



Acuacultura sostenible: salud en peces cultivados y alternativas a los compuestos químicos

Sustainable aquaculture: health in farmed fish and natural alternatives to chemical compounds

Jesús Genaro Sánchez-Martínez ^{1*}, Jaime Luis Rábago-Castro¹, Roberto Pérez-Castañeda¹, Flaviano Benavides-González¹, María de la Luz Vázquez-Sauceda¹, Zeferino Blanco-Martínez¹

RESUMEN

La acuicultura ha crecido significativamente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y ofreciendo empleo y sustento a muchas familias y comunidades, y proporcionando una fuente proteica de alta calidad. Sin embargo, el uso indiscriminado de compuestos químicos para controlar infecciones ha generado problemas como el estrés en los peces y resistencia en patógenos. Como alternativa se han explorado terapias que incluyen el uso de extractos de plantas medicinales que poseen efectos antibacterianos y antivirales, que mejoran la inmunidad y reducen el estrés en peces. Los métodos de administración de estos extractos incluyen la suplementación del pienso, baños de inmersión, e inyecciones intraperitoneales. El uso de plantas medicinales no solo reduce la dependencia de antibióticos, mejorando la salud y resistencia de los peces a enfermedades, sino que también minimiza el riesgo de contaminación ambiental y la resistencia a antibióticos, promoviendo una acuicultura más sostenible y saludable.

Palabras clave: Acuicultura, extractos de plantas, terapia alternativa.

ABSTRACT

Aquaculture has grown significantly, contributing to food security, offering employment and livelihood to many families and communities, and providing a high-quality protein source. However, using chemical compounds to control infections has caused problems such as stress in fish and pathogen resistance. Therapies using medicinal plant extracts with antibacterial and antiviral effects have been explored as an alternative. These extracts enhance immunity and reduce stress in fish. Methods of administering these extracts include feed supplementation, immersion baths, and intraperitoneal injections. The use of medicinal plants not only reduces dependence on antibiotics, improving the health and disease resistance of fish, but also minimizes the risk of environmental contamination and antibiotic resistance, promoting a more sustainable and healthier aquaculture.

Keywords: Aquaculture, alternative therapies, plant extracts.

Autor para correspondencia: jgsanchez@docentes.uat.edu.mx

Fecha de recepción: 8 de julio de 2024

Fecha de aceptación: 17 de julio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura desempeña un papel crucial como actividad económica a nivel mundial, y su crecimiento en las últimas décadas ha contribuido significativamente a la seguridad alimentaria. Diversas especies acuícolas se explotan para generar empleo y sustento en comunidades locales y regionales. Además, la producción acuícola proporciona proteínas de alta calidad como una alternativa saludable en la alimentación, permitiendo una mejor absorción de nutrientes disponibles en los alimentos (Norman et al., 2019).

La creciente demanda de productos acuícolas y la necesidad mundial de proteínas de alta calidad han llevado a la intensificación de la acuicultura. Aunque esta intensificación ha mejorado la productividad, también ha aumentado el uso de compuestos químicos para el control de organismos infecciosos. El estrés en los organismos se incrementa debido a la naturaleza del sistema de producción y a los agentes patógenos presentes (de la Cruz-Cervantes et al., 2018; Jana et al., 2018). Estos compuestos químicos mejoran la supervivencia larvaria, la eficiencia alimentaria y reducen el estrés durante el transporte. Sin embargo, algunas enfermedades afectan la salud de los peces, causando pérdida de peso y mortalidad dentro de las granjas, lo que resulta en pérdidas económicas significativas. Para abordar este desafío, es crucial desarrollar medidas preventivas y capacidades para detectar las necesidades de salud específicas en cada región (Jana et al., 2018).

A pesar de los avances en el control químico de enfermedades acuícolas, estas siguen afectando al sector productivo. Por lo tanto, se investigan terapias alternativas que refuercen el sistema inmunológico de los peces y reduzcan la intensidad de las enfermedades o su aparición (Lieke et al., 2020).

En este contexto, las prácticas basadas en el uso de plantas medicinales en los sistemas acuícolas han demostrado beneficios. Este tema es especialmente relevante considerando las tendencias de crecimiento poblacional y la necesidad de una acuicultura sostenible.

DESARROLLO DE TEMA

Extractos de plantas y sus efectos en ganadería y acuicultura

El ser humano ha estado estrechamente vinculado con su entorno desde sus orígenes, utilizando elementos del medio ambiente para obtener alimento y medicinas (Jamshidi-Kia et al., 2018). Por ejemplo, existe una relación recíproca entre la medicina tradicional humana y la de los animales. Remedios conocidos y utilizados para la salud humana también se aplican al tratamiento de los animales, y viceversa (Martínez & Luján, 2011; Miara et al., 2019). Esta interacción ha influido en el desarrollo de prácticas de crianza animal como medio de subsistencia.

La creciente demanda de ganado ha intensificado las prácticas ganaderas, aumentando el riesgo de enfermedades y el uso de antibióticos (Jana et al., 2018). El uso excesivo de antibióticos en la ganadería ha tenido efectos negativos tanto en los animales como en la salud humana (Martínez & Luján, 2011). Para abordar esta preocupación global, se han propuesto estrategias de alimentación biológicamente seguras que incluyan el uso de extractos vegetales (Miara et al., 2019).

En la ganadería, se han reportado bacterias gastrointestinales como *Aeromonas* spp., *Bacillus anthracis*, *Brucella abortus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Leptospira* spp., *Listeria*

monocytogenes y *Mycobacterium tuberculosis* en desechos ganaderos. Además, la presencia de ectoparásitos representa un riesgo significativo debido a su resistencia a los métodos de control convencionales (Mawdsley et al., 1995).

A pesar de estos desafíos, el conocimiento popular sobre la salud animal sigue siendo valioso en los sistemas tradicionales de crianza (Miara et al., 2019; Moura-Nascimento et al., 2021). En particular, el uso de plantas medicinales ha demostrado beneficios significativos en el control de ectoparásitos en la ganadería. Por ejemplo, extractos de *Calea serrata* han logrado una mortalidad del 100% en el estadio larvario de la garrapata *Rhipicephalus microplus* (Ribeiro et al., 2007); además, la corteza de Neem (*Azadirachta indica*) también ha mostrado resultados favorables contra este parásito (Pathak et al., 2004).

En sistemas productivos como la acuicultura, también se han observado efectos negativos debido al aumento de la comercialización en las últimas décadas. Las patologías más relevantes en la acuicultura incluyen vibriosis, furunculosis, aeromoniasis, septicemia, streptococosis, lactococosis, yersinosis, photobacteriosis y flavobacteriosis. El uso excesivo de productos químicos para combatir estas enfermedades es una preocupación similar a la de la ganadería (Jana et al., 2018; Yılmaz et al., 2022), y al igual que en la ganadería, se han reportado beneficios del uso de plantas medicinales en la acuicultura, especialmente en términos de propiedades antimicrobianas (Miara et al., 2019; Yılmaz et al., 2022). Estudios indican que ciertos productos vegetales estimulan el apetito, promueven el crecimiento y actúan como inmunoestimulantes, agentes antibacterianos, antivirales y antiparasitarios en la acuicultura (Yılmaz et al., 2022). Además, algunos aditivos derivados de plantas pueden tener efectos positivos a nivel genético, como la expresión de genes antioxidantes o la resistencia a condiciones de estrés (Yılmaz et al., 2022).

El uso estratégico de plantas medicinales puede contribuir a mejorar la salud de los peces en la acuicultura y reducir la dependencia de productos químicos. La investigación continua en este campo es fundamental para desarrollar soluciones sostenibles que beneficien tanto a los animales como a los seres humanos. A continuación, se describen algunos de los efectos de extractos vegetales usados en la acuicultura:

Acción antibacteriana y antiviral en organismos acuáticos

La acuicultura es una industria en crecimiento constante, pero enfrenta desafíos significativos como la contaminación ambiental y la creciente resistencia antimicrobiana. La emergencia de patógenos resistentes a los fármacos afecta tanto a la industria acuícola como a la salud pública. Para abordar estos problemas, se buscan alternativas sostenibles que no sean dañinas para el medio ambiente, sean biodegradables, no alteren el ecosistema y mantengan propiedades antimicrobianas efectivas. Una opción prometedora es el uso de compuestos naturales, como los extractos de plantas medicinales en la alimentación de los peces, debido a sus efectos biológicos, incluyendo la actividad antibacteriana (Harikrishnan et al., 2011a).

Por ejemplo, se ha demostrado que extractos como el de hojas de olivo (*Olea europaea L.*) poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y otras actividades biológicas útiles en la alimentación de peces (El & Karakaya, 2009; Rahmanian et al., 2015). Estos compuestos, ricos en terpenos y otros componentes, alteran las membranas celulares de los patógenos, lo que puede ayudar a mitigar los problemas de resistencia antimicrobiana (Brahmi et al., 2012). Además, estudios recientes han investigado el potencial de otros extractos, como el etanólico de hojas de mangle (*Sonneratia alba*),

que muestra actividad antimicrobiana contra *Salmonella arizonae* en *Carasius auratus*, atribuida a flavonoides, saponinas, esteroides, taninos y terpenoides (Limbago et al., 2021).

Los virus también representan una amenaza significativa en la acuicultura, causando pérdidas económicas y de producción. Sin embargo, estudios han identificado terpenoides de plantas, como los de *Heliotropium filifolium*, que pueden inhibir la replicación del virus de la necrosis pancreática infecciosa (Modak et al., 2010). Además, extractos de plantas como *Calophyllum inophyllum*, *Clinacanthus nutans* y *Tinospora cripta* han demostrado efectos viricidas en peces Koi, mejorando significativamente las tasas de supervivencia frente al herpesvirus de ciprinidos (Haetrakul et al., 2018). Otros estudios han encontrado que extractos metanólicos de plantas medicinales pueden bloquear la transcripción y replicación viral en camarones hospederos (Citarasu, 2010).

Estimulación del sistema inmune y reducción del estrés en peces

Uno de los desafíos más significativos en la acuicultura es la reducción del uso de antibióticos y quimioterapéuticos. En este contexto, la aplicación de inmunopotenciadores en la acuicultura intensiva emerge como una solución prometedora (Pérez et al., 2014).

Existen diversas plantas medicinales que no solo poseen efectos antibacterianos, sino que también contribuyen a la prevención de infecciones bacterianas (Narayan et al., 2017). Por ejemplo, se ha observado que la fruta del Lapsi, *Choerospondias axillaris*, mejora la inmunidad innata de *Pangasianodon hypophthalmus*. De igual manera, los extractos metanólicos de la ortiga (*Urtica dioica*) y el hongo (*Pleurotus ostratus*) han demostrado mejorar la resistencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) contra *Aeromonas hydrophyla*, incrementando la actividad fagocítica, de la lisozima y de la mieloperoxidasa, independientemente de la dosis (Bilen et al., 2016). Además, los peces tratados con el extracto de ortiga presentaron la mayor supervivencia después de ser infectados con *A. hydrophyla*.

Otra planta con potencial inmunomodulador es el tulsi, *Ocimum sanctum*, que incrementa la resistencia de *Labeo rohita* a infecciones con *A. hydrophyla* al aumentar la producción del anión superóxido, la actividad lisozómica, la inmunoglobulina total en plasma, la proteína sérica total, el conteo total de leucocitos y el contenido de hemoglobina (Das et al., 2015). La suplementación de la dieta de *Carassius auratus* con *Aloe vera* incrementa la tasa de supervivencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Ahilan & Ravaneshwaran, 2010).

La adición de *Astragalus membranaceus* y de *Lonicera japonica* a la dieta de *O. niloticus* mejoró significativamente la actividad de los fagocitos y redujo la mortalidad frente a una infección con *A. hydrophyla* (Ardó et al., 2008). Los extractos etanólicos de la hoja de laurel, *Cistus laurifolius*, añadidos a la dieta de la carpa común (*Cyprinus carpio*) durante 45 días, mejoraron la inmunidad innata y la resistencia a *A. hydrophyla* (Bilen et al., 2021). También se ha observado que la adición de extractos de *Lactuca indica* mejora la inmunidad innata de *Epinephelus bruneus* y aumenta la resistencia a infecciones con *Streptococcus iniae* (Harikrishnan et al., 2011b).

La inmunidad innata de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) mejoró cuando se alimentó con una dieta adicionada con extractos de *Radix paeoniae alba* (Huang et al., 2017). Una fórmula medicinal china, con raíz de astrágalo (*Radix astragalini seu Hedysari*) y raíz de angélica (*R. Angelicae Sinensis*), eleva la inmunidad innata de *C. carpio* (Jian & Wu, 2004). La mayoría de los parámetros de la inmunidad innata de la carpa india (*Catla catla*) mejoraron significativamente

con la adición de extractos de *Cynodon dactylon* a la dieta (Kaleeswaran et al., 2011). El jengibre (*Zingiber officinale*) mejora la resistencia de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) contra *A. hydrophyla* (Payung et al., 2017). *Euphorbia hirta* es una planta que mejora sustancialmente los indicadores de la inmunidad innata y específica a dosis altas en carpa infectada con *Pseudomonas fluorescens* (Pratheepa & Sukumaran, 2011). Asimismo, los tratamientos profilácticos con extractos de *Andrographis paniculata*, adicionados a la dieta de la tilapia del Nilo, resultan en un incremento en la resistencia a infecciones con *Streptococcus agalactiae* (Rattanachaikunsopon & Phumkhachorn, 2009).

La inyección intraperitoneal de extractos acuosos de *Tinospora cordifolia* mejoró la inmunidad innata y la resistencia a enfermedades de *Oreochromis mossambicus* (Alexander et al., 2010). Los extractos etanólicos de *Muscari comosum*, inyectados intraperitonealmente a *Sparus aurata*, mejoraron los parámetros de la inmunidad innata (Baba et al., 2014). Estudios con extractos de las hojas de *Punica granatum*, inyectados intraperitonealmente en lenguado (*Paralichthys olivaceous*), demostraron que los parámetros de la inmunidad innata, como fagocitosis, estallido respiratorio, complemento y actividad de la lisozima, se incrementaron significativamente después de 8 semanas de la inyección, mientras que mejoró la tasa de supervivencia contra infecciones del virus de linfocistis (LDV) (Harikrishnan et al., 2010). Los extractos metanólicos de la semilla de *Nyctanthes arboritis*, inyectados intraperitonealmente en tilapia (*O. mossambicus*), mejoraron los parámetros de la inmunidad innata y específica, además de incrementar el porcentaje de supervivencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Kirubakaran et al., 2016).

En lo que respecta a las plantas medicinales y sus efectos en la reducción de estrés en peces, el estrés se define como un factor físico o químico que induce reacciones en el cuerpo de los peces que pueden llevar a producir enfermedad (Hodar et al., 2021). Los peces en cultivo están generalmente expuestos a estrés de tipo biótico y abiótico (Kate et al., 2023), que hace que los peces sean más susceptibles a enfermedades, impactando la producción (Monteiro et al., 2021); por lo que es importante diseñar alternativas para aliviar los diferentes tipos de estrés a los que están sujetos los peces en cultivo. Sin embargo, hay pocos estudios sobre la modulación de los biomarcadores de estrés (Magara et al., 2022). La menta (*Minata sepicata*) actúa como un aliviador de estrés en *P. hypophthalmus* expuesto a estrés con amoníaco (Kate et al., 2023). La alimentación de la trucha arcoíris con una dieta adicionada con ácido betulínico, el principio activo de la planta *Souroubea sympetala*, redujo considerablemente el cortisol plasmático cuando las truchas fueron sometidas a un estresor (Mullally et al., 2017); estos efectos pueden ser útiles para mitigar los efectos del estrés en la acuicultura. La ortiga (*Urtica dioica*) reduce el estrés en los peces, además de otros efectos, como mejoramiento del crecimiento y de la inmunidad, y efectos antibacterianos y antivirales (Zare et al., 2023). Se ha reportado también que la adición a la dieta de extractos de hojas de loto (*Nelumbo nucifera*) protegen a la tilapia nilótica de los efectos tóxicos de los metales pesados (Abdel Rahman et al., 2019). Los peces al ser transportados sufren de estrés, y la suplementación de la dieta con cúrcuma (*Curcuma longa*), y combinaciones de sal y aceite de clavo son efectivas para disminuir el estrés en los peces transportados (Ferreira et al., 2017; Martins et al., 2024). Los extractos etanólicos de *Artemisia annua* adicionados en la dieta de la tilapia del Nilo reduce la respuesta al estrés disminuyendo los niveles plasmáticos de glucosa y cortisol (Soares et al., 2020). Las algas marinas también tienen un buen potencial para reducir los niveles de estrés en peces cultivados, pues se ha reportado que la suplementación de las dietas de corvina (*Argynosomus regius*), con algas marinas (*Fucus vesiculosus* y *Nannochloropsis gaditana*) redujeron el estrés, reflejado en la reducción de los niveles de cortisol plasmático (Monteiro et al., 2021).

Métodos de extracción y administración de plantas medicinales en acuicultura

Producción de extractos

La obtención de los principios activos de las plantas para su empleo en los tratamientos contra enfermedades y patógenos en las diversas especies de organismo criados mediante la acuicultura, se realiza por diversos métodos, como la extracción mediante diferentes tipos de alcohol. En este tipo de extracción, las hojas de plantas secas se lavan con agua esterilizada, se homogenizan y muelen con etanol, luego se dejan reposar con etanol durante varios días, posteriormente se filtra a 150 micras, y el líquido resultante se deja reposar para dejar evaporar el alcohol, se agrega agua destilada y se almacena, dejando el extracto listo para su empleo (Bilen et al., 2021). Otro tipo de alcohol utilizado es el metanol (Uthayakumar et al., 2012), en donde se sigue en términos generales el mismo procedimiento, se obtiene un polvo de hojas del material vegetativo, el cual se deja en reposo con el alcohol, se filtra con una tela de muselina, se deja en evaporación en un equipo evaporador para hexano, y finalmente se incorpora a aceite comestible de coco como vehículo. Otros tipos de solventes como el éter de petróleo, cloroformo, acetato de etilo, acetona y metanol (Lu et al., 2012) también pueden ser empleados, previo lavado, molido y desecación de la planta.

En algunos estudios, después del molido y que el material vegetativo ha sido convertido a polvo, se somete a una desecación-congelación a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, con el fin de eliminar toda la humedad (Ji et al., 2012). Un nuevo método que ofrece algunas ventajas y denominado extracción supercrítica con bióxido de carbono, emplea dicho procedimiento para el aislamiento de aceites esenciales a partir de plantas, los cuales son también añadidos a las dietas (Docan et al., 2020) para determinar el efecto *in vitro* sobre patógenos bacterianos pueden ser diferentes. Por ejemplo, en primer lugar, se eliminan las partículas extrañas, sustancias u organismos, ya sean vegetales o animales y que estén adheridos al material vegetativo. Por ejemplo, Pannu et al. (2024) utilizaron una solución de permanganato de potasio al 1% para remover epifitas, arena y material extraño en las especies *Azadirachta indica*, *Aloe barbadensis*, *Withania somnifera*, *Momordica charantia*; luego se dejan secar, y se muelen en un mortero hasta convertirlas en polvo. En dicho reporte no se emplearon solventes a base de alcohol, sino agua destilada estéril, agitando durante 24 horas, filtrando posteriormente y dejando secar para su posterior uso. La razón para no emplear solventes es posiblemente para afectar a las bacterias por los residuos de los solventes tradicionales empleados, aunque estos hayan sido sometidos a la evaporación.

Suplementación del pienso

En la acuicultura, la aplicación y suministro de medicamentos profilácticos o terapéuticos en especies cultivadas en la mayoría de las veces es mediante su inclusión o integración en los alimentos. Los gastos mediante este método suelen ser inferiores a aquellos en donde se aplican directamente en el agua, o bien cuando se efectúan de manera individual, ya que conlleva a causar estrés en los animales y en la mayoría de las explotaciones no se contempla llevarlo a cabo por la mano de obra necesaria para realizarlo. Por ello, los métodos para administrar extractos y principios de plantas en las especies acuícolas son en general similares hasta el momento a los utilizados tradicionalmente para otros compuestos (antibióticos, quimioterapéuticos, vitaminas), mezclándolo con aceites y rociándolo con el alimento. Por ejemplo, en un estudio, se mezcló el polvo seco de las plantas con gel de sábila y posteriormente se incorporó al alimento (Ahilan & Ravaneshwaran, 2010). Una de las variantes de la suplementación en el alimento consiste en rociar los extractos en las diferentes concentraciones directamente al alimento seco (Bilen et al., 2021).

Asimismo, en un estudio *in vitro*, Abutbul et al. (2004) determinaron el efecto de romero a tilapias expuestas a *Streptococcus iniae*, utilizaron dos formas de agregar al alimento. En el primero se agregaron polvo de hojas de romero al alimento, y en un segundo grupo se añadió un extracto de la materia seca obtenida de este vegetal mediante extracción con acetato de etilo, agregando agua destilada, mezclado con el alimento, pasado por un procesador de carne molida, y finalmente cortar y dejar secar el producto.

Baños e inmersión

Este tipo de tratamiento posiblemente tenga su aplicación en especies de alto valor económico (reproductores) que puedan manejarse de manera individual (baños de inmersión) o bien en sistemas intensivos colocando los organismos en canaletas, tanques o estanques pequeños para reducir gastos. Los resultados de algunos estudios han demostrado la eficacia de este método para el tratamiento de parásitos externos. Por ejemplo, Lu et al. (2012) utilizaron el método de inmersión con extractos de *D. crassirhizoma*, *K. scoparia*, y de *P. tenuifolia* contra el monogeneo *Dactylogirus intermedius* en *Carassius auratus*. En este estudio *D. crassirhizoma* causó una mortalidad del 100% contra dicho monogeneo después de 48 horas de exposición a una dosis de 22.97 mg/L. Asimismo, Ji et al. (2012) probaron el efecto en baños de 42 extractos de plantas contra el mismo parásito en dicha especie de pez, mientras que Huang et al. (2013) lo hicieron con 26 especies. Asimismo, Fridman et al. (2014) emplearon tratamientos de inmersión de extractos de ajo acuoso a secciones de aletas de gupies *Poecilia reticulata* parasitadas con el monogeneo *G. turnbulli*, observando el desprendimiento de los parásitos.

Inyecciones intraperitoneales

De acuerdo con Reverter et al. (2017), la administración intraperitoneal es el método más rápido y eficiente de todos los métodos de aplicación de medicamentos en peces; sin embargo, resulta caro, implica mucho trabajo y es estresante para los organismos. Por lo anterior, quizá en la mayoría de las granjas comerciales de peces no se emplean de manera individual tratamientos vía inyección en la cavidad abdominal. Sin embargo, estudios con extractos de las hojas de *Punica granatum*, inyectados intraperitonealmente en lenguado (*Paralichthys olivaceus*), demostraron que mejoró la tasa de supervivencia contra infecciones del virus de linfocistis (LDV) (Harikrishnan et al., 2010), mientras que los extractos metanólicos de la semilla de *Nyctanthes arboritis*, inyectados intraperitonealmente en tilapia (*O. mossambicus*) incrementaron la resistencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Kirubakaran et al., 2016).

Resultados y beneficios

Reducción de la necesidad de antibióticos

Históricamente, en la industria de la acuicultura se han utilizado distintos tipos de antibióticos en el cultivo de peces (Cabello, 2006), entre los que se encuentran las tetraciclinas, sulfonamidas y quinolones (Thiang et al., 2021). De hecho, en las décadas de los años de 1970 y 1980 los antibióticos más comúnmente utilizados en el cultivo de peces fueron el ácido oxolínico, oxitetraciclina, furazolidona, sulfonamidas potenciales (sulfadiazina y trimetoprima) y amoxicilina (Ringø et al., 2014). Sin embargo, hoy en día existe preocupación por el uso excesivo de antibióticos en la producción animal, incluyendo la piscicultura, debido a que pueden generar patógenos resistentes a los antibióticos, así como contaminación ambiental o acumulación de residuos químicos en los tejidos de los peces (Bulfon et al., 2015), implicando riesgos a la salud pública.

La resistencia a los antibióticos puede transferirse a otros patógenos, incluyendo a los que afectan al hombre, representando una amenaza ambiental y para la salud humana (Harikrishnan et al., 2011a). Debido a lo anterior, durante los últimos años se ha incrementado el estudio de distintos productos obtenidos de las plantas, que contienen compuestos fenólicos, polifenólicos, alcaloides, quinonas, terpenoides, lectinas y polipéptidos muchos de los cuales han mostrado ser alternativas efectivas al uso de los antibióticos (Harikrishnan et al., 2011a).

Mejora de la salud y resistencia de los peces

Algunas plantas usadas en la medicina naturista podrían ser una alternativa viable para el control de enfermedades en acuicultura, debido a que contienen compuestos activos con ciertas propiedades profilácticas y terapéuticas. Dichos compuestos activos poseen propiedades antiparasitarias en los peces, además de prevenir enfermedades causadas por bacterias, hongos o virus (Hodar et al., 2021).

Por otro lado, se ha documentado que los compuestos bioactivos contenidos en las plantas medicinales favorecen a su vez la respuesta inmune específica y no específica en los peces (Harikrishnan et al., 2012). Los efectos inmunoestimulantes de los extractos de plantas medicinales se han documentado en varias especies de peces como la tilapia (*Oreochromis mossambicus*) (Logambal et al., 2000), la carpa de la India *Catla catla* (Rao & Chakrabarti, 2005) o la corvina amarilla de China (*Pseudosciaena crocea*) (Jian & Wu, 2003), entre otras.

En todos los casos anteriores, los peces mejoraron su respuesta inmune, elevando la producción de anticuerpos, neutrófilos activados, niveles de inmunoglobulina o la actividad de la lisozima. Por lo tanto, el uso de estos inmunoestimulantes se considera como una alternativa promisoriosa en el cultivo de peces por mejorar la resistencia a las enfermedades (Sahoo, 2007).

Menor riesgo de contaminación ambiental

El uso de antibióticos en la piscicultura, además de representar un costo adicional para el productor, también puede generar situaciones no deseadas como efectos de bioacumulación en los peces o contaminación ambiental (Harikrishnan et al., 2011a).

Los compuestos activos de las plantas medicinales han mostrado ser efectivos para tratar enfermedades en los peces, representando una alternativa viable y menos costosa que los antibióticos utilizados en la acuicultura (Nik Mohamad Nek Rahimi et al., 2022). Por lo tanto, al utilizar productos obtenidos de las plantas en sustitución de los antibióticos, se reduciría el riesgo de contaminación ambiental y de sus impactos adversos a los ecosistemas y salud pública. Entre los potenciales efectos adversos se encuentran la resistencia microbiana a los antibióticos, alteración de la vida acuática, disrupción del proceso de la fotosíntesis y afectaciones a la salud humana por alteraciones a la microbiota, además de que pueden producir asma o malformaciones fetales (Sosa-Hernández et al., 2021).

A nivel mundial, la industria de la acuicultura presenta pérdidas económicas, hasta por 6 billones de dólares, a causa de las enfermedades en los organismos acuáticos (Stentiford et al., 2017), razón por la cual se aplica una gran cantidad de antibióticos para enfrentar dicha problemática. Sin embargo, el utilizar plantas medicinales como agentes terapéuticos o profilácticos en las enfermedades de los organismos acuáticos cultivados, reduciría de manera importante el uso de los fármacos sintéticos, y por consiguiente el riesgo de contaminación ambiental por su utilización excesiva en la acuicultura.

CONCLUSIÓN

La acuicultura ha emergido como una actividad económica esencial a nivel mundial, brindando seguridad alimentaria y generando empleo, a la vez que contribuye al progreso económico y social de las comunidades. Sin embargo, este crecimiento ha traído consigo desafíos significativos, especialmente en el manejo de enfermedades que afectan a los peces. La dependencia en el uso de compuestos químicos para controlar estas enfermedades ha generado preocupaciones ambientales y de salud pública, dado el riesgo de resistencia a los antibióticos y la contaminación ambiental.

En este contexto, la aplicación de extractos de plantas medicinales se presenta como una alternativa prometedora y sostenible. Estos extractos no solo han demostrado tener propiedades antibacterianas y antivirales, sino que también potencian el sistema inmunológico de los peces y reducen el estrés, mejorando su resistencia a enfermedades. Además, métodos innovadores de extracción y administración de estos compuestos permiten su incorporación eficiente en los sistemas de producción acuícola, reduciendo costos y minimizando el estrés en los organismos.

El uso de plantas medicinales puede disminuir significativamente la necesidad de antibióticos, reduciendo así el riesgo de generar patógenos resistentes y evitando la acumulación de residuos químicos en los peces. Esto contribuye a una acuicultura más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente. En resumen, la integración de plantas medicinales en la acuicultura no solo mejora la salud y resistencia de los peces, sino que también ofrece una solución viable para los problemas ambientales y de salud pública asociados con el uso excesivo de antibióticos.

REFERENCIAS

- Abdel Rahman, A. N., ElHady, M., Hassanin, M. E., & Mohamed, A. A.-R. (2019). Alleviative effects of dietary Indian lotus leaves on heavy metals-induced hepato-renal toxicity, oxidative stress, and histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 509, 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.030>
- Abutbul, S., Golan-Goldhirsh, A., Barazani, O., & Zilberg, D. (2004). Use of *Rosmarinus officinalis* as a treatment against *Streptococcus iniae* in tilapia (*Oreochromis* sp.). *Aquaculture*, 238(1-4), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.016>
- Ahilan, B., & Ravaneshwaran, K. (2010). Influence of certain Herbal Additives on the growth, survival and disease resistance of goldfish, *Carassius auratus* (Linnaeus). *Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 6, 5-11.
- Alexander, C. P., John Wesley Kirubakaran, C., & Michael, R. D. (2010). Water soluble fraction of *Tinospora cordifolia* leaves enhanced the non-specific immune mechanisms and disease resistance in *Oreochromis mossambicus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 29(5), 765-772. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.07.003>
- Ardó, L., Yin, G., Xu, P., Váradi, L., Szigeti, G., Jeney, Z., & Jeney, G. (2008). Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the non-specific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, 275(1-4), 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.022>
- Baba, E., Uluköy, G., & Mammadov, R. (2014). Effects of *Muscari comosum* Extract on Nonspecific Immune Parameters in Gilthead Seabream, *Sparus aurata* (L. 1758). *Journal of the World*

- Aquaculture Society*, 45(2), 173-182. <https://doi.org/10.1111/jwas.12100>
- Bilen, S., Mohamed Ali, G. A., Amhamed, I. D., & Almabrok, A. A. (2021). Modulatory effects of laurel-leaf cistus (*Cistus laurifolius*) ethanolic extract on innate immune responses and disease resistance in common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 116, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.07.001>
- Bilen, S., Ünal, S., & Güvensoy, H. (2016). Effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and nettle (*Urtica dioica*) methanolic extracts on immune responses and resistance to *Aeromonas hydrophila* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 454, 90-94. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.010>
- Brahmi, F., Flamini, G., Issaoui, M., Dhibi, M., Dabbou, S., Mastouri, M., & Hammami, M. (2012). Chemical composition and biological activities of volatile fractions from three Tunisian cultivars of olive leaves. *Medicinal Chemistry Research*, 21(10), 2863-2872. <https://doi.org/10.1007/s00044-011-9817-8>
- Bulfon, C., Volpatti, D., & Galeotti, M. (2015). Current research on the use of plant-derived products in farmed fish. *Aquaculture Research*, 46(3), 513-551. <https://doi.org/10.1111/are.12238>
- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137-1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
- Citarasu, T. (2010). Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*, 18(3), 403-414. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9253-7>
- Das, R., Raman, R. P., Saha, H., & Singh, R. (2015). Effect of *Ocimum sanctum* Linn. (Tulsi) extract on the immunity and survival of *Labeo rohita* (Hamilton) infected with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 46(5), 1111-1121. <https://doi.org/10.1111/are.12264>
- de la Cruz-Cervantes, J. A., Benavides-González, F., Sánchez-Martínez, J. G., Vázquez-Sauceda, M. de la L., & Ruiz-Urbe, A. J. (2018). Propolis in Aquaculture: A Review of Its Potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 337-349. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1424798>
- Docan, A., Dediú, L., & Grecu, I. (2020). The physiological status of sturgeon hybrids fed with herbal supplements in recirculating aquaculture system. *Scientific Journal of Animal Science*, 63(1), 547-552.
- El, S. N., & Karakaya, S. (2009). Olive tree (*Olea europaea*) leaves: potential beneficial effects on human health. *Nutrition Reviews*, 67(11), 632-638. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00248.x>
- Ferreira, P. de M. F., Rocha, J. S., Gomes, J. R., Caldas, D. W., Martins, M. T. S., de Oliveira, J. M., Salaro, A. L., & Zuanon, J. A. S. (2017). *Curcuma longa* supplementation in the diet of *Astyanax aff. bimaculatus* in preparation for transport. *Aquaculture Research*, 48(8), 4524-4532. <https://doi.org/10.1111/are.13277>
- Fridman, S., Sinai, T., & Zilberg, D. (2014). Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (*Poecilia reticulata* (Peters)). *Veterinary Parasitology*, 203(1-2), 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.02.002>
- Haetrakul, T., Dunbar, S. G., & Chansue, N. (2018). Antiviral activities of *Clinacanthus nutans* (Burm.f.) Lindau extract against Cyprinid herpesvirus 3 in koi (*Cyprinus carpio koi*). *Journal of Fish Diseases*, 41(4), 581-587. <https://doi.org/10.1111/jfd.12757>
- Harikrishnan, R., Heo, J., Balasundaram, C., Kim, M.-C., Kim, J.-S., Han, Y.-J., & Heo, M.-S. (2010). Effect of *Punica granatum* solvent extracts on immune system and disease resistance in *Paralichthys olivaceus* against lymphocystis disease virus (LDV). *Fish & Shellfish Immunology*, 29(4), 668-673. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.07.006>

- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2011a). Impact of plant products on innate and adaptive immune system of cultured finfish and shellfish. *Aquaculture*, 317(1-4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.039>
- Harikrishnan, R., Kim, J.-S., Kim, M.-C., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2011b). *Lactuca indica* extract as feed additive enhances immunological parameters and disease resistance in *Epinephelus bruneus* to *Streptococcus iniae*. *Aquaculture*, 318(1-2), 43-47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.04.049>
- Harikrishnan, R., Kim, D.-H., Hong, S.-H., Mariappan, P., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2012). Non-specific immune response and disease resistance induced by *Siegesbeckia glabrescens* against *Vibrio parahaemolyticus* in *Epinephelus bruneus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 33(2), 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.05.018>
- Hodar, A. R., Vasava, R., Mahavadiya, D., Joshi, N., Nandaniya, V., & Solanki, H. (2021). Herbs and Herbal Medicines: A Prominent Source for Sustainable Aquaculture. *Journal of Experimental Zoology India*, 24(1), 719-732.
- Huang, A.-G., Yi, Y.-L., Ling, F., Lu, L., Zhang, Q.-Z., & Wang, G.-X. (2013). Screening of plant extracts for anthelmintic activity against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 112(12), 4065-4072. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3597-7>
- Huang, J. L., Li, A. H., Qian, X. Q., Tan, X. C., & Wang, Z. K. (2017). Immune Enhancement for Grass Carp *Ctenopharyngodon idellus* with Herbal Enriched Feed. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 48(3), 576-582. <https://doi.org/10.11693/hyh20161200273>
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Jana, P., Karmakar, S., Roy, U., Paul, M., Singh, A. K., & Bera, K. K. (2018). Phytobiotics in aquaculture health management: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(4), 1422-1429.
- Ji, J., Lu, C., Kang, Y., Wang, G.-X., & Chen, P. (2012). Screening of 42 medicinal plants for in vivo anthelmintic activity against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 111(1), 97-104. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2805-6>
- Jian, J., & Wu, Z. (2003). Effects of traditional Chinese medicine on nonspecific immunity and disease resistance of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson). *Aquaculture*, 218(1-4), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00192-8)
- Jian, J., & Wu, Z. (2004). Influences of traditional Chinese medicine on non-specific immunity of Jian Carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Fish & Shellfish Immunology*, 16(2), 185-191. [https://doi.org/10.1016/S1050-4648\(03\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S1050-4648(03)00062-7)
- Kaleeswaran, B., Ilavenil, S., & Ravikumar, S. (2011). Dietary supplementation with *Cynodon dactylon* (L.) enhances innate immunity and disease resistance of Indian major carp, *Catla catla* (Ham.). *Fish & Shellfish Immunology*, 31(6), 953-962. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2011.08.013>
- Kate, G. U., Krishnani, K. K., Kumar, N., Sukhdhane, K., Verma, A. K., Brahmane, M. P., Chadha, N. K., & Kumar, J. (2023). Abiotic and biotic stress alleviating effects of the medicinal and aromatic plant-derived product on striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 135, 108625. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108625>
- Kirubakaran, C. J. W., Subramani, P. A., & Michael, R. D. (2016). Methanol extract of *Nyctanthes arbortristis* seeds enhances non-specific immune responses and protects *Oreochromis mossambicus* (Peters) against *Aeromonas hydrophila* infection. *Research in Veterinary Science*, 105, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.02.013>
- Lieke, T., Meinelt, T., Hoseinifar, S. H., Pan, B., Straus, D. L., & Steinberg, C. E. W. (2020). Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. *Reviews*

- in Aquaculture*, 12(2), 943-965. <https://doi.org/10.1111/raq.12365>
- Limbago, J. S., Sosas, J., Gente, A. A., Maderse, P., Rocamora, M. N., & Gomez, D. K. (2021). Antibacterial effects of mangrove ethanolic leaf extract against zoonotic fish pathogen *Salmonella arizonae*. *Journal of Fisheries*, 9(2), 92205. <http://doi.org/10.17017/j.fish.260>
- Logambal, S. M., Venkatalakshmi, S., & Dinakaran Michael, R. (2000). Immunostimulatory effect of leaf extract of *Ocimum sanctum* Linn. in *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Hydrobiologia*, 430(1-3), 113-120. <https://doi.org/10.1023/A:1004029332114>
- Lu, C., Zhang, H.-Y., Ji, J., & Wang, G.-X. (2012). In vivo anthelmintic activity of *Dryopteris crassirhizoma*, *Kochia scoparia*, and *Polygala tenuifolia* against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 110(3), 1085-1090. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2592-0>
- Magara, G., Prearo, M., Vercelli, C., Barbero, R., Micera, M., Botto, A., Caimi, C., Caldaroni, B., Berteza, C. M., Mannino, G., Barceló, D., Renzi, M., Gasco, L., Re, G., Dondo, A., Elia, A. C., & Pastorino, P. (2022). Modulation of Antioxidant Defense in Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed with a Diet Supplemented by the Waste Derived from the Supercritical Fluid Extraction of Basil (*Ocimum basilicum*). *Antioxidants*, 11(2), 415. <https://doi.org/10.3390/antiox11020415>
- Martínez, G. J., & Luján, M. C. (2011). Medicinal plants used for traditional veterinary in the Sierras de Córdoba (Argentina): An ethnobotanical comparison with human medicinal uses. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(23), 1-18. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-23>
- Martins, K. V. B., Silva, S. B., da Silva Cardoso, A. J., Salaro, A. L., de Moraes França Ferreira, P., Freitas, M. B., & Zuanon, J. A. S. (2024). Effectiveness and safety of clove oil and common salt in the long-term transport of *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 583, 740532. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740532>
- Mawdsley, J. L., Bardgett, R. D., Merry, R. J., Pain, B. F., & Theodorou, M. K. (1995). Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*, 2(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(94\)00039-A](https://doi.org/10.1016/0929-1393(94)00039-A)
- Miara, M. D., Bendif, H., Ouabed, A., Rebbas, K., Ait Hammou, M., Amirat, M., Greene, A., & Teixidor-Toneu, I. (2019). Ethnoveterinary remedies used in the Algerian steppe: Exploring the relationship with traditional human herbal medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 244, 112164. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112164>
- Modak, B., Sandino, A. M., Arata, L., Cárdenas-Jirón, G., & Torres, R. (2010). Inhibitory effect of aromatic geranyl derivatives isolated from *Heliotropium filifolium* on infectious pancreatic necrosis virus replication. *Veterinary Microbiology*, 141(1-2), 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.09.005>
- Monteiro, M., Sousa, C., Coutinho, F., Castro, C., Fontinha, F., Guerreiro, I., Pousão, P., Matos, E., Díaz-Rosales, P., Oliva-Teles, A., Enes, P., & Couto, A. (2021). Functional Feeds to Tackle Meagre (*Argyrosomus regius*) Stress: Physiological Responses under Acute Stressful Handling Conditions. *Marine Drugs*, 19(11), 598. <https://doi.org/10.3390/md19110598>
- Moura-Nascimento, G., de Freitas-Maia, C., Silva-Milagres, B., & de Cruz-Junior, C. (2021). Estudo do uso de plantas medicinais na medicina veterinária em plataformas virtuais. *Pubvet*, 15(04), 1-13. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n04a789.1-13>
- Mullally, M., Mimeault, C., Otárola Rojas, M., Sanchez Vindas, P., Garcia, M., Poveda Alvarez, L., Moon, T. W., Gilmour, K. M., Trudeau, V. L., & Arnason, J. T. (2017). A botanical extract of *Souroubea sympetala* and its active principle, *betulinic acid*, attenuate the cortisol response to a stressor in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 468, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.040>

- Narayan, L. S., Labh, K. B., Sahu, P., Sahoo, S., Ratna, S. S., & Kumar, S. (2017). Growth performance and immune response of silver striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) fed with Lapsi *Choerospondias axillaris*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(3), 188-202.
- Nik Mohamad Nek Rahimi, N., Natrah, I., Loh, J.-Y., Ervin Ranzil, F. K., Gina, M., Lim, S.-H. E., Lai, K.-S., & Chong, C.-M. (2022). Phytocompounds as an Alternative Antimicrobial Approach in Aquaculture. *Antibiotics*, 11(4), 469. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040469>
- Norman, R. A., Crumlish, M., & Stetkiewicz, S. (2019). The importance of fisheries and aquaculture production for nutrition and food security. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 38(2), 395-407. <https://doi.org/10.20506/rst.38.2.2994>
- Pannu, R., Dahiya, S., Sabhlok, V., Kumar, D., Sarsar, V., & Gahlawat, S. (2024). Effect of probiotics, antibiotics and herbal extracts against fish bacterial pathogens. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 9(1), 13-20. <https://doi.org/10.5132/eec.2014.01.002>
- Pathak, D., Mathur, V. C., Latha, B. R., & John, L. (2004). In vitro effect of indigenous plant extracts on ixodid ticks of small ruminants. *Indian Journal of Animal Sciences*, 74(6), 616-617. https://www.researchgate.net/publication/287897057_In_vitro_effect_of_indigenous_plant_extracts_on_ixodid_ticks_of_small_ruminants
- Payung, C. N., Tumbol, R. A., & Manoppo, H. (2017). Dietary ginger (*Zingiber officinale*) enhance resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Aeromonas hydrophila*. *AAFL Bioflux*, 10(4), 962-968.
- Pérez, R., Romeu, B., Lastre, M., Morales, Y., Cabrera, O., Reyes, L., González, E., Sifontes, S., & Pérez, O. (2014). Immune-Potentiators for the aquaculture. *VacciMonitor*, 23(1), 24-31. https://www.researchgate.net/publication/286233683_Immune-Potentiators_for_the_aquaculture
- Pratheepa, V., & Sukumaran, N. (2011). Specific and nonspecific immunostimulation study of *Euphorbia hirta* on *Pseudomonas fluorescens*-infected *Cyprinus carpio*. *Pharmaceutical Biology*, 49(5), 484-491. <https://doi.org/10.3109/13880209.2010.526615>
- Rahmanian, N., Jafari, S. M., & Wani, T. A. (2015). Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. *Trends in Food Science & Technology*, 42(2), 150-172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.009>
- Rao Y. V., & Chakrabarti, R. (2005). Stimulation of immunity in Indian major carp *Catla catla* with herbal feed ingredients. *Fish & Shellfish Immunology*, 18(4), 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.08.005>
- Rattanachaikunsopon, P., & Phumkhachorn, P. (2009). Prophylactic effect of *Andrographis paniculata* extracts against *Streptococcus agalactiae* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 107(5), 579-582. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.01.024>
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sasal, P., & Saulnier, D. (2017). Use of Medicinal Plants in Aquaculture. In *Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish* (pp. 223-261). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119152125.ch9>
- Ribeiro, V. L. S., Toigo, E., Bordignon, S. A. L., Gonçalves, K., & von Poser, G. (2007). Acaricidal properties of extracts from the aerial parts of *Hypericum polyanthemum* on the cattle tick *Boophilus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 147(1-2), 199-203. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.027>
- Ringø, E., Olsen, R. E., Jensen, I., Romero, J., & Lauzon, H. L. (2014). Application of vaccines and dietary supplements in aquaculture: possibilities and challenges. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 1005-1032. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9361-y>
- Sahoo, P. K. (2007). Role of immunostimulants in disease resistance of fish. *CABI Reviews*, 2. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20072045>

- Soares, M. P., Cardoso, I. L., Ishikawa, M. M., de Oliveira, A. da S. S., Sartoratto, A., Jonsson, C. M., de Queiroz, S. C. do N., Duarte, M. C. T., Rantin, F. T., & Sampaio, F. G. (2020). Effects of *Artemisia annua* alcohol extract on physiological and innate immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to improve health status. *Fish & Shellfish Immunology*, *105*, 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.035>
- Sosa-Hernández, J. E., Rodas-Zuluaga, L. I., López-Pacheco, I. Y., Melchor-Martínez, E. M., Aghalari, Z., Limón, D. S., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2021). Sources of antibiotics pollutants in the aquatic environment under SARS-CoV-2 pandemic situation. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *4*, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100127>
- Stentiford, G. D., Sritunyalucksana, K., Flegel, T. W., Williams, B. A. P., Withyachumnarnkul, B., Itsathitphaisarn, O., & Bass, D. (2017). New Paradigms to Help Solve the Global Aquaculture Disease Crisis. *Plos Pathogens*, *13*(2), e1006160. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006160>
- Thiang, E. L., Lee, C. W., Takada, H., Seki, K., Takei, A., Suzuki, S., Wang, A., & Bong, C. W. (2021). Antibiotic residues from aquaculture farms and their ecological risks in Southeast Asia: a case study from Malaysia. *Ecosystem Health and Sustainability*, *7*(1), 1926337. <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1926337>
- Uthayakumar, Ramasubramanian, V., D. Senthilkumar, Sreedevi, P. R., & Munirasu, S. (2012). Specific and Non-Specific Immune Response and Disease Resistance of *Solanum torvum* Leaf Soluble Fractions in Freshwater Carp *Cyprinus Carpio*. *International Research Journal of Pharmacy*, *3*(6), 164-170.
- Yılmaz, S., Ergün, S., Yiğit, M., & Yılmaz, E. (2022). An Extensive Review on the Use of Feed Additives Against Fish Diseases and Improvement of Health Status of Fish in Turkish Aquaculture Sector. *Aquaculture Studies*, *22*(3), 710. <https://doi.org/10.4194/AQUAST710>
- Zare, M., Esmacili, N., Paolacci, S., & Stejskal, V. (2023). Nettle (*Urtica dioica*) Additive as a Growth Promoter and Immune Stimulator in Fish. *Aquaculture Nutrition*, *2023*, 1-21. <https://doi.org/10.1155/2023/8261473>