

26

Fecha de presentación: julio, 2021
Fecha de aceptación: septiembre, 2021
Fecha de publicación: octubre, 2021

USO INTENSIVO

DE ANTIBIÓTICOS PROFILÁCTICOS EN LA ACUICULTURA: UN PROBLEMA CRECIENTE PARA LA SALUD HUMANA Y ANIMAL

INTENSIVE USE OF PROPHYLACTIC ANTIBIOTICS IN AQUACULTURE: A GROWING PROBLEM FOR HUMAN AND ANIMAL HEALTH

Raúl González Salas¹

E-mail: ua.raulgonzalez@uniandes.edu.ec

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1623-3709>

Mildre Mercedes Vidal del Río¹

E-mail: ua.mildrevidal@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3496-5057>

Iván Pimienta Concepción¹

E-mail: ua.ivanpimienta@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7623-7499>

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

González Salas, R., Vidal del Río, M., & Pimienta Concepción, I. (2021). Uso intensivo de antibióticos profilácticos en la acuicultura: un problema creciente para la salud humana y animal. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S2), 204-210.

RESUMEN

La utilización frecuente de antibióticos en la acuicultura otorga una presión selectiva que crea reservorios de bacterias resistentes a los medicamentos y genes de resistencia transferibles en patógenos de peces y otros microorganismos en el medio acuático. El propósito de esta investigación es reflexionar sobre el uso intensivo de antibióticos profilácticos en la acuicultura, como problema creciente para la salud humana y animal. Se realizó una revisión sistemática cualitativa, documental y no experimental, mediante una búsqueda de artículos en bases de datos como: Pubmed, Scielo, Imbiomed, ClinicalKey y Science Direct. Los resultados muestran que el uso indebido de antibióticos como agentes profilácticos en la prevención de enfermedades es común y contribuye al desarrollo de resistencia a los antibióticos.

Palabras clave: Antibióticos, acuicultura, salud humana.

ABSTRACT

The frequent use of antibiotics in aquaculture provides a selective pressure that creates reservoirs of drug-resistant bacteria and transferable resistance genes in fish pathogens and other microorganisms in the aquatic environment. The purpose of this research is to reflect on the intensive use of prophylactic antibiotics in aquaculture, as a growing problem for human and animal health. A qualitative, documentary and non-experimental systematic review was carried out by searching for articles in databases such as: Pubmed, Scielo, Imbiomed, ClinicalKey and Science Direct. The results show that the misuse of antibiotics as prophylactic agents in disease prevention is common and contributes to the development of antibiotic resistance.

Keywords: Antibiotics, aquaculture, human health.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2001 la acuicultura mundial ha crecido un 5,8% anual, impulsada principalmente por una mayor demanda de proteína animal en las economías de rápido crecimiento, aportando casi la mitad del suministro mundial de productos pesqueros para consumo humano. Asia aporta casi el 90% de la producción acuícola mundial, destacándose China, cuya producción representó en el 2016 el 61% de la producción mundial, lo que constituye aproximadamente un tercio del consumo humano de todos los productos pesqueros de captura y acuicultura en todo el mundo (FAO, 2020).

La acuicultura es una de las industrias de más rápido crecimiento en todo el mundo, con un aumento progresivo de la industrialización hacia un modelo intensivo, lo que aumenta la susceptibilidad a nuevos brotes de enfermedades y el uso de terapias, especialmente con antibióticos, los cuales se utilizan comúnmente como aditivos alimentarios y promotores del crecimiento. A partir de entonces se han usado diversos antibióticos en función del crecimiento en las piscifactorías, a su vez los propietarios de las granjas acuícolas emplean diversas medidas preventivas para promover la producción, mezclando los antibióticos con el alimento balanceado en dosis sub-terapéutica para conservar la calidad del agua y un funcionamiento dietético apropiado (Mog et al, 2020).

Los medicamentos veterinarios están aprobados principalmente para animales o aves de corral en Bangladesh y teniendo en cuenta a los peces como un animal acuático también se destinan a su cultivo varios fármacos. Estos medicamentos se administran a través de piensos y algunos mediante inmersión. Sin embargo, los peces no metabolizan los antibióticos de forma eficaz y la mayor parte de la dosis administrada se excreta (Love et al. 2020).

Según Chuah et al. (2016), el bagre es una de las especies más cultivadas en todo el mundo, constituyendo los antibióticos un elemento fundamental en la cría de bagres como agentes terapéuticos y profilácticos. En los EE. UU., la Administración de Alimentos y Medicamentos (Food Drug Administration) solo aprueba la oxitetraciclina, una combinación de sulfadimetoxina y ormetoprim y florfenicol para especies de peces específicas (p. ej., Bagre y salmónidos) y sus enfermedades específicas.

Sin embargo, el uso indebido de antibióticos como agentes profilácticos en la prevención de enfermedades es común y contribuye al desarrollo de resistencia a los antibióticos. Varios estudios habían informado sobre residuos de antibióticos y / o resistencias en especies de cultivo, peces asilvestrados, columna de agua, sedimentos y, en menor contenido, entre los trabajadores agrícolas. El

noventa por ciento de la producción acuícola mundial se lleva a cabo en países en desarrollo, que carecen de regulaciones y aplicación sobre el uso de antibióticos (FAO, 2020).

Según Serweci ska (2020) las dietas acuícolas con antibióticos añadidos propician el depósito de estas sustancias en los tejidos comestibles de los peces y son potencialmente perjudiciales para las personas que consumen este alimento con efectos nocivos con respecto a la ecología intestinal, con incidencia directa en la aparición de la microflora resistente. Los residuos de antibióticos también reducen el valor de comercialización y exportación de los productos de la acuicultura. Varias clases de antibióticos se utilizan comúnmente en grandes cantidades en la industria pesquera, especialmente en los países en desarrollo donde sus usos no están regulados. Algunos de estos antibióticos a menudo no son biodegradables y persisten en el medio acuático como residuos. El propósito de esta investigación es reflexionar sobre el uso intensivo de antibióticos profilácticos en la acuicultura, como problema creciente para la salud humana y animal.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática cualitativa, documental y no experimental, mediante una búsqueda de artículos en bases de datos como: Pubmed, Scielo, Imbiomed, ClinicalKey y Science Direct. Para complementar esta estrategia se utilizaron los siguientes descriptores: "Aquaculture", "drug-resistant bacteria" "prophylactic antibiotics", "human and animal health", considerándose las investigaciones comprendidas desde enero del año 2016 a febrero del 2021. Los datos estadísticos actualizados fueron obtenidos de las páginas web de la OMS, FAO y Centre for Evidence-Based Medicine. Se excluyó de la búsqueda toda la literatura gris, es decir sin basamento científico y que no estuviera dentro del periodo de tiempo establecido. Se localizaron 72 artículos, de los cuales solo fueron utilizados 20 de ellos, ya que contribuyeron a cumplir con el objetivo de esta investigación.

RESULTADOS

Tendencias mundiales en el uso de antimicrobianos en la acuicultura.

La última década ha sido testigo de un creciente interés en la propagación de la resistencia bacteriana en el entorno natural, derivado de la creciente preocupación entre la comunidad médica y científica relacionada con la rápida escalada de bacterias resistentes a los antibióticos (BRA), incluida la resistencia a una nueva generación de antibióticos y fármacos de última instancia. Las

bacterias resistentes son responsables de infecciones que son más difíciles de tratar y requieren el uso de medicamentos más tóxicos y costosos. En algunos casos, las bacterias se han vuelto resistentes a todos los antibióticos conocidos, circunstancia que conduce a la presentación del fenómeno de la farmacorresistencia, agravado por el hecho de que una amplia variedad de antibióticos no solo se utiliza con fines médicos y veterinarios, sino también para promover el crecimiento del ganado (Schar et al., 2020).

La acuicultura aporta a nivel mundial el 8% de la ingesta de proteína animal a la dieta humana, consumo per cápita que se incrementa mucho más rápido que el consumo de carne y lácteos. El uso de antimicrobianos en la industria acuícola es un procedimiento que se va extendiendo aceleradamente, lo que puede influir en el aumento de la resistencia ante su uso regularizado, con posibles consecuencias para la salud animal, humana y de los ecosistemas. Estos aspectos son objeto de múltiples investigaciones enfocadas a evidenciar desde el punto de vista cuantitativo los posibles efectos de estos fármacos en la industria acuícola diversificada (Schar et al., 2020).

Dentro de las tendencias a nivel mundial deben considerarse también las que se clasifican como una infección emergente ocasionadas por organismos resistentes a los antibióticos (ORAs) las cuales afectan potencialmente a casi la totalidad de la población mundial debido a las limitaciones del tratamiento tanto en países en vías de desarrollo como en aquellos con más recursos económicos. Las estadísticas emitidas por el Centro de Control de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) refieren que los ORAs provocan 23 000 muertes cada año en Estados Unidos y 2 millones de infecciones, las pérdidas económicas son de \$35 millones adicionales en gastos en salud. Estos datos estadísticos pudieran representar cifras iguales o superiores en otras regiones a nivel internacional, con mayor incidencia en países de América Latina (FAO, 2020).

Agentes patógenos resistentes a los antibióticos en humanos y animales

Entre los patógenos más importantes están las bacterias gramnegativas, los géneros *Pseudomonas* y *Acinetobacter* y los de la familia Enterobacteriaceae han sido priorizados por la Organización Mundial de la Salud como taxones para los que existe una necesidad urgente de desarrollar fármacos nuevos y eficaces. Estos grupos de bacterias gramnegativas son especialmente preocupantes como agentes de resistencia a los antimicrobianos por cuatro razones principales. En primer lugar, producen un espectro extendido de β -lactamasas (BLEE) que

confieren resistencia a antimicrobianos como cefalosporinas, penicilinas y monobactamas, e incluyen un número creciente de cepas resistentes a carbapenémicos; todos estos son antibióticos de nueva generación que se emplean como “la última línea de defensa antibiótica” contra organismos resistentes. Es preocupante que en la última década se haya registrado en todo el mundo un aumento espectacular de las infecciones nosocomiales por CRB (bacterias resistentes a los carbapenémicos), y las infecciones por *Acinetobacter* y *Pseudomonas* han demostrado una mortalidad del 40% al 80% en las unidades de cuidados intensivos (Du et al., 2019).

En la actualidad se presta gran atención al mecanismo de acción de ciertos patógenos considerados intracelulares por el alto riesgo que representan a la salud humana desde el punto de vista clínico debido al contacto directo entre las células huésped, que permite que las bacterias intracelulares se propaguen dentro del cuerpo sin ser atacadas por el sistema inmunológico. Entre los patógenos intracelulares más conocidos se pueden mencionar a la *Salmonella entérica* y *Listeria monocytogenes*, otro microorganismo con similar magnitud de patogenicidad es el *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), perteneciente a los estafilococos patógenos adaptables, los cuales tienen la capacidad de infectar, invadir, persistir y replicarse en cualquier tejido humano, especialmente piel, huesos y órganos viscerales (Matter et al. 2021).

La intensificación y expansión de la producción de camarón a escala industrial fue posible en gran parte gracias a la adopción de nuevas tecnologías, formulaciones mejoradas de alimentos y la producción en criaderos de postlarvas libres de patógenos específicos (SPF) en criaderos. Sin embargo, la intensificación aumenta el estrés en los animales acuáticos, lo que resulta en la aparición de enfermedades con un impacto devastador en la industria. Los patógenos que afectan al camarón son virales, bacterianos, fúngicos y parasitarios. En particular, el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) ocupa el primer lugar en causar graves pérdidas económicas, seguido de las enfermedades bacterianas que se estima que causan una pérdida de más de USD 6 mil millones para la industria camaronera. Entre los patógenos bacterianos que afectan al camarón, las bacterias patógenas del género *Vibrio* siguen siendo el patógeno más importante que causa enormes pérdidas económicas a la industria de la acuicultura (Vaiyapuri et al., 2021).

El pescado se considera un alimento seguro en general, y los músculos de los peces sanos se consideran estériles, aunque el debate al respecto continúa. Sin embargo, el pescado y los productos pesqueros, especialmente los productos crudos o poco cocidos, han

estado involucrados en brotes asociados con patógenos bacterianos, biotoxinas, histamina, virus y / o parásitos. Los peces se han identificado como reservorios de patógenos bacterianos ligados a enfermedades humanas, incluyendo *Mycobacterium spp.*, *Streptococcus iniae*, *Photobacterium damsela*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae*, *Erysipelothrix rhusiopathiae*, patógenos de *Escherichia coli*, *Aeromonas spp.*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Campylobacter jejuni*, *Delftia acidovorans*, *Edwardsiella tarda*, *Legionella pneumophila* y *Plesiomonas shigelloides*. Además, la presencia de genes resistentes a los antibióticos (ARG) en estos microorganismos ha causado preocupaciones sobre la propagación de la resistencia a los antibióticos (RAM) en el medioambiente y en los seres humanos (Sheng & Wang, 2021).

Los estudios anteriores son indicativos de la propagación mundial de la resistencia a los antibióticos en la acuicultura, probablemente impulsada por el comercio internacional de productos pesqueros cultivados, semillas y transporte marítimo. De hecho, una de las investigaciones consultadas informó sobre la resistencia a los antimicrobianos en *Vibrio spp.* a la ampicilina, penicilina y tetraciclina en los EE. UU., Italia, Filipinas, Brasil, Malasia, Tailandia, China, India, Irán, Sudáfrica y Australia (Elmahdi et al., 2016).

Se ha comprobado que la penicilina G., la tetraciclina y las sulfonamidas tienen antigenicidad y pueden causar alergias a los consumidores; mientras que la bioacumulación de residuos en humanos conduce a la "toxicidad crónica", una forma de resistencia a los antibióticos, que causa lesiones en los órganos. Además, se han informado peligros para la salud ocupacional entre los trabajadores agrícolas, los trabajadores de las fábricas de piensos y las granjas de jaulas a través de aerosoles de polvo que contienen antibióticos en las instalaciones de acuicultura (Lulijwa et al., 2020).

Cambio climático y sus efectos en la fisiología bacteriana

Según Pepi y Focardi (2021) el cambio climático tiene un papel importante en este contexto, ya que el aumento de las temperaturas puede afectar la fisiología celular de las bacterias de la misma manera que los antibióticos, provocando al principio resistencia a los antibióticos. El mar Mediterráneo representa un 'punto caliente' en términos de cambio climático y los aspectos de la resistencia a los antibióticos en la acuicultura en esta área pueden amplificarse significativamente, aumentando así las amenazas para la salud humana. Deben adoptarse prácticas para

contrarrestar los impactos negativos en la salud humana, con una reducción en el uso de antibióticos como punto fundamental.

La industria de la acuicultura contribuye significativamente al sustento de muchos hogares, y se estima que más de 100 millones de personas dependen de la acuicultura para vivir, razón por la cual esta actividad productiva juega un papel importante en la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Sin embargo, la piscicultura depende en gran medida del uso de antibióticos para combatir las enfermedades infecciosas que amenazan la producción, y se prevé que las enfermedades infecciosas emergentes (EID) aumenten con las temperaturas más cálidas. Investigaciones recientes han demostrado que el uso arbitrario de antibióticos podría no ser el único factor detrás de la selección y aparición de la resistencia a estos fármacos y que las temperaturas más cálidas se han asociado con tasas más altas de resistencia en las bacterias terrestres, lo que establece una perspectiva sombría a la luz del calentamiento climático global. (Department of Health and Human Services., 2019).

Las predicciones actuales sugieren un aumento de los eventos epidemiológicos con el calentamiento global, que podría plantear nuevas amenazas a la seguridad alimentaria, ya que las enfermedades de los animales acuáticos son uno de los principales factores que limitan la expansión de la industria de la acuicultura. Existiendo una relación directamente proporcional entre las temperaturas más cálidas casi y una mayor mortalidad de los animales acuáticos infectados, independientemente del tipo de animal cultivado: mariscos, crustáceos o peces.

Antibióticos como promotores del crecimiento en la producción animal

La mayoría de los antibióticos son sustancias naturales desarrolladas inicialmente para tratar infecciones en humanos, pero el uso se extendió rápidamente al tratamiento y prevención de enfermedades en animales destinados al consumo. Además del uso terapéutico de antibióticos, la alimentación animal se ha complementado comúnmente con bajas concentraciones de antibióticos como promotores del crecimiento en muchos países para mejorar la eficiencia de la alimentación, el aumento de peso y la salud animal. Cuando se realiza una producción industrializada de carne, esto puede dar lugar a prácticas deficientes en la cría de animales, hacinamiento, y con frecuencia conducir al uso de grandes volúmenes de antibióticos, aspecto que ha devenido en una práctica ordinaria para promover el crecimiento, prevenir enfermedades y con fines terapéuticos en todo el mundo (Cuong et al., 2018).

Sin duda la alimentación animal es fundamental en la ganadería y por ello ha atraído varios estudios que buscan mejorar su potencia a través de aditivos alimentarios. Desde la prohibición de los antibióticos en los piensos por la legislación europea en 2006, la fuerte disminución resultante en el uso de antibióticos allanó el camino para reducciones significativas en la prevalencia de genes de resistencia entre la microflora intestinal de los cerdos de Europa. Ahora que el uso de antibióticos como potenciador del crecimiento en la dieta del ganado se enfrenta a prohibiciones generalizadas en muchos países, el desarrollo de diversos piensos para animales funcionales y saludables y productos alimenticios fermentados que utilizan probióticos como aditivos ha recibido una atención sin precedentes en los continentes (Alayande et al., 2020).

Los animales no pueden metabolizar eficazmente los antibióticos, ya que en dependencia del tipo de antibiótico podrán metabolizarse por completo o una parte puede excretarse a través de la orina o las heces en su estado original o como metabolitos activos / inactivos. La metabolización incompleta dará lugar a la presencia de una alta concentración de estos medicamentos en los desechos animales, se puede citar como ejemplo a la Tetraciclina, de la cual se excreta en las heces y la orina hasta un 72% de su principio activo, y sigue catalogada como uno de los antibióticos veterinarios más utilizados (Lulijwa et al., 2020).

DISCUSIÓN

En una revisión realizada por Lulijwa et al., (2020) se observó que se utilizaron 67 compuestos antibióticos en 11 de los 15 países principales productores acuícolas a nivel mundial, entre 2008 y 2018. El 73% aplicó oxitetraciclina, sulfadiazina y florfenicol, utilizando en promedio 15 antibióticos, estos países fueron: Vietnam, China y Bangladesh. También se tuvo en cuenta la valoración de los riesgos ambientales y para la salud, revelándose pruebas suficientes que vinculan directamente el uso de antibióticos con la seguridad alimentaria, los peligros para la salud ocupacional y la resistencia a los antimicrobianos. Los riesgos ambientales incluyeron la acumulación de residuos, la toxicidad de la biodiversidad acuática, selección de la comunidad microbiana para la resistencia a los antibióticos y la aparición de cepas resistentes a múltiples antibacterianos.

Una vez en el medio acuático, los antibióticos pueden ocasionar efectos tóxicos en especies silvestres y afectar la salud de los trabajadores agrícolas. También pueden afectar el fitoplancton, la diversidad y los procesos

de desarrollo temprano del zooplancton, a través de la intoxicación bacteriana. Estos cambios, a su vez, pueden resultar en afectaciones a la cadena alimentaria con consecuencias en todos los niveles dentro del ecosistema (Lulijwa et al., (2020).

En los países desarrollados, el uso de antibióticos en la acuicultura está muy controlado. Por ejemplo, la FDA, la Comisión del Codex Alimentarius de la FAO (Codex), la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) y la Unión Europea (UE) han tenido una gran influencia en el establecimiento de límites máximos de residuos (LMR) para antibióticos en los alimentos (Lulijwa et al. 2020).

En la zona euro, el uso de medicamentos veterinarios está regulado a través de los Reglamentos del Consejo de la UE, que describen los procedimientos para establecer límites máximos de residuos de medicamentos veterinarios en alimentos de origen animal. En Lituania, solo dos antibióticos de amplio espectro, florfenicol y oxitetraciclina, están autorizados para uso en acuicultura. El florfenicol es un análogo estructural del cloranfenicol similar al tiamfenicol, pero es más activo contra algunas bacterias que el cloranfenicol. La oxitetraciclina es un antibiótico tetraciclina de amplio espectro con acción bacteriostática, que se usa para tratar infecciones bacterianas sistémicas de los peces. Entre los 11 principales países productores de acuicultura, alrededor del 73% aplicaron oxitetraciclina y florfenicol (Lulijwa et al, 2020).

Existen regulaciones para la aplicación de antibióticos en la cría de bagres de acuerdo con la hoja de datos de Panorama de la Legislación Acuícola Nacional (NALO), los principales países productores de acuicultura como China, Vietnam, Indonesia y Myanmar tienen las directrices o legislaciones necesarias sobre su uso, aunque este aspecto legislativo no garantiza la utilización correcta de los antibióticos FAO. Un ejemplo de las prescripciones en el uso de antibióticos lo constituye la Oxitetraciclina que, en el caso del bagre, se recomiendan de 2,5 a 3,75 g de oxitetraciclina por cada 100 libras de pescado al día al pienso para controlar la septicemia hemorrágica bacteriana causada por la enfermedad de *Aeromonas liquefaciens* y *Pseudomonas* (FAO, 2020).

La resistencia a los antibióticos se puede propagar a través de la transferencia de genes tanto vertical como horizontal. Esta resistencia depende de la absorción del fármaco, la modificación del fármaco diana, la inactivación del fármaco y la salida activa de un fármaco. La mayor concentración de antibióticos se encuentra generalmente en las presiones antropogénicas intensas, la cría de animales y la acuicultura. Los sistemas de acuicultura son muy complejos y dinámicos, y están influenciados por

factores ambientales, biológicos, culturales, socioeconómicos y de comportamiento humano. Por lo tanto, el uso indiscriminado de antibióticos en la acuicultura aumenta gradualmente para tratar o prevenir enfermedades y aumentar la productividad. Sin embargo, estos antibióticos se utilizan a menudo para compensar las deficiencias de manejo. Además, en las prácticas de acuicultura a menudo falta un control adecuado del uso y la resistencia de los antibióticos. Del mismo modo, los sistemas de acuicultura exponen las aguas residuales al río y extraen agua de él, lo que puede poner a las personas en contacto con residuos de antibióticos y bacterias resistentes (Brunton et al., 2019).

En los países asiáticos son muy comunes las piscifactorías integradas con establos para animales y tierras agrícolas, lo que lleva a la contaminación ambiental con residuos de medicamentos en los alimentos. También puede ser una fuente de contaminación ambiental debido a diferentes tratamientos de enfermedades, eliminación inapropiada de medicamentos y procesos de fabricación. Es posible observar toxicidad en especies cultivadas, y el uso indebido de medicamentos veterinarios puede tener un impacto negativo en la seguridad alimentaria, seguido del comercio mundial de alimentos para peces. Por ejemplo, se ha demostrado que el cloranfenicol tiene efectos nocivos para la salud humana, su comercialización ha disminuido y en algunos países ha sido prohibido su uso en el tratamiento de los peces (Sogma et al., 2012).

Un estudio realizado en China por Chunxia et al., (2021), abarcó 13 zonas cubiertas de manglares en la región de Hainan para la recolección de muestras de sedimentos, con la detección de un total de 179 genes de resistencia a los antibióticos (ARG) pertenecientes a 9 tipos de ARG en el área de estudio, y las tasas de detección de van XD y iva E-01 fueron del 100%. La abundancia de ARG fue de $8,30 \times 10^7 - 6,88 \times 10^8$ copias por g de sedimento ($1,27 \times 10^{-2} - 3,39 \times 10^{-2}$ copias por gen de ARNr 16S), que fue mayor que en estudios similares, y hubo diferencias en la abundancia de ARG en estas zonas de muestreo. Los genes de multiresistencia (MRG) representaron la mayor proporción (69,0%), lo que indica que la contaminación de los ARG en el área de estudio fue a ritmo ascendente. Las bacterias dominantes a nivel de género fueron *Desulfococcus*, *Clostridium*, *Rhodoplanes*, *Bacillus*, *Vibrio*, *Enterococcus*, *Sedimentibacter*, *Pseudoalteromonas*, *Paracoccus*, *Oscillospira*, *Mariprofundus*, *Sulfurimonas*, *Aminobacterium*, y *Novosphingobium*. Hubo una correlación positiva significativa entre 133 géneros bacterianos y algunos ARG. *Chthoniobacter*, *Flavisolibacter*, *Formivibrio*, *Kaistia*, *Moryella*, *MSBL3*, *Perlucidibaca* y *Zhouia* fueron los principales huéspedes potenciales de ARG

en los sedimentos del área de manglares de Hainan, y muchas de estas bacterias son participantes importantes en los ciclos biogeoquímicos.

CONCLUSIONES

Los estanques de acuicultura se consideran un reservorio importante de bacterias resistentes a los antibióticos y ARG debido al uso excesivo de antibióticos. Sin embargo, el exceso de antibióticos y sus metabolitos se han liberado al medio ambiente debido al abuso y uso indebido de antibióticos. Estudios relevantes han indicado que la contaminación por antibióticos podría conducir a la aparición de ARG en el medioambiente.

En la cría de animales los antimicrobianos se utilizan ampliamente para terapia animal, profilaxis o como promotores del crecimiento. El uso inadecuado de estos antimicrobianos en los animales destinados a la alimentación y la acuicultura es un factor importante que contribuye a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos. Se considera que el uso generalizado de medicamentos veterinarios representa una alarmante amenaza para la salud de la población.

El futuro de la acuicultura radica en garantizar el suministro de productos acuáticos seguros al creciente mercado de consumidores. Por lo tanto, es necesaria la coordinación internacional en base al entorno normativo, mientras que es esencial una mayor inversión en investigación para estrategias alternativas de gestión de la salud en el sector acuícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayande, K. A., Aiyegoro, O. A., & Ateba, C. N. (2020). Probiotics in Animal Husbandry: Applicability and Associated Risk Factors. *Sustainability*, 12(3), 1087. <https://doi.org/10.3390/su12031087>
- Brunton, L. A., Desbois, A. P., Garza, M., Wieland, B., Mohan, C. V., Häsler, B., ... & Guitian, J. (2019). Identifying hotspots for antibiotic resistance emergence and selection, and elucidating pathways to human exposure: Application of a systems-thinking approach to aquaculture systems. *Science of the total environment*, 687, 1344-1356.
- Chuah, L. O., Effarizah, M. E., Goni, A. M., & Rusul, G. (2016). Antibiotic application and emergence of multiple antibiotic resistance (MAR) in global catfish aquaculture. *Current environmental health reports*, 3(2), 118-127.

- Chunxia J, Xiaoping D, Haihua W, & Siyuan Mac. (2021). Diverse and abundant antibiotic resistance genes in mangrove area and their relationship with bacterial communities - A study in Hainan Island, China. *Environmental Pollution*. 276 (116704). Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121002839?via%3DIihub>
- Cuong, N., Padungtod, P., Thwaites, G., & Carrique-Mas, J. (2018). Uso de antimicrobianos en la producción animal: una revisión de la literatura con un enfoque en países de ingresos bajos y medianos. *Antibióticos (Basilea)*, 7 (3), 75. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7030075>
- Department of Health and Human Services. (2019). Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2019. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>
- Du, X., Xu, X., Yao, J., Deng, K., Chen, S., Shen, Z., ... & Feng, G. (2019). Predictors of mortality in patients infected with carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*: a systematic review and meta-analysis. *American journal of infection control*, 47(9), 1140-1145.
- Elmahdi, S., DaSilva, L. V., & Parveen, S. (2016). Antibiotic resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in various countries: a review. *Food microbiology*, 57, 128-134.
- FAO, (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. La sostenibilidad en acción. Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/ca9231es/CA9231ES.pdf>
- Love DC, Fry JP, Cabello F, Good CM. & Lunestad BT. (2020). Veterinary drug use in United States net-pen Salmon aquaculture: implications for drug use policy. *Aquaculture*.; 518:734–820. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734820>.
- Lulijwa, R., Rupia, E. J., & Alfaro, A. C. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 640-663. <https://doi.org/10.1111/raq.12344>
- Matter, M. T., Doppegieter, M., Gogos, A., Keevend, K., Ren, Q., & Herrmann, I. K. (2021). Inorganic nanohybrids combat antibiotic-resistant bacteria hiding within human macrophages. *Nanoscale*, 13(17), 8224-8234: <https://doi.org/10.1039/D0NR08285F>
- Mog M, Ngasotter S, Tesia S, Waikhom D, Priyadarshini SP, Sharma S. & Varshney S. (2020). Problems of antibiotic resistance associated with oxytetracycline use in aquaculture: A review *Journal of Entomology and Zoology Studies*; 8(3): 1075-1082.
- Pepi, M., & Focardi, S. (2021). Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5723.
- Schar D, Klein EY, Laxminarayan R, Gilbert M. & Van Boeckel T. (2020). Global trends in antimicrobial use in aquaculture. *Antibiotics*, 9(12), 918.
- Serweci ska, L. (2020). Antimicrobials and antibiotic-resistant bacteria: a risk to the environment and to public health. *Water*, 12(12), 3313.
- Sheng, L., & Wang, L. (2021). The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 738-786. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12671>
- Somga, S. S., Somga, J. R., & Regidor, S. E. (2012). Use of veterinary medicines in Philippine aquaculture: current status. Improving biosecurity through prudent and responsible use of veterinary medicines in aquatic food production, pp 5–67. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 547. FAO, Rome, Italy. p 207.
- Vaiyapuri, M., Pailla, S., Rao Badireddy, M., Pillai, D., Chandragiri Nagarajarao, R., & Prasad Mothadaka, M. (2021). Antimicrobial resistance in *Vibrios* of shrimp aquaculture: Incidence, identification schemes, drivers and mitigation measures. *Aquaculture Research*, 52:2923–2941. <https://doi.org/10.1111/are.15142>