

Introducción

Diversas organizaciones no gubernamentales (ONG), la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y su filial, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), así como distintas entidades de los sectores públicos y privado, han planteado en la agenda de los Gobiernos la necesidad urgente de buscar alternativas o fortalecer las existentes para incrementar el consumo de alimentos con nutrientes de alto valor biológico y alta digestibilidad que garanticen una nutrición sana y equilibrada en los seres humanos, sobre todo en países donde el hambre y la desnutrición acosan a su población. No obstante, cifras oficiales señalan que en el mundo se pierde un porcentaje cercano al 14 % de los alimentos elaborados desde la cosecha hasta la venta al detal y que aproximadamente 690 millones de personas sufren de hambre, es decir, el 8,9 % de la población. Asimismo, existe un alto número de individuos afectados por la inseguridad alimentaria grave, que acosa a más de 746 millones, mientras que 1.250 millones sufren de inseguridad alimentaria moderada, según cifras de FAO *et al.* (2019).

Con el fin de realizar aportes a este propósito, en el presente documento se abordan aspectos históricos, técnicos, económicos y financieros relacionados con una de las opciones que se proponen como estrategia para

contribuir a la mitigación del hambre y la pobreza extrema: el cultivo de peces. Las razones para ello están relacionadas con aspectos tales como la alta biomasa que se puede producir en espacios relativamente pequeños en comparación con otros sistemas de producción como la ganadería, donde se requieren grandes extensiones de tierra. También se destaca la calidad nutricional de la carne del pescado por el alto contenido de aminoácidos esenciales, los ácidos grasos poliinsaturados, el aporte de minerales y vitaminas, el alto valor biológico y el alto porcentaje de digestibilidad, entre otras características.

El libro fue escrito considerando la importancia que tuvo el pescado y sus nutrientes en la alimentación y el proceso de encefalización en la evolución de los homínidos hasta el *Homo sapiens*. De igual forma, se contempla el rol que desempeñó este producto en la economía de los pueblos mediterráneos como Grecia, Italia, Egipto y España, así como en la numismática, las artes, los ritos funerarios y, sobre todo, como fuente importante de alimentos para la humanidad, de empleo y de beneficios económicos para quienes se dedican a su cultivo.

Se aborda, de manera resumida, el desarrollo de la acuicultura desde la necesidad de contribuir con los hábitos alimenticios para posteriormente fortalecerse mediante la investigación. Se menciona quiénes fueron los pioneros de ese desarrollo y cómo sirvió de base para crear el primer centro de investigación acuicultura en Francia, para darle lugar al significativo aporte de la reproducción inducida a la producción y masificación de grandes volúmenes de alevines para su cultivo controlado. Se tratan además aspectos de carácter emotivo sobre el desarrollo de la acuicultura en Colombia, haciendo un reconocimiento a aquellos profesionales, instituciones de educación y agencias de cooperación que fueron precursores en la materia y en la formación de escuelas y de nuevos investigadores.

Uno de los aspectos evaluados está relacionado con el estado mundial y nacional de la pesca y la acuicultura. En ese sentido, se analizan cifras de los informes de la FAO, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). De igual forma, se abordan temas relacionados con la clasificación de la acuicultura y las técnicas modernas de cultivo, con sus respectivas ventajas y desventajas.

Asimismo, se examina la importancia que tiene la piscicultura en la erradicación del hambre, considerando los compromisos adquiridos por la ONU y el Gobierno de Colombia como país miembro, en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ONU, 2015). Otros puntos de análisis son la importancia de una alimentación sana, la diferencia entre lo que es un alimento y un nutriente desde el punto de vista de su composición proximal, el valor biológico, la digestibilidad y el valor proteico. De tal manera se eleva al pescado como uno de los alimentos más completos para la seguridad alimentaria de la humanidad que puede hacer frente al alto número de personas que sufren de desnutrición y padecen de inseguridad alimentaria grave y moderada.

Por lo demás, la domesticación desempeñó un rol determinante en la transición de las sociedades primitivas y nómadas al sedentarismo y asentamiento de los pueblos. Así, esta relación entre los animales y los humanos sirvió para que el hombre dejara su condición de cazador y recolector y se dedicara a la práctica agropecuaria, incluyendo los cultivos terrestres. En concordancia con ello, se puede deducir que la domesticación es quizás uno de los hitos más representativos en el desarrollo y supervivencia del ser humano. Mediante la domesticación, se trascendió del simple proceso de recolección para satisfacer necesidades alimenticias a una evolución

de tipo socioeconómico que instituyó relaciones comerciales entre tribus y otras poblaciones, lo que fue consolidando una economía en el sector agropecuario. En este orden de ideas, en el libro se exponen argumentos relacionados con la importancia de domesticación en la piscicultura y las características que debe tener una especie para ser domesticada, las principales especies domesticadas de uso comercial en la piscicultura a nivel mundial y a nivel nacional, así como la relación de algunas investigaciones adelantadas en la Universidad del Magdalena y otras instituciones con miras a la domesticación y su potencial uso a nivel comercial.

Ahora bien, para una adecuada producción acuícola, se le debe garantizar al productor una semilla de buena calidad, en la cantidad necesaria para su explotación comercial. De allí que se expongan aspectos relacionados con la reproducción y las diversas estrategias y mecanismos evolutivos logrados por los organismos acuáticos. Se consideran las adaptaciones biológicas de estas especies y factores relacionados con la reproducción en cautiverio, así como los mecanismos de ovogénesis y espermatogénesis. En esa medida, se exploran las técnicas de reproducción inducida de las cachamas y el manejo de la reproducción natural de las tilapias, dos de las especies reconocidas por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca como domesticadas y autorizadas para su cultivo en el país junto con las truchas.

Otro aspecto importante por considerar en el momento de cultivar cualquier tipo de organismo vegetal o animal es la alimentación y los requerimientos nutricionales. Por tal motivo, en esta publicación se exponen elementos básicos de la nutrición de los peces y, de manera expedita, se plantea la importancia del alimento vivo en la producción de larvas y alevines.

Los peces, como todo ser vivo, son susceptibles de contraer enfermedades; más aún cuando las prácticas modernas son intensivas y las densidades de siembra son altas. En consecuencia, se tratan también algunos aspectos sanitarios básicos, iniciando con un glosario de términos tomados de la Organización Panamericana de la Salud (OPS). De esta forma se ilustra sobre el contexto donde puede desarrollarse una enfermedad, así como sobre los tres elementos necesarios para que esta pueda consumarse, esto es, lo que se conoce como la triada ecológica o epidemiológica. Además, la génesis de las enfermedades, las enfermedades más frecuentes en peces y las técnicas modernas utilizadas en el diagnóstico y las recomendaciones para el cuidado y manejo se describen para conocimiento de los iniciados en el tema. Asimismo, se exponen las recomendaciones sobre cómo adelantar una anamnesis o historia clínica en caso de presentarse alguna patología que afecte a los peces en el cultivo y cómo tomar las muestras necesarias para enviarlas a los centros especializados para el respectivo diagnóstico.

El libro finaliza con la exposición de los principales aspectos para considerar en el montaje de un proyecto piscícola. En ese orden de ideas, se indican aspectos necesarios para la planificación de un proyecto de esta naturaleza como los económicos, los biológicos, los nutricionales, la ingeniería del proyecto y los procesos de retroalimentación de la información. Igualmente, se ilustra sobre otros asuntos recomendados para formular un proyecto y analizarlos en la toma de decisiones, como el mercado, los técnicos, los económicos y los financieros. De tal modo, se desarrolla un ejercicio práctico donde se sugieren y se contemplan unos supuestos para el montaje de un proyecto de inversión para la producción de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en un sistema de tanques circulares.

El documento está acompañado por dos anexos. El anexo 1 deja explícitos los aspectos por considerar en el diagnóstico de posibles patologías en peces, en lo que se conoce como formato anamnésico básico, y el anexo 2 relaciona los aspectos legales por considerar en el montaje de un proyecto piscícola en Colombia.

Historia y desarrollo de la pesca y la acuicultura

Pedro J. Eslava Eljaiek

«Maestro, quisiera saber cómo viven los peces en el mar.
Como los hombres en la tierra:
los grandes se comen a los pequeños».
William Shakespeare

Contexto histórico del desarrollo acuícola en el mundo

La alimentación y la nutrición de los humanos son procesos que desde la existencia de los homínidos primitivos han promovido cambios en la ingesta de alimentos, con el propósito de obtener los nutrientes esenciales para suplir las necesidades metabólicas de sus funciones vitales. En esa evolución, algunos autores (Arroyo, 2008; Mateos y Rodríguez, 2010) describen una serie de transformaciones morfológicas y fisiológicas que se dieron desde la aparición de los primeros homínidos que habitaron en los árboles de la selva africana hasta el surgimiento del género *Homo* y, particularmente, la especie *H. sapiens*.

La Dra. Mateos (s. f.), del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH) del

Gobierno español, señala que hace más de dos millones de años se presentaron algunas transformaciones en el desarrollo humano como consecuencia de un cambio climático acontecido en el continente africano. El incremento en la temperatura impactó a la vegetación y su zona de influencia, y así las zonas de bosques se convirtieron en zonas de sabana y zonas desérticas. Luego, como producto de esa metamorfosis en el paisaje, los homínidos que habitaban esas regiones tuvieron que adaptarse a esas nuevas condiciones y, entre otras, dejaron de vivir en los bosques y empezaron a caminar de forma erguida. Dichos cambios morfológicos también afectaron el funcionamiento corpóreo y el de los órganos vitales y, como consecuencia, se produjeron modificaciones en los hábitos alimenticios. De esta forma, por ejemplo, estos antepasados se volvieron más cazadores y recolectores, garantizando con ello fuentes de alimento con los nutrientes requeridos para una alimentación sana.

Siguiendo con la Dra. Mateos (s. f.), la dieta en ese momento era vegetariana, lo que no requería un mayor progreso de las capacidades intelectuales que poseían. Es decir, el cerebro de estos habitantes no estuvo sometido a ningún tipo de presión evolutiva para agrandar su tamaño. Sin embargo, por otra parte, existían otros homínidos del género *Homo* que se convirtieron en oportunistas fuertes y cuya estrategia alimenticia se apoyó en aprovechar cualquier recurso a su disposición. Lógicamente, esto requirió una mayor versatilidad en la conducta y capacidad de improvisación, lo cual ocurrió por una mayor inteligencia, marcada por un incremento del tamaño cerebral. Este agrandamiento evolucionó hasta transformar a estas especies en omnívoras, pero para obtener los nutrientes necesarios como proteína y grasa animal debían ser más inteligentes. Estas variables influyeron en el incremento de la masa cefálica

y, por consiguiente, se desarrollaron nuevas estrategias para aprovechar la nueva oferta alimenticia, en la que los ácidos grasos necesarios para el adecuado funcionamiento del cerebro provenían de ciertos frutos secos y de la grasa animal.

Con relación a las exigencias energéticas del cerebro de los australopitecos y los parántropos, Mateos y Rodríguez (2010) declaran:

Eran similares a las de los chimpancés, pero el cerebro del *Homo habilis* requería un 15 % de la energía requerida para mantener el metabolismo estando en reposo. Por tanto, los requerimientos sobre la dieta de un cerebro más grande no se restringían a la cantidad de energía, sino que la calidad de los alimentos también fue esencial en el desarrollo cerebral. (p. 30).

Amat (2018) *realiza* una exposición sobre las especies de homínidos que vivieron antes de llegar a la aparición del *H. sapiens* y concluye:

Las diversas especies de organismos acuáticos, así como la de mamíferos y/o aves que se alimentaban de ellos, fueron una fuente alimenticia trascendental, no solo de proteínas, sino también de los ácidos grasos poliinsaturados esenciales (PUFA) en el proceso de encefalización, ácidos Araquidónico (AA) y Docosaheptaenoico (DHA), cuya proporción o perfil (DHA/AA) en el cerebro humano son próximos a los que se encuentran en peces de agua dulce o de agua salada (p. 20).

De esta forma se evidencia que los recursos alimenticios de origen acuático proporcionaron nutrientes determinantes en la evolución del hombre. En su trasegar a través de la historia, el consumo de pescado y otros productos derivados

de la pesca le ha permitido a la humanidad llevar a la mesa alimentos saludables de alto valor nutricional necesarios para sus funciones vitales. En ese sentido, Blázquez (2004) resalta a la pesca como una actividad importante en la economía de los pueblos aledaños al Mediterráneo (800-600 a. C.) y como la principal fuente de riqueza de muchas colonias griegas en el mar del Bósforo y el mar Negro. El autor evalúa entonces la relevancia que tuvo el consumo de pescado y mariscos en el arte, la numismática, los ritos funerarios, el desarrollo de la tecnología de captura, la conservación, el transporte, la organización de asociaciones, la legislación y el comercio. A su vez, describe el establecimiento de una serie de impuestos derivados de esta actividad tanto en Grecia como en Italia, Egipto, Siria, España y el mundo helenístico (323-31 a. C.), donde se marcó el derrotero de una gran industria que persiste hoy en día y que cada vez más contribuye a la alimentación de la humanidad.

A medida que la población crece, la búsqueda de recursos alimenticios debe ser una prioridad de los Gobiernos. En este sentido, información de Europa Press (2016) expone que en el siglo primero el mundo tenía 170 millones de habitantes, y hoy día esa población es de aproximadamente 7.600 millones, una considerable cantidad de personas a las que hay que alimentar. En este cometido, sectores como la pesca y la acuicultura deben llevar a cabo un rol fundamental.

Con relación a la función que ha desempeñado la pesca a lo largo de la historia, la FAO (2000b) señala:

La pesca ha sido desde la antigüedad una fuente fundamental de alimentos para la humanidad, de ocupación y de ayuda económica para quienes se dedican a esta actividad. Sin embargo, con el aumento de los conocimientos y la evolución

dinámica de la pesca se constata que los recursos acuáticos, aunque son renovables, no son infinitos y es imperioso administrarlos de manera apropiada para poder salvaguardar el bienestar nutricional, económico y social de una población mundial en constante crecimiento (p. 1).

El término «renovables, pero no infinitos», acuñado por este organismo mundial, tiene una connotación importante en la medida en que la población mundial aumenta de forma progresiva. Este crecimiento demográfico lleva a las diferentes industrias pesqueras a ejercer una fuerte presión sobre el recurso pesquero, lo que conlleva a que la captura por unidad de esfuerzo sea cada vez mayor y a unos costos tecnológicos altos (FAO, 2001). Por lo tanto, la búsqueda de nuevas alternativas de producción de alimentos ricos en proteína se proyecta como una apuesta de altísima prioridad para los Gobiernos del mundo.

Al referirse a la historia, definición y objeto de la pesca, la FAO (2000a) señala que la acuicultura se desarrolló para servir al hombre, y entre sus propósitos más importantes destaca: la producción de alimentos de alto valor nutritivo; la contribución al ingreso y a la creación de empleo rural; el mejoramiento de la captura y la pesca deportiva; la producción de especies ornamentales con propósitos decorativos, y el control de malezas acuáticas o los riesgos de plagas y enfermedades, tanto para la agricultura como para la humanidad. Hishamunda y Subasinghe (2003), por su parte, mencionan que «el desarrollo de la acuicultura en sus albores parece haber surgido en función de los hábitos alimenticios para posteriormente consolidarse mediante la investigación» (p. 4).

Lo anterior es corroborado por Jessé y Casey (2006), quienes describen los hitos más importantes de la acuicultura en

el contexto histórico. Su investigación deja ver que fueron los emperadores chinos, en el periodo comprendido entre 2852 y 2737 a. C., quienes desarrollaron técnicas para el cultivo de algunas especies como las lisas y las carpas. Luego, el manejo de la práctica acuícola se exportó a Europa en los siglos XVIII y XIX, cuando los avances científicos y tecnológicos fueron de interés trascendental para el desarrollo de la acuicultura moderna. Para ello, resultaron significativos los avances realizados por Stephen Ludwig Jacobi, quien en 1758 logró fecundar artificialmente huevos de salmones y truchas, y los pescadores franceses Remy y Gehin, que en 1842 consiguieron puestas viables y producir alevines de trucha. Esto motivó a la Academia de Ciencias de París a estudiar para profundizar en este tema. De ahí se derivó el nacimiento del Instituto de Huningue, primer centro de investigación en acuicultura en el mundo.

Los hallazgos descritos abrieron el camino para otros estudiosos del tema, como Donaldson y Hunter (1983), quienes investigaron sobre el funcionamiento del sistema endocrino y su relación con la reproducción de los peces. El primer estudio de inducción a la reproducción de peces utilizando hormonas se llevó a cabo en Argentina por Houssay (1930), premio nobel de medicina, quien inyectó hembras de *Cnesterodon decemmaculatus* con hipófisis de *Prochilodus platensis* y observó que ovulaban anticipadamente. Estas técnicas fueron puestas en práctica en Brasil por Von Ihering y Azevedo (1934) y Von Ihering (1935, 1937) en la inducción al desove de *Prochilodus argenteus* y posteriormente fueron seguidos con éxito por investigadores americanos en el desove inducido de especies de peces de Norteamérica (Hasler *et al.*, 1939, 1940). Estos desarrollos fueron importantes ya que permitieron la masificación de alevinos y garantizaron

al productor la cantidad necesaria de crías para emprender proyectos comerciales.

Contexto del desarrollo acuícola en Colombia

Colombia, por su posición tropical, su riqueza hídrica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015) e hidrobiológica (Gutiérrez, 2010) y grandes extensiones de tierra, y la diversidad de pisos térmicos y ecosistemas acuáticos, tanto continentales como marinos y estuarinos, posee condiciones para promover el desarrollo de la acuicultura. En efecto, esta actividad tuvo su inicio en los años 30 del siglo XX, con la importación y siembra de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y, posteriormente, con la introducción de una serie de especies foráneas como las carpas (*Cyprinus carpio*) y varias especies de cíclidos africanos como la *Oreochromis mossambicus*, *Tilapia rendalli*, *Oreochromis niloticus* o tilapia nilótica y el híbrido *Oreochromis* sp. o tilapia roja.

De igual forma, se han introducido una serie de peces ornamentales. Algunos de los primeros fueron el *goldfish* (*Carassius auratus*), el *Betta splendens*, varias especies de guramis del género *Trichopsis* y el pez cebra *Danio rerio*, entre otros. Por otra parte, el cultivo de especies nativas en Colombia como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) se viene haciendo en estanques de manera extensiva o en policultivo, y quizá las especies nativas con mayor representatividad a nivel de piscicultura son la cachama negra (*Colossoma macropomum*) y la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*), diseminada por todo el país.

Uno de los pioneros de la piscicultura en Colombia, el doctor Ramos (1979), de la Universidad de Caldas, manifestó

en su escrito *Fundamentos de piscicultura agrícola* que «la piscicultura colombiana debería tener como base a los peces nativos, puesto que la fauna autóctona es rica en diversidad de especies, entre las cuales seguramente podrán encontrarse algunas que se prestarán para el cultivo en estanques agrícolas y comerciales» (p. 51). No obstante, para que esta premisa sea realidad, se debe considerar que la producción a nivel industrial de organismos acuáticos requiere, para su implementación comercial, otros elementos de tipo biotecnológico, de forma que obtenga los volúmenes de alevines convenientes, con las tallas, los pesos y los factores de conversión convenientes. De igual forma, es necesario mantener un cuidadoso manejo sanitario que permita obtener el mejor dividendo en el negocio.

Se puede aseverar que la acuicultura es «ecología aplicada» porque cada especie susceptible de ser cultivada tiene una relación sin ecológica y autoecológica, e igualmente ejercen un papel importante en su práctica los factores bióticos y abióticos, todos ellos relacionados con procesos fisicoquímicos y biológicos y la tecnología utilizada en la práctica para cultivar diversos organismos acuáticos. Todo productor de cualquier área o rama de la acuicultura necesita manejar conocimientos básicos sólidos, pues en la práctica se está interactuando con seres vivos y, además, se involucran muchos recursos, sobre todo humanos y económicos.

De la misma manera, la práctica de la acuicultura debe estar acompañada de una serie de conocimientos y conceptos de tipo científico. Por tal motivo, las ciencias básicas como la biología, la química, las matemáticas, la física y la genética deben ayudar a entender cómo los estanques funcionan como un sistema holístico.

El desarrollo de la acuicultura en nuestro país ha sido posible no solo debido a la transferencia y adopción de tecnología foránea, sino también por los avances obtenidos en diferentes universidades tanto públicas como privadas como las de Magdalena, Córdoba, Nariño, Valle, Sucre, Caldas, Antioquia, Nacional de Colombia y Jorge Tadeo Lozano, así como en el Instituto de Investigaciones Acuícolas de la Universidad de los Llanos. Los hallazgos de estas instituciones educativas, entre otras, se han articulado a áreas como la producción animal, la reproducción, la nutrición, la sanidad acuícola, la genética, la dinámica poblacional, la biología reproductiva, el cultivo y el tratamiento poscosecha.

Algunas agencias y organismos internacionales han contribuido al crecimiento de la actividad acuícola en Colombia; entre ellas, la FAO, la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA por su sigla en inglés) y la de Cooperación Internacional Alemana (GTZ). De igual forma se ha favorecido la formación especializada de profesionales de la ingeniería pesquera, la biología, la biología marina, la medicina veterinaria, la zootecnia y la acuicultura. En efecto, un aporte fundamental en todo este proceso formativo han sido las especializaciones y maestrías de la Universidad del Magdalena, el Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos y, recientemente, la Universidad de Córdoba.

A pesar de que la acuicultura en Colombia tiene menos de un siglo de haber iniciado labores, es loable reconocer la labor de aquellos insignes que aportaron a este desarrollo desde la investigación, la formación académica, el apoyo logístico, la planeación estratégica y la administración con el apoyo de