venta en frontera y para la exportación y evaluar la alternativa de cultivos en estanques, jaulas flotantes y raceways (canales de corriente rápida, figura 5). Se utilizan altas densidades, fuerte circulación de agua, alimento artificial de calidad y equipos de aireación cuando las condiciones del cultivo lo requieren.

El flujo de agua es alto llegando a ser de hasta 3 recambios totales, con agua de muy buena calidad en cuanto a sus características físico y químicas, en estanques de volumen estable se encuentran en su mayoría aireadores que pueden ser prendidos todo el día o solo por las noches, el alimento es 100 % balanceado, ya que el alimento natural por el flujo de agua o por la densidad de organismos no se forma o se forma en poca cantidad.



Figura 5. Sistema intensivo de cultivo de trucha en raceways (Tomada de Fragoso y de Ocampo, 2004)

Las explotaciones intensivas pueden ser de ciclo completo (todas las etapas de la producción: reproducción, incubación, cría, pre-engorda y engorda) o incompletas (solo engorda o reproducción), pero siempre de monocultivo (Fragoso y de Ocampo, 2004; Saavedra, 2006; Hernández *et al.*, 2009).

Para evitar los problemas de sanidad por la densidad y desechos orgánicos, se deben revisar las concentraciones de oxígeno disuelto y la temperatura, todos los días se toman los parámetros de amonio, nitratos y nitritos, ya que una concentración elevada puede causar la muerte por intoxicación de todos los organismos del estanque, cada semana se toma una muestra de los peces para obtener su biometría (pesar y medir) y se verifica que estén sanos; al finalizar cada ciclo de producción los estanques son secados y desinfectados antes de iniciar otro ciclo de cultivo (Ramírez, 1997).

En este sistema se pueden utilizar estanques de tierra, de concreto o jaulas flotantes.

- Estanques

Las densidades oscilan entre 100,000 a 300,000 peces/Ha, se utiliza un alimento complementario de buena calidad, de 25 a 30% de proteína. El alimento se suministra a razón de 2-4% de la biomasa/día y generalmente la tasa máxima de alimentación no debe exceder los 80 a 120 Kg/Ha/día.

Hay disponible aireación mecánica de emergencia que se inicia cuando la concentración de oxígeno disuelto baja hasta el 10% de saturación. La producción total varía de 5,000 a 12,000 Kg/Ha.

- Jaulas

Las jaulas pueden ser de bajo volumen, o sea menos de 5 metros cúbicos o de volumen alto, mayor de 5 metros cúbicos; se pueden sembrar por ejemplo hasta 600 tilapias/m<sup>3</sup> en las jaulas de volumen bajo y de 50-100 tilapias/m<sup>3</sup> en las jaulas de volumen

alto. Las producciones esperadas oscilan entre 50-300 Kg/m<sup>3</sup>; aquellas de volumen bajo son más productivas debido a que hay mayor recambio de agua dentro de las jaulas, lo cual mantiene la calidad de la misma (Saavedra, 2006; Hernández *et al.*, 2009).

## SISTEMA HIPERINTENSIVO

En este sistema las densidades son superiores; en estanques deben hacerse recambios diarios de agua, de hasta un 100% por hora; también se utilizan aireadores mecánicos. Los estanques son generalmente de concreto y de tipo “race-ways” para que pueda darse un mejor intercambio de agua y una mayor oxigenación. También puede darse en jaulas, en las que se superan las densidades de 600 tilapias/m<sup>3</sup>. En ambos casos el pez depende exclusivamente del alimento artificial por lo que, éste debe contener un alto porcentaje de proteína (30-40%) (Saavedra, 2006).

Éste tipo de sistema también se realiza con camarones (Figura 6) y tilapias experimentalmente por el costo de producción tan alto, cuentan con estanques que no miden más de un cuarto de hectárea, de forma circular de cemento al aire libre protegidos con mallas para que las aves no depreden los organismos, o rectangulares bajo sistema de invernadero, de esa manera se poder controlar todos los parámetros del agua entre ellos la temperatura que está muy influenciada por la temperatura atmosférica, también se tiene mucho cuidado con el oxígeno, amonio, nitratos y nitritos. Para evitar enfermedades virales, bacterianas y parasitarias, el agua de mar para el cultivo de camarón es filtrada utilizándose rayos ultravioleta. La densidad de cargo es alta (mayor a 40 camarones/m<sup>2</sup>) y se obtiene de 3 a 4 cosechas al año, el alimento que consumen los camarones es balanceado de excelente calidad especial para cada fase de vida, la supervivencia es alta y por supuesto se realiza solamente monocultivo pudiendo ser de ciclo completo o solo engorda, el flujo de agua es continuo reciclándose muchas veces para su mayor aprovechamiento.



Figura 6. Estanques para cultivo hiperintensivo de camarón (Tomada de Fragoso y de Ocampo, 2004)

De esta manera las explotaciones hiperintensivas se caracterizan por tener altos costos de producción en los que están incidiendo el alimento, el valor de los organismos que se siembran, lo costoso de las instalaciones, la mano de obra pero principalmente el

gasto de energía para las bombas de agua (Fragoso y de Ocampo, 2004).

En estos dos sistemas de producción (intensivo e hiperintensivo), la conservación y reúso del agua por otra parte, ha llegado a ser en los últimos años, uno de los temas de mayor relevancia dentro de la acuicultura. Una de las estrategias de manejo para incrementar su eficiencia, es el empleo de sistemas de recirculación de agua. Dichos sistemas no solo son importantes debido a su eficiencia en la utilización del agua, sino además, debido a que existe un mayor control del medio ambiente haciendo posible manipular la temperatura, el oxígeno disuelto, el fotoperiodo y la claridad del agua.

La reducción de los flujos de agua (intercambio y drenaje), en unidades de cultivo de productos acuáticos, tiene particular importancia en proyectos de pequeña y mediana escala, más aún en zonas en donde el agua es escasa. Aunado a ello, las unidades productivas, pueden ser establecidas cerca del mercado, lo que las hace más atractivas (Hernández *et al.*, 2009).

Se ha propuesto que se adapten sistemas de recirculación el cual es esencialmente, un sistema cerrado que implica tanques para peces, filtros y sistemas de tratamiento de agua. Los peces son colocados en tanques en los que el agua es recambiada continuamente para garantizar las condiciones de óptimo crecimiento. El agua que es bombeada dentro de los tanques, pasa a través de sistemas de filtración biológica y mecánica antes de ser retornada a los tanques. El futuro de la producción de peces, requiere el uso de agua tan económico como sea posible, rehusándola y eliminando a su vez, residuos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de los peces (Hernández *et al.*, 2009).

## ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN

La práctica de la acuicultura brinda empleo a las comunidades rurales, ya sea a través del auto-empleo familiar para el manejo de estaqués piscícolas, o bien, a través del empleo remunerado en explotaciones piscícolas comerciales. La piscicultura familiar genera también oportunidades de ocupación a mujeres, jóvenes e incluso personas de la tercera edad. En grandes emprendimientos permite utilización de mano de obra variada y calificada favoreciendo ocupacionalmente a diferentes estratos sociales. Por otro lado, la agricultura y la ganadería en el país generan gran variedad de productos y subproductos que son potenciales **insumos** con contenidos de nutrientes requeridos para la producción piscícola ya sea como ingredientes para la formulación de alimentos, o como fertilizantes orgánicos.

Uno de los principales problemas que hay que resolver para que la acuicultura sea una actividad económicamente rentable es el de la nutrición—alimentación. Es bien sabido que la nutrición es uno de los aspectos que inciden principalmente en los costos de producción. Por otro lado, los organismos mal alimentados además de que no tienen un crecimiento adecuado, son altamente susceptibles a enfermedades (Chávez 1993;

Hernández *et al*, 2009).

Para la alimentación de los peces es importante conocer los hábitos alimenticios y los requerimientos nutricionales de cada fase de producción de la especie explotada. De igual forma es importante conocer la calidad nutricional de los insumos a emplear, de tal forma que la ración suministrada pueda cubrir los requerimientos nutricionales específicos básicos. Por varios siglos, los piscicultores han incrementado la producción de peces en estanques utilizando fertilizantes.

El objetivo de fertilizar un sistema acuático de cría de peces o cualquier organismo con excretas o aguas residuales, es producir alimentos naturales para los ellos (figura 7). Los nutrientes inorgánicos, liberados por la degradación bacteriana de los sólidos orgánicos en las excretas, son utilizados por el fitoplancton. El zooplancton se alimenta del fitoplancton y de las pequeñas partículas de detritus revestidas con bacterias. El plancton particularmente el fitoplancton, es la mayor fuente de alimento natural para los peces en estos estanques por lo que, para optimizar la producción, la mayoría de los peces deben ser filtradores para explotar el crecimiento de estos alimentos (Domínguez, 1997).

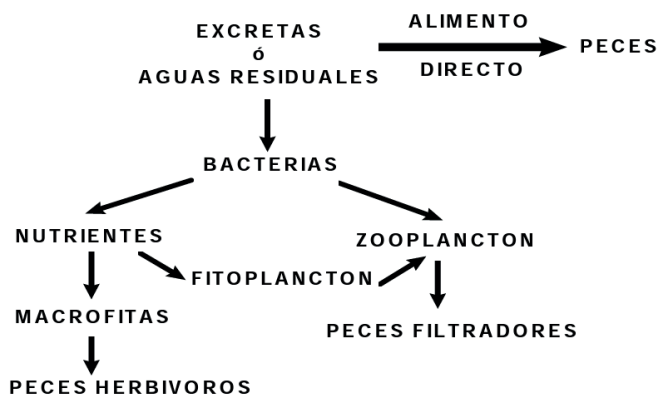


Figura 7. Esquema de la cadena alimentaria en estanques fertilizados (Tomada de Domínguez, 1997)

Los fertilizantes incorporados al estanque pueden ser orgánicos e inorgánicos. Los fertilizantes orgánicos son los más utilizados en piscicultura por la abundancia en las fincas rurales (estiércol) y pueden ser de bovinos, aves, cerdos, entre otros (Tabla 1). Estos compuestos orgánicos están compuestos de desechos animales o vegetales como son las excretas de animales de granja (gallinaza, borregaza, cerdaza, vacaza, etc.), esquilmos o desechos agrícolas, macrófitas acuáticas. El fertilizante orgánico a su vez puede ser aplicado de manera directa en forma fresca o seca, o bien fermentado como bioabono líquido o en forma de composta (Arredondo, 1993; Domínguez, 1997; Balbuena, 2011, Morales, 2016).

Los residuales líquidos y sólidos que se generan en la producción animal contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos, fundamentalmente nitrógeno y fósforo, que pueden aprovecharse en diversas formas. El uso directo como fuente proteica en la alimentación de diferentes especies de animales o en la fertilización de cultivos y estanques de peces son las alternativas más utilizadas. Estos residuales tienen la ventaja de encontrarse disponibles todo el año y su recolección y manejo son relativamente fáciles (Domínguez, 1997).

Abono	Origen	Dosis diarias (g/m <sup>3</sup> )
Orgánico	Estiércol de bovino	9.5 a 20
	Estiércol de ave	4.5 a 8.5
	Estiércol de cerdo	4.5 a 15

Tabla 1. Principales fertilizantes orgánicos utilizados para el cultivo de peces químicos (Tomado de Arredondo, 1993)

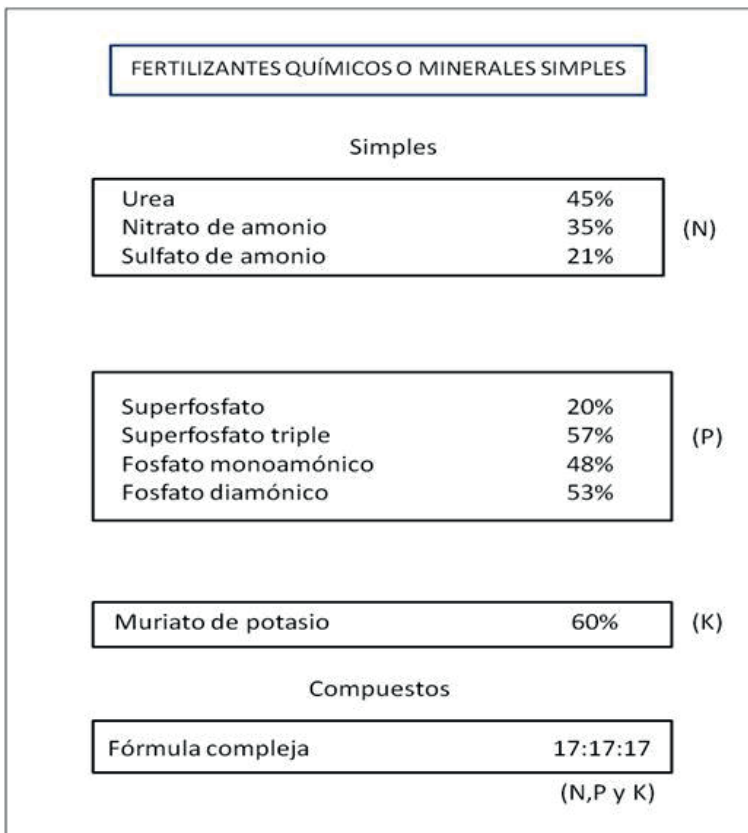
El abono utilizado para los estanques es insuficiente cuando la densidad de siembra es mayor a 2 peces/m<sup>2</sup>, por lo que se hace necesario suministrar alimento artificial o balanceado. Las especies explotadas en nuestro medio como la tilapia aceptan muy bien los alimentos naturales que se producen en los estanques (fitoplancton, zooplancton), por lo que se recomienda el abonado de los recintos acuáticos para la producción de dichos nutrientes. El fitoplancton está integrado por vegetales microscópicos capaces alimentarse a partir de sustancias inorgánicas (son autótrofas) por medio de la utilización de nutrientes aportados por el abono químico (Tabla 2) incorporado en el estanque y la utilización de la radiación solar (fotosíntesis) (Arredondo, 1993).

Los alimentos balanceados en piscicultura están preparados de acuerdo a los requerimientos nutricionales de la especie cultivada y pueden ser suplementarios o completos. Los primeros se suministran para complementar el consumo del alimento natural, mientras que, el segundo cubre totalmente los requerimientos nutricionales y el pez puede depender totalmente de dicha ración (Balbuena, 2011).

Los requerimientos de los peces dependen de su etapa de crecimiento; así, en la etapa inicial de desarrollo (alevín, cría), es la más demandante de energía y proteína, decreciendo en la etapa de pre-engorda y aún más en la de engorda. Sin duda el ofrecimiento de alimentos de calidad en la primera etapa de crecimiento de los peces, generará cosechas con mejores rendimientos (Hernández *et al.*, 2009).

Tabla 1. Principales fertilizantes químicos utilizados para el cultivo de peces (Tomado de Arredondo, 1993)





Uno de los aspectos más importantes en la biología de la conservación de los peces en ambientes controlados, son las técnicas de cultivo de las formas larvales (Sarma y Nandini, 2017). Hoy en día se incorporan a la acuicultura una mayor variedad de organismos considerados como alimento vivo, dentro de los cuales se considera al zooplancton, con la finalidad de aumentar la supervivencia de las crías de peces, y entre las especies más utilizadas se encuentran: *Artemia franciscana*, *Daphnia pulex*, *Eisenia foetida*, *Spirulina spp.*, *Moina macrocopa*, *Brachionus plicatilis* y *Tubifex tubifex*, debido a su alto valor nutritivo, alta disponibilidad y abundancia, tamaño aceptable, cuerpo blando, altas densidades de cultivo, ciclo de vida corto y movilidad (Erdogan y Olmez, 2009).

Las larvas de peces marinos son generalmente muy pequeñas al momento de la eclosión y dependen de los nutrientes endógenos del saco vitelino por un corto período de tiempo. Después de que el saco vitelino se ha agotado, una fuente exógena de alimentación es típicamente ofrecida en la forma de zooplancton, el cual puede variar dependiendo del sistema de cultivo larvario empleado. La talla del zooplancton es generalmente ajustada al crecimiento de la larva, y al mismo tiempo durante la crianza larvaria se puede proveer de dietas microparticuladas. Sin embargo, las dietas comerciales disponibles para larvas

generalmente no han sido capaces de reemplazar el alimento vivo para la mayoría de las larvas de peces marinos que son cultivados intensivamente (Gatlin, 2000).

Los requerimientos del pez también varían con relación al sistema de producción utilizado (extensivo, semi-intensivo e intensivo). Por lo tanto, el éxito de la actividad piscícola depende de la calidad y cantidad del alimento. A continuación, se presentan los requerimientos proteicos de algunas especies de peces (Tabla 2 y 3), necesarias en sus diferentes etapas de crecimiento (Balbuena, 2011):

Especie	Nombre científico	Requerimiento Prot (%)
Carpa Camún	<i>Cyprinus carpio</i>	31-38
Bagre	<i>Ictalurus punctatus</i>	32-36
Tilapia del Nilo	<i>Oreochromis niloticus</i>	30-40
Clarias	<i>Clarias gariepinus</i>	35-40

Tabla 2. Requerimiento de proteínas para algunas especies bajo cultivo

Estadío	Requerimiento Prot. (%)
Alevín hasta 0,5 g.	30-56 (40-45)
Cría de 0,5 a 10 g.	30-40 (30-35)
Juvenil de 10 a 50 g.	25-30
50 g a talla comercial.	25-30

Tabla 3. Requerimientos proteicos para las diferentes etapas de crecimiento en peces

Los costos de alimentación generalmente constituyen el principal costo variable en la producción intensiva de peces, por lo tanto, la formulación de alimentos eficientes y de bajo costo puede influir significativamente en la rentabilidad de la producción de peces. La precisión en la formulación de las dietas puede ser mejorada si se conoce información acerca de la digestibilidad o disponibilidad de los nutrientes provenientes de los ingredientes (Gatlin, 2000).

Los peces como los otros animales requieren en el ambiente en que viven condiciones favorables para el desarrollo de su potencial biológico, para el efecto el manejo hidráulico es uno de los factores preponderantes para facilitar los trabajos rutinarios. Por lo anterior, se recomienda realizar muestreos periódicos (cada mes) para evaluar el crecimiento y en función del peso promedio, ajustar las raciones suministradas, como así también observar las condiciones generales del pez. Además, se recomienda que por cada ciclo de producción se vacíe y desinfecte el estanque, con el fin de eliminar microorganismos patógenos, evitando enfermedades (Hernández *et al.*, 2009).

El crecimiento adecuado de los peces, está muy relacionado con mantener los

parámetros de calidad de agua en intervalos adecuados para la especie a producir, en este sentido, los factores físicos y químicos más importantes que se deben considerar para la producción de peces en cautiverio son los siguientes: Temperatura, oxígeno disuelto, pH, transparencia, conductividad, anhídrido carbónico, dureza, amonio, nitrito, nitrato, cloro, DBO, DQO y contenido de bacterias.

El agua, siendo el medio de vida necesario para que los peces se puedan cultivar, debe contar con la calidad adecuada de acuerdo a la especie-objetivo; de otra forma el crecimiento será sub-óptimo e incluso podría presentarse mortalidad en los cultivos. En la naturaleza cada especie de pez tiene sus exigencias ambientales, pero se dispone de correspondencias generales aplicables a la mayoría de las variedades destinadas a la acuicultura. Las variables se conocen como parámetros indicadores de calidad de agua, y son de orden físico y químico.

En cuanto a la calidad del agua, los indicadores deben estar dentro de los niveles apropiados para los peces, para garantizar la respuesta biológica de las especies de peces que se desea producir (Proain, 2020).

Los niveles de los parámetros para un adecuado crecimiento de los peces, se sugiere deben de estar de la siguiente manera: oxígeno disuelto entre 2.5 y 4 mg/l, pH entre 7.0 y 8.5, DQO menor de 30 mg/l, amoniaco menor de 0.1mg N-NH<sub>3</sub>/l, transparencia del agua de 25 a 35 cm, cantidad de fitoplancton mayor de 200 células/ml y cantidad de zooplancton de 400 a 500 organismos/l (Domínguez, 1997).

El agua de los estanques piscícolas no tan solo puede ser utilizada para el cultivo de peces. En el sur de Asia, los estanques son usados para el riego de hortalizas y frutales en la huerta doméstica, además de ser utilizados en la evacuación de las aguas servidas domésticas. Como fuente de agua para la irrigación, el agua de los estanques acuícolas es a menudo más rica en nutrientes que el agua de pozo, conteniendo en particular nitrógeno fijado por las algas verdeazuladas; fundamental para el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Después de la cosecha de peces, el lodo del estanque, rico en nutrientes, puede ser utilizado como fertilizante para mejorar las cosechas, o el estanque en sí mismo puede ser cultivado con forrajes u otros cultivos. En áreas donde hay escasez estacional de agua, un estanque puede ser vital para asegurar la producción agrícola a lo largo del año, permitir abreviar el ganado, satisfacer el consumo doméstico de agua y garantizar la protección contra incendios (Matthias y Martínez-Espinosa, 2000).

La expansión de la acuicultura en el futuro dependerá principalmente del suplemento de alimentos y sistemas de alimentación adecuados. En este sentido, México y los países que no tengan harina de pescado en suficiente cantidad para abastecer la demanda actual y futura, deberán iniciar sí no lo han hecho, estudios para identificar fuentes alternas de proteína que sustituyan a la harina de pescado o bien optimizar sus sistemas de cultivo en relación a la producción natural de alimentos a través de la fertilización, y utilizar alimentos suplementarios con menos proteínas, menos vitaminas, minerales y aditivos. Toda esta

información indica que la tendencia en México deberá ser la de aprovechar al máximo el ecosistema de los estanques y para ello se requieren estudios para conocer la dinámica de estos cuerpos de agua y su contribución real en la alimentación de los organismos que se cultivan (Chávez, 1993, Hernández *et al.*, 2009).

La cría en estanques, debido a la eficiencia intrínseca de su producción, tiene varias ventajas con respecto a la producción agrícola y ganadera. Los animales acuáticos son de sangre fría, lo cual hace que puedan utilizar más energía para crecer que para mantener la temperatura de su propio organismo. Además, son capaces de utilizar tanto los alimentos naturales como los industriales. El carácter tridimensional de un estanque ofrece diversos nichos ecológicos, los cuales permiten el desarrollo de numerosos y diversos organismos. En China, un estanque bien manejado permite el cultivo de más de ocho especies de peces debido a que los mismos ocupan distintas partes del estanque y explotan diferentes nichos nutrimentales. Es primordial mencionar que, como toda actividad productiva, la acuicultura tiene riesgos y amenazas, pero también oportunidades, las cuales que deben ser consideradas y más aún al incursionar en esta actividad sin contar con una experiencia profunda del ramo (Hernández *et al.*, 2009).

SustainAqua en el 2009, menciona que es esencial continuar la búsqueda de los medios para hacer las prácticas de producción acuícola más sostenibles, eficientes y rentables mejorando, por ejemplo, las capacidades humanas, el uso de los recursos y la gestión ambiental. Para lograr una acuicultura más sostenible, en primer lugar se tendrá que seguir investigando soluciones concretas así como herramientas técnicas (metodológicas), con la finalidad de ofrecer diversas actividades de capacitación para informar a los acuicultores sobre los resultados. Sin embargo, es esencial que las diversas iniciativas en el ámbito nacional y mundial también desarrollen y actualicen permanentemente los códigos de conducta, indicadores de sostenibilidad y sistemas de certificación. De este modo se podrá alcanzar un entendimiento común y aceptado entre todas las partes interesadas sobre la sostenibilidad acuícola y cómo lograrla en la práctica.

Las perspectivas de la FAO sobre la pesca y la acuicultura en 2030 apuntan a un incremento de la producción, el consumo y el comercio, aunque a ritmos de crecimiento más lentos. Se espera que la producción total de animales acuáticos alcance los 202 millones de toneladas en 2030, gracias principalmente a un crecimiento sostenido de la acuicultura, que se prevé que se sitúe en 100 millones de toneladas por primera vez en 2027 y 106 millones de toneladas en 2030. Se prevé que la pesca de captura mundial se recupere, registrando un incremento del 6 % en comparación con 2020 hasta alcanzar los 96 millones de toneladas en 2030, como resultado de la mejora de la ordenación de los recursos, la reducción de los descartes, el desperdicio y las pérdidas (FAO, 2022).

## REFERENCIAS

- Arredondo, F.J.L. (1993). Fertilización y Fertilizantes: su uso y manejo en la acuicultura. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. 202 p.
- Avilés, Q.S. y M.H. Vásquez. (2006). Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. Pp. 69-86. En: Guzmán, A.P. y D.C. Fuentes. Pesca, acuicultura e investigación en México, México, Cámara de Diputados, Comisión de Pesca, CEDRSSA.
- Aguayo, E.J. y R. Trápaga. (1996). Geodinámica de México y minerales del mar. Fondo de Cultura Económica, México.
- Balbuena, R.E.D. (2011). Manual para extensionistas en acuicultura. Ministerio de Agricultura y Ganadería, FAO Paraguay. 52 p.
- Cáceres, C. (2017). Acuicultura. <http://www.uabcs.mx/maestros/ccaceres/acuicultura/Intro.htm>
- Chavacán, A.M.L. y L.A.F. Castro. (2013). Manual de la Asignatura Práctica de Medicina y Zootecnia Acuícola. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 67 p.
- CONAPESCA (2021). Anuario Estadístico de Pesca 2021. Dirección de General de Planeación, Programación y Evaluación. SAGARPA, CONAPESCA, México. 292 p.
- CONEVAL (2019). La pobreza urbana en México: un enfoque geoespacial. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Pobreza\\_urbana/Presentacion/Pobreza\\_AGEB\\_urbana.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Pobreza_urbana/Presentacion/Pobreza_AGEB_urbana.pdf). Revisado el 15 de diciembre 2020.
- Domínguez, P.L. (1997). Sistemas Integrados. En: Arredondo, F.J.L., P.L. Domínguez y G.D.C. Grande. (Compiladores). Sistemas Integrales de Acuicultura para el Desarrollo Sustentable. Pp. 15-24
- DOF (1994). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-PESC-1993, para regular la aplicación de cuarentenas, a efecto de prevenir la introducción y dispersión de enfermedades certificables y notificables, en la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuicultura y ornato en los Estados Unidos Mexicanos. SEGOB. DOF. Publicada el 16/08/1994.
- Escárcega, R. S. (2005). El robalo. Avances biotecnológicos para su crianza. AGT Editor, S.A.
- Erdogan, F. y Olmez, M. (2009). Effects of enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in angel fish, *Pterophyllum scalare*. Journal of Animal and Veterinary Advances, 8(8): 1660-1665
- Escárcega, R.S. (2020). ¿Cultivo de peces marinos? Hablemos de larvicultura en estanques. *Revista Digital Universitaria*, 21(2), 1-10.
- FAO, (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Oportunidades y desafíos. Roma. 253 p.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. 257 p.

Fragoso, C.M y A.A. de Ocampo. (2004). Zootecnia Acuícola. Unidad 9. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 29 p. Consultado el 6 de septiembre 2020. [https://fmvz.unam.mx/fmvz/p\\_estudios/apuntes\\_zoo/unidad\\_9\\_zootecniaacuicola.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_9_zootecniaacuicola.pdf).

Gatlin, III M. D. (2000). Nutrición de reproductores y juveniles de peces marinos. Pp 73-82 En: Civera-Cerecedo, R., PérezEstrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.

Hernández, B.C.A., G.G. Aguirre y D.G.C. López. (2009). Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México. Revista Mexicana de Agronegocios, 25. 117-130.

INEGI (2003). Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Edición 2002. No. 61.

De la Lanza, E.G. (2004). Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. Ciencias 76, 4-13.

Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En: Capital natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 283-322.

Matthias H.M. y M. Martínez-Espinosa. (2000). Los pequeños estanques. Grandes integradores de la producción agropecuaria y la cría de peces. Servicio de Gestión Agraria y Economía de la Producción. Servicio de Recursos de Aguas Continentales y Acuicultura. FAO, Roma, Italia. 30 p.

Morales, D.I. (2016). Evaluación de fertilizantes químicos y orgánicos en frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciada en Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 52 p.

Proain (2020). Producción de peces (piscicultura) en México. Proain Tecnología Agrícola. Documento revisado en: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/produccion-de-peces-piscicultura-en-mexico>.

Sarma, S.S.S. y S. Nandini. (2017). Rotíferos Mexicanos. Manual de enseñanza. FES Iztacala, UNAM. 148 p.

SustainAqua (2009). –Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture”. SustainAqua handbook – A handbook for sustainable aquaculture. Madrid, España. 122 p.

Ramirez, P.I.M. (1997) Bases científicas del uso de fertilizantes en acuicultura y aspectos fundamentales sobre calidad del agua. En: Arredondo, F.J.L., P.L. Domínguez y G.D.C. Grande. (Compiladores). Sistemas Integrales de Acuicultura para el Desarrollo Sustentable.75-86.

Saavedra, M.M.A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. CIDEA, Nicaragua. 22 p.