



IMPACTO AMBIENTAL DE RESIDUOS GENERADOS EN CULTIVOS EN JAULAS DE TRUCHA ARCOIRIS HACIA EL AGUA

ENVIRONMENTAL IMPACT OF RESIDUES GENERATED IN CROPS OF RAINBOW TROUT IN CAGES TO THE WATER

Sonia Elizabeth Jojoa Jojoa ^a, <https://orcid.org/0000-0002-2233-7750>
Mayerlin Alexa Santacruz Ordoñez ^a, <https://orcid.org/0000-0002-8785-9816>
Janeth Del Pilar Derazo ^b, <https://orcid.org/0000-0003-4593-9209>

^a Ingenieras en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. soniae.jojoa@gmail.com , mayerlina-lexa101@gmail.com

^b Ingeniera en Producción Acuícola, Especialista en Gestión Ambiental. Profesora, Departamento de Recursos Hidrológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. pilarde-razo@gmail.com

Recibido: 25-04-2019

Aceptado: 15-05-2019

RESUMEN

A medida que la producción acuícola aumenta con las crecientes demandas globales, su impacto en el medio ambiente también está aumentando. La liberación de desechos de acuicultura a cuerpos de agua naturales se está convirtiendo en un desafío, dado que son ricos en nutrientes orgánicos e inorgánicos que conducen a un deterioro ambiental. La intensificación de la acuicultura es una alternativa viable para aumentar la producción debido a la competencia que surgió del uso de los recursos naturales. Sin embargo, exige mayores insumos, como peces y alimentos por unidad de área de cultivo y, por lo tanto, una mayor generación de residuos de los sistemas de producción acuícola. Este documento analizó diversos aspectos de la producción de desechos de la acuicultura: sus fuentes, componentes y métodos de manejo en sistemas de cultivo en jaulas, discutiendo principalmente la producción de desechos de alimentos y heces que causan un efecto adverso grave que incluye cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas y sedimentación de material orgánico; productos químicos como antibióticos que generan un desequilibrio en la flora bacteriana; lavado de redes aumentando la cantidad de partículas disueltas, y residuos disueltos como nitrógeno y fósforo que conducen al fenómeno de eutrofización, entre otros efectos. El objetivo fue establecer las fuentes de desechos, su contenido y los daños potenciales tanto para el cultivo de peces como para el medio ambiente. De igual manera se tiene en cuenta la normatividad de la acuicultura y pesca en Colombia y algunas medidas de mitigación que podrían adoptarse.

Palabras clave: acuicultura, fósforo, impacto ambiental, nitrógeno, residuos sólidos.

ABSTRACT

As aquaculture production increases also increasing global demands, its impact on the environment is also increasing. The release of aquaculture waste to natural bodies of water is becoming a challenge,

Revisión literaria

given that they are rich in organic and inorganic nutrients that lead to environmental deterioration. The intensification of aquaculture is a viable alternative to increase production due to the competition that arose from the use of natural resources. However, it requires higher inputs, such as fish and food per unit of crop area, and, therefore, a more significant generation of waste from aquaculture production systems. This document analyzed various aspects in aquaculture waste production, its sources, components and management methods in cage culture systems, mainly discussing the production of food waste and feces that cause a serious adverse effect that includes changes in the structure and functioning of ecosystems and sedimentation of organic material chemical products such as antibiotics that generate an imbalance in the bacterial flora; washing of networks increasing the amount of dissolved particles and dissolved residues such as nitrogen and phosphorus that lead to the phenomenon of eutrophication, among other effects. The objective was to establish the sources of waste, their content and the potential damages both for fish farming and for the environment. Similarly, the regulations of aquaculture and fisheries in Colombia and some mitigation measures could have been taken into account.

Keywords: aquaculture, phosphorus, environmental impact, nitrogen, solid waste.

INTRODUCCIÓN

El pescado es uno de los productos alimenticios más comercializados y la principal fuente de proteína animal en muchas regiones del mundo. Según la FAO ^[1], la producción pesquera mundial alcanzó un máximo de aproximadamente 171 millones de toneladas en 2016, de las cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se incluye la preparación de harina y aceite de pescado. Ottinger ^[2] afirma que la acuicultura se ha desarrollado principalmente en entornos costeros fértiles y valiosos, y ha provocado cambios a gran escala en el uso de la tierra, la destrucción y la pérdida de humedales costeros y la contaminación de las aguas y los suelos.

La acuicultura en Colombia ha tenido un crecimiento equiparable al crecimiento mundial, en promedio el 13% anual durante los últimos 27 años, crecimiento que se ha destacado especialmente en el campo de la mediana y pequeña acuicultura, que posiciona al país en el sexto lugar en América Latina. Sin embargo, esta actividad se ha realizado sin planificación, sin previsión de las afectaciones que la acuicultura puede causar en el ambiente y, sobre todo, sin política gubernamental que le sirva de apalancamiento y apoyo efectivo y eficiente. ^[3]

La intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas generan degradación del ambiente: primero por la utilización del agua

que recibe grandes cantidades de desechos, como el alimento no consumido y heces producidos por los peces que se sedimentan en el fondo, dañando un espacio que, no sólo es utilizado por los peces cultivados, sino también por otras especies y organismos; segundo, porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema, así como también compuestos nitrogenados (amoníaco, nitrito y nitrato), fósforo y carbono orgánico disuelto, que puede conducir a un deterioro ambiental a alta concentración; tercero, la introducción de especies foráneas aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impactos; finalmente se genera una enorme cantidad de desechos en el proceso de faena del producto que muchas veces termina en los cuerpos de agua. A esto se agrega que una significativa porción de los nutrientes queda disuelta en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutrofización. ^[4]

En este artículo se describen algunas fuentes de contaminación acuática, y se identifican los desechos sólidos y disueltos como los componentes principales que causan la contaminación ambiental. De igual manera se tiene en cuenta la normatividad de la acuicultura en Colombia y algunas medidas de mitigación con el fin de asegurar una producción acuícola mejorada y sostenible.

DESECHOS DE LA ACUICULTURA

Residuos sólidos

La liberación de desechos de la acuicultura en los ecosistemas acuáticos puede resultar en varios cambios ambientales. La magnitud y el tipo de estos cambios dependen en gran medida del entorno de recepción. Los sitios con corrientes altas pueden responder de manera diferente en comparación con los sitios cerrados con una mala renovación del agua ^[5]. Los desechos de acuicultura incluyen alimentos no ingeridos, desechos metabólicos, heces y residuos de medicamentos utilizados ^[6]. Se considera que los desechos sólidos son muy peligrosos porque pueden obstruir las branquias de los peces y provocar la muerte, especialmente en el caso de partículas grandes asentadas. Si los desechos sólidos en la acuicultura permanecen dentro del sistema de cultivo, su actividad bacteriana aeróbica aumentará la demanda química y bioquímica de oxígeno, lo que genera el agotamiento del oxígeno dentro de la columna de cultivo. ^[7]

Alimento no consumido. Los residuos sólidos producidos por alimento constituyen un alto porcentaje del total de residuos y se derivan, en general, de derrames de alimentos y heces, que van de 5 a 50 mg/L. Estos desechos pueden consistir en partículas que se hunden rápidamente (sólidos sedimentables) o partículas que permanecen en suspensión en la columna de agua (sólidos suspendidos). ^[8]

Según Turcios ^[9], los ingredientes de la dieta afectan la producción de desechos de la acuicultura, y por tanto, es una tarea importante desde el punto de vista ambiental, especialmente para sistemas de flujo abierto o de jaulas. Sobrecargar el entorno con nutrientes, por ejemplo, nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono (C), puede tener un impacto en la producción de fitoplancton (eutrofización), un efecto adverso que incluye cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas y sedimentación de material orgánico. Además, un incremento en los sólidos suspendidos o sedimenta-

dos resultará en un aumento de la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los altos niveles de DBO indican grandes cantidades de materia orgánica que se originan de alimento no digerido, y las consecuencias pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y los organismos circundantes. El alimento no consumido y las heces se acumulan como materia orgánica, mientras que los productos excretores inorgánicos, principalmente amoníaco/amonio y pequeñas cantidades de urea, bicarbonato y fosfato, entran en el agua en forma disuelta. ^[10]

Se ha informado que el efecto de la producción de desechos debido al alimento para peces varía con la cantidad de alimento balanceado. La producción de desechos del alimento depende de varios factores, incluida la composición de nutrientes, el método de producción (extruido frente a granulado), la relación entre el tamaño del alimento, el tamaño de los peces, la cantidad de alimento por unidad de tiempo, el método de alimentación y el tiempo de almacenamiento. ^[11]

El control de la alimentación también resulta básico a la hora de la producción de residuos, puesto que la sobrealimentación como consecuencia de una incorrecta estimación de la biomasa existente, podría suponer un sustancial aumento del alimento no ingerido. Por otro lado, también habría que tener en cuenta las diferencias entre alimentación automática y manual. Se estima que en jaulas de cultivo para salmonidos el porcentaje de ingesta es del 67% cuando el alimento se distribuye manualmente, frente a sólo un 33% cuando se realiza de manera automática. ^[12]

Las técnicas de cultivo intensivo, donde el crecimiento de los organismos acuáticos depende del alimento suministrado en forma de alimento granulado, generalmente causan mayor efecto sobre el medio que las técnicas extensivas. El incremento en el uso de alimentos extruidos ha mejorado el índice de conversión alimenticia, lo que también es un factor que disminuye la descarga de nutrientes al agua ^[13].

Revisión literaria

Gonzales ^[14] afirma que el alimento no consumido por los peces se estima en 2% para alimentos extruidos y 9% para los peletizados.

Según Boyd ^[15], 1 kg de alimento con 25% de proteína contiene 0,04 kg de nitrógeno. Si el valor promedio del desperdicio de alimento es de 7,5%, cada kilogramo de alimento ofrecido al organismo de cultivo agrega 3 g de nitrógeno al ambiente a través de alimento no consumido. Por lo tanto, el impacto de los alimentos no consumidos es un problema grave en todos los sistemas de cultivo y es particularmente importante en los sistemas de cultivo en jaula y sistemas de cultivo en corrales donde el alimento se pierde directamente en el entorno acuático. Así mismo Torres ^[16] afirma que, para producir 1 kg de trucha, se necesitan alrededor de 1,4 kg de alimento. El otro indicador es que el 25 % del alimento se convierte en carne y el 75 % restante se convierte en nitrógeno, fosforo, carbono y pérdidas como alimento no capturado, como heces no digeridas y otros productos de excreción.

Residuos fecales. La mayoría de los residuos sólidos de la acuicultura son de origen fecal. Las pérdidas fecales que se originan a partir de nutrientes de alimentos no digeridos pueden constituir aproximadamente el 10-30% de los alimentos. En cuanto al impacto ambiental, los factores importantes a considerar incluyen la cantidad, composición y propiedades físicas de la masa fecal liberada. Además, dependiendo del sistema de crianza, los desechos fecales pueden tener un impacto diferente y pueden manejarse de manera diferente; para las operaciones de acuicultura en jaulas, hay pocos medios mecánicos para eliminar los desechos, por lo tanto, se supone que existe un impacto ambiental mayor ^[17]. Las heces que se depositan debajo y alrededor de las jaulas pueden aumentar los niveles de DBO, dióxido de carbono y amoníaco, debido a la oxidación de la materia orgánica, con efectos adversos para los animales acuáticos y para la especie producida ^[18]. No obstante, la intensidad de estas condiciones depende de la ubicación de la unidad, mientras que factores como las fuertes corrientes de agua

y las aguas profundas pueden reducir estos efectos.

Los factores que afectan la cantidad, la composición y las características fisicoquímicas de las heces generadas por los peces al medio ambiente, son principalmente: la composición y la digestibilidad del alimento. Generalmente, los alimentos comerciales tienen una digestibilidad de materia seca que varía entre 70 y 80%. Por ejemplo, en el salmón del Atlántico *Salmo salar*, el 15% del alimento comercial consumido se convertirá en materia fecal seca. Sin embargo, el uso de diferentes ingredientes del alimento puede afectar la materia seca, así como la digestibilidad de los nutrientes (proteínas, carbohidratos, grasas, minerales) debido a la presencia de diferentes ANF (factores anti nutricionales). Esto da como resultado diferentes composiciones de heces y una mayor carga ambiental de nutrientes, como N o P. ^[19]

Piedrahita ^[20] asegura que las heces fecales de peces contienen 3,6% -35% de N y 15% -70% de P, mientras que la cantidad de N y P como productos excretadores es de 37-72% y 1-62%, respectivamente. Por su parte, Rodehutschord ^[21] menciona que, para trucha arcoíris, el fósforo ingerido con la dieta oscila entre el 2 y el 4%, el cual se distribuye en 0,37% para el crecimiento, 0,53% para disposición en hueso, con lo cual el requerimiento total es de 0,90%; el resto es eliminado vía heces y excretado en la orina, siendo un factor de impacto ambiental por eutrofización, situación que se puede extrapolar a otras especies de cultivo.

Otro asunto importante relacionado con la producción ambiental, es la evaluación de las propiedades físicas de las heces, estas pueden cambiar su efecto sobre el medio ambiente, ya que pueden ser sólidos suspendidos o partículas que se hunden. El efecto de los sólidos suspendidos en la producción de desechos, como las heces de baja consistencia que pueden romperse fácilmente, es controvertido, ya que pueden cambiar su distribución alrededor de las jaulas, reduciendo así la carga local y ofreciendo mejores oportunidades de regeneración bentónica. Las partículas que se hunden, son heces de alta consistencia que se depositan más

rápido y permanecen principalmente debajo de las jaulas causando mayor impacto. ^[22]

Residuos químicos. Las prácticas actuales de acuicultura limitan estrictamente el uso de químicos en los cultivos, sin embargo, algunos químicos todavía se usan en forma de medicamentos, desinfectantes y anti-incrustantes ^[23]. Los medicamentos se usan con fines terapéuticos, que incluyen los antibióticos que se usan para profilaxis, anestésicos, infecciones microbianas, ectoparasiticidas, endoparasiticidas. Las sales, principalmente se utilizan para reducir el estrés en los peces ^[24]. Aunque estos productos químicos son importantes para el cultivo de peces, también pueden constituir una molestia para el medio ambiente ^[25]. El efecto de estos desechos químicos sobre los sistemas naturales de agua depende de la concentración, el tamaño del cultivo y el tamaño de los cuerpos de agua.

Boyd ^[26] reporta que aproximadamente el 70–80% de los antibióticos en alimentos medicados entran al agua a través de la excreción urinaria o fecal y alimentos no consumidos. El antibiótico permanece en el agua o el suelo hasta que es degradado por procesos naturales. En acuicultura se observa un amplio uso de tetraciclinas (oxitetraciclina), sulfonamidas (sulfametoxazol) y fluoroquinolonas (flumequina) ^[27]. La Oxitetraciclina es uno de los antibióticos más utilizados en la acuicultura de todo el mundo. Según Ramesh, et al ^[28] El uso de antibióticos de tetraciclina que contienen oxitetraciclina (OTC) se utilizan ampliamente para promover el crecimiento animal y también para proteger y tratar enfermedades infecciosas. Se ha informado que solo el 20–30% de los antibióticos de tetraciclina fueron utilizados por los peces, mientras que aproximadamente el 75% de estos (es decir, el material original, el metabolito) se liberan en el medio ambiente ^[29].

En consecuencia, los antibióticos residuales en acuicultura pueden causar la presión selectiva de las bacterias, lo que resulta en la proliferación y transferencia de genes resistentes a los antibióticos (ARG) en peces y otros organismos acuáticos, alterando la estructura de la

comunidad microbiana en el agua y los sedimentos, y potencialmente conduciendo a la eutrofización del agua, además de ser perjudicial para la salud humana y animal ^[30]. Si bien, la mayor parte de la preocupación sobre el uso de antibióticos es el desarrollo de resistencia microbiana que, por transmisión horizontal, podría conducir a problemas de salud humana, estos químicos son tóxicos para la flora bacteriana del medio ambiente acuático. Además, hay una gran porción de bacterias fotosintéticas que también se ven afectadas negativamente por la liberación de antibióticos ^[31].

El abuso de los antibióticos ha dado lugar a la aparición de bacterias resistentes en las poblaciones microbianas, ya que estos persisten en el sedimento y en los ambientes acuáticos por varios meses después de su administración y pueden afectar a las comunidades bacterianas sedimentarias y alterar la circulación biogeoquímica de elementos tales como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre y modificar la velocidad de degradación de la materia orgánica ^[32]. Según Ovando ^[33], puede ocurrir que los compuestos entren a la cadena trófica, con una posible bioacumulación en eslabones superiores o que quizá causen daño a largo plazo, por tratarse de un impacto acumulativo.

La amplia variedad de productos químicos utilizados para tratar diferentes infecciones no solo hace que el medio ambiente tenga afectación, sino que el patógeno también se vuelve resistente con el tiempo. Por lo tanto, los antibióticos deben utilizarse de manera más racional, empleando métodos duraderos y amigables con el medio ambiente. Una de las alternativas para el control de enfermedades en acuicultura es el uso de productos vegetales, como una estrategia para controlar algunas infecciones y al mismo tiempo disminuir los efectos secundarios. Dentro de un gran número de plantas medicinales se podría destacar el ajo (*Allium sativum*) como un tratamiento potencial para manejar algunas enfermedades parasitarias.

Residuos de lavado de redes. Como una alternativa al recambio de redes en jaulas, ha sur-

Revisión literaria

gido la limpieza in situ sin retención, principalmente con hidrolavadoras que impulsan agua a presión. Sin embargo, persiste el problema de que la materia orgánica desprendida desde las redes, cae invariablemente al cuerpo de agua y una fracción, que no puede ser removida, permanece en las redes la cual puede volver a crecer rápidamente. El proceso de lavado también puede desencadenar la liberación de larvas que conduce a una rápida recolonización de las redes, así como a la fragmentación y nuevo crecimiento de algunos organismos coloniales [34].

Residuos disueltos

Son productos del metabolismo de los alimentos o alimentos descompuestos no consumidos. En los residuos disueltos, los dos componentes principales de preocupación son el nitrógeno (N) y fósforo (P). Estos dos elementos constituyen unidades importantes de la proteína, que es el componente principal de los alimentos para peces. [35]

Los peces no pueden utilizar un porcentaje sustancial de N y P, lo que otorga a la acuicultura un alto potencial de contaminación ambiental, de ahí su clasificación como residuos industriales.

Estos nutrientes entran en los sistemas y finalmente se liberan en el medio ambiente como desechos. Cuando se liberan en el agua, pueden dañar a los peces y otros habitantes del ecosistema acuático en altas concentraciones [36]. También pueden llevar a un aumento tanto de sólidos disueltos como de sólidos suspendidos totales, así como a la turbidez del agua. Es posible que estos nutrientes disueltos tengan poco o ningún efecto significativo sobre los peces cultivados, dependiendo de las concentraciones. Sin embargo, la liberación de agua de cultivo de mala calidad puede tener un impacto significativo en los organismos acuáticos en los cuerpos de agua (Figura 1). [37]

Nitrógeno. Se libera en el agua de cultivo en forma de amoníaco, que se puede descomponer en nitrito y nitrato, dependiendo de la actividad biológica en la columna de cultivo. [38]

Por lo general, el amoníaco y el amonio están en equilibrio en el agua. El amoníaco no ionizado es más tóxico que el del amonio ionizado, y un nivel elevado de concentración interna de amoníaco produce efectos crónicos y letales en los seres acuáticos. [39]

El nitrito es el producto intermedio de la oxidación de amoníaco a nitrato, también es tóxico, y el nivel por debajo de 0,5 mg/L es generalmente deseable en sistemas de cultivo de peces. Sin embargo, el nitrito no es estable y se oxida aún más a nitrato. El nitrato es el producto final de la oxidación de amoníaco y generalmente se considera seguro porque no es tóxico para la mayoría de las especies de peces, incluso en una concentración tan alta como 200 mg/L. Sin embargo, constituye una molestia para el medio ambiente porque es capaz de enriquecer el agua y, con el fósforo, provocar la eutrofización. [40]

Según Islam [41], los cultivos en jaulas han crecido hasta convertirse en una práctica importante en la industria de la acuicultura en los últimos dos siglos. Se reporta 47,3–320,6 kg de carga de nitrógeno cuando se produce 1 tonelada de pescado en jaulas. El nivel de carga depende de la especie cultivada y del tipo de alimento utilizado, este oscila entre 47,3 y 130 kg para alimentos comerciales. La carga desde el cultivo en jaulas es casi tres veces mayor que la de otros métodos instalados en tierra. Aunque la cantidad real de la carga total de nutrientes de la acuicultura es difícil de calcular, su tasa sigue aumentando.

Fósforo. Este es un elemento biogénico que juega un papel muy importante en los ciclos metabólicos de organismos vivos. Es el mineral menos abundante y, al mismo tiempo, el factor limitante en la productividad primaria. En el agua de los lagos tropicales oligotróficos el fósforo puede provenir de la descomposición de las rocas, la concentración de materia orgánica y las heces de los peces y de otros animales acuáticos, al igual que por aguas domésticas residuales y por el uso de detergentes; valores altos de fosfatos y fósforo total, se asocian a lagos con características de eutrofización. [42]

Según Wong et al ^[43], a diferencia del amoníaco, el fósforo no es tóxico para los peces cultivados, pero cuando se libera al ambiente, enriquece los cuerpos de agua naturales y conduce a la eutrofización y el deterioro de la calidad del agua, dependiendo de su concentración, la frecuencia de liberación y el tamaño del cuerpo de agua. A diferencia del nitrógeno que se libera en el agua principalmente en forma disuelta, un mayor porcentaje de fósforo se libera como partículas en las heces. Alves y Baccarin ^[44] afirman que el 66% del fósforo aportado por la ración alimentaria en sistemas intensivos va al sedimento; el 11% se disuelve en el agua y el 23% restante es incorporado por los peces en cultivo. Por su parte Aguado ^[45] menciona, respecto al cultivo en jaulas flotantes, que las descargas de nutrientes y materia orgánica van directamente al medio. Se ha estimado además que un 10% de las descargas de fósforo se deben a los individuos muertos durante el cultivo.

Impacto del nitrógeno y fósforo en el sistema acuático. El impacto de N y P depende de las condiciones hidrográficas y la topografía del fondo del cuerpo de agua. Sin embargo, el suministro externo de estos dos nutrientes en un ecosistema acuático, ya sea de agua dulce o de mar, puede llevar a la eutrofización, que cambia la flora y fauna autóctonas en los ecosistemas acuáticos. Este escenario se ha convertido en el

principal problema de la mayoría de los cuerpos de agua de superficie del mundo y se debe a la carga de nutrientes inducida por el hombre ^[46].

El nitrógeno y el fósforo inorgánicos disueltos en la columna de agua generalmente son utilizados por el fitoplancton. Por lo tanto, los productores primarios aceleran su crecimiento y una mayor densidad en respuesta a una mayor carga de nutrientes. Este fenómeno conduce a alteraciones en la composición de las especies y en la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos debido al predominio del fitoplancton que forma la floración ^[47]. El aumento de la producción de fitoplancton mejora la turbidez de los niveles superiores de agua y, por lo tanto, limita la penetración de la luz. En este caso, se interrumpe el crecimiento de la vegetación acuática sumergida que ya no podría desempeñar funciones ecológicas, como la provisión de alimento, cría y viveros para muchos organismos acuáticos, incluidos los peces ^[48].

Se ha estimado en diferentes regiones y sistemas de cultivo, que más del 60% del fósforo (P) y el 80% del nitrógeno (N), aportado por los desechos de las especies cultivadas, termina finalmente en la columna de agua. Estos cambios en la incluirían alzas en los niveles de nutrientes (N y P), aumento de la materia orgánica disuelta, reducción de la concentración de oxígeno disuelto, alteración del pH, niveles de conductividad y transparencia del agua ^[49].

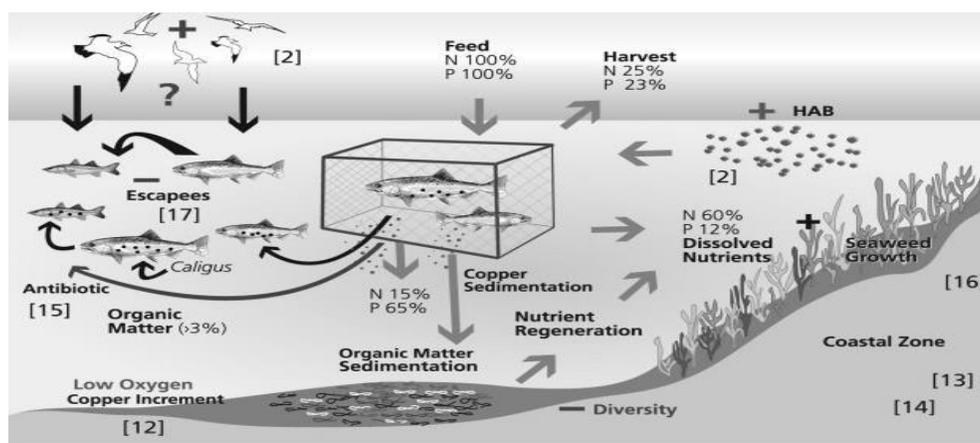


Figura 1. Flujo de nitrógeno (N) y fósforo (P) en términos porcentuales en un centro de cultivo de salmónidos (con aporte exógeno de alimento). ^[50]

Revisión literaria

Para cultivos de trucha arcoíris en lagunas de Colombia se reportan valores de aporte de nitrógeno de 16,4 kg/año para cultivos extensivos o de autoconsumo y de 44 a 255,9 kg/año en cultivos intensivos y súper intensivos. De igual forma el aporte de fósforo proveniente de cultivos piscícolas oscila entre 9,9 kg/año en cultivos extensivos y de 163 kg/año en cultivos súper intensivos, lo que refleja el impacto ambiental y la carga contaminante que causa la acuicultura en los ecosistemas; en la investigación realizada en el lago Guamuez por González-Legarda et al ^[51], los valores de fósforo (0,015 mg/l, 0,020 mg/l, 0,031 mg/l tomados en tres profundidades) están por debajo de los aportados a los lagos y ecosistemas por otras actividades pecuarias y agrícolas.

Normatividad ambiental colombiana para acuicultura y pesca

En Colombia, como ente rector de la política de pesca y acuicultura nacional, se encuentra el “Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural” (MADR). Mediante el Artículo 16 del Decreto No. 1985 del 12 de septiembre 2013, se creó el “Viceministerio de Asuntos Agropecuarios” y a través del Artículo 18 del citado Decreto, se creó la “Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas”. Así mismo, mediante el Decreto 4181 de 2011, emanado del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural se creó la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP ^[52], con el fin de brindar el impulso a este sector.

Política Nacional de Pesca y Acuicultura PNP. Actualmente se adelanta la formulación de la “Política Nacional de Pesca y Acuicultura” a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, de acuerdo con el Estatuto General de Pesca, en la Ley 13 de 1990, y su Decreto Reglamentario 2296 de 1991. El objeto de estos instrumentos es regular, ordenar, administrar, desarrollar y aprovechar en forma sostenible los recursos pesqueros y de acuicultura, y se complementa con lo establecido en la Ley 99 del 1993. ^[53]

Plan Nacional de Desarrollo PND 2014–2018. Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 – Prosperidad para Todos, el Capítulo VI sobre Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo, se encuentra incluido el apoyo a la recuperación del sector pesca y acuicultura y correspondiente investigación y transferencia de tecnología, como parte de los lineamientos y acciones estratégicas del sector agropecuario con relación a la gestión ambiental integrada y compartida. ^[54]

Resolución 1006 de 2015. Corporación Autónoma Regional de Nariño. Por medio de la cual se establecen unas acciones, medidas y/o restricciones para los proyectos piscícolas o acuícolas en jaulas flotantes, ubicadas en el Lago Guamuez o laguna de la Cocha del corregimiento el Encano, municipio de Pasto departamento de Nariño. Donde resuelve: Artículo 1, establecer como una medida de acción, el inicio del proceso de ajuste a las explotaciones piscícolas en jaulas flotantes con permiso de ocupación de cauce de acuerdo al estudio de capacidad de carga. Artículo 2, no otorgar nuevos permisos de ocupación de cauce en el Lago Guamuez. Artículo 3, todo proyecto piscícola instalado en la Laguna de La Cocha que no cuente con permiso, autorización o plan de manejo ambiental expedido por Corponariño, será objeto de proceso sancionatorio. Artículo 4, establecer porcentajes de reducción del número de jaulas instaladas; de acuerdo al número otorgado, según resolución del permiso de ocupación de cauce. ^[55]

Medidas de mitigación

Con base en los mecanismos de gestión ambiental y en las políticas de aprovechamiento de los recursos naturales, una aproximación de acuicultura sostenible es el enfoque hacia el equilibrio de tres componentes (económico, ecológico y social) del desarrollo sostenible: no puede existir desarrollo económico y social si no hacemos un uso responsable de nuestros recursos. ^[56]

Si bien los impactos de la acuicultura en el medio ambiente pueden resultar numerosos, el

reducir la producción acuícola no es una opción acertada, ya que no existe una alternativa a su papel en el mercado mundial de productos. Por lo tanto, se han probado y recomendado algunas medidas de mitigación para mantener la producción acuícola sostenible y minimizar los efectos negativos en el medio ambiente.

La principal solución para gestionar los impactos ambientales de la acuicultura es la gestión de los alimentos^[57]. La formulación de alimentos ecológicos puede desempeñar un papel importante en la sostenibilidad de la acuicultura no solo reduciendo la carga de contaminantes sino también el uso de harina de pescado^[58]. Aunque el impacto de la estrategia de alimentación en la carga de nutrientes está menos documentado, contribuye claramente a la carga de N y P del ecosistema acuático. Por lo tanto, la formulación de alimentos con nutrientes equilibrados, que utilizan ingredientes digestibles y prácticas de alimentación adecuadas, son criterios importantes para minimizar la carga. Estos conceptos conducen a dietas con alto contenido de nutrientes e ingredientes altamente digestibles con niveles equilibrados de proteínas y lípidos que reducen la producción de desechos sólidos en la acuicultura^[59]. Por su parte d'Orbcastel et al^[60] explican que una reducción en el índice de conversión de alimento (FCR) en un 30% en una producción piscícola, traerá alrededor de un 20% de reducción en el impacto ambiental del sistema de cultivo de peces.

El desperdicio de alimento depende principalmente de los métodos o el suministro de alimentación en lugar del alimento por sí mismo, y es un punto crítico tanto en la gestión de residuos, como en la mejora de los rendimientos económicos. Alimentar en exceso o de forma inadecuada resultará en un mayor desperdicio de alimentos y/o pérdidas económicas. El uso de alimentadores automáticos se utiliza comúnmente en las prácticas de alimentación en la piscicultura, dado que el acuicultor a menudo siente que cuanto más alimento se introduce en un sistema, mejor es el rendimiento de los peces. Sin embargo, alimentar a los peces cerca de la saciedad u ofrecer raciones diarias restrictivas de alimentos es un método más preferible

para controlar los desechos^[61]. Por lo tanto, la mejor opción para disminuir la contaminación es alimentar muchas veces poco, con el fin de que los peces tengan mayor posibilidad y acceso al alimento sin generar desperdicios.

Por otra parte, el uso de medicamentos veterinarios es cada vez más restringido, ya que presentan numerosos efectos secundarios para el medio ambiente y la seguridad de la salud. Es así como el uso masivo de antibióticos ha dado como resultado el desarrollo de cepas de bacterias resistentes o la presencia de antibióticos residuales en el músculo de los peces comercializados y, por lo tanto, tiene consecuencias potencialmente negativas en humanos y desventajas ambientales^[62]. Teniendo en cuenta el daño potencial de los tratamientos el manejo de la enfermedad debe concentrarse en métodos preventivos, inofensivos y duraderos generando condiciones estables en el cultivo de peces. Algunas de las soluciones propuestas son el uso de productos naturales (extractos de plantas) o probióticos (cepas microbianas beneficiosas).

Finalmente, hay un interés creciente en el consumo de alimentos orgánicos y amigables con el medio ambiente. Posteriormente, la limitación creciente de los productos químicos en la acuicultura y el uso de tratamientos naturales podrían aumentar el consumo de estos productos.^[63]

Se ha informado que los extractos de plantas favorecen diversas actividades en los peces como anti-estrés, promoción del crecimiento, estimulación del apetito, aumento de la tonicidad e inmunoestimulación, maduración de especies de cultivo, propiedades anti patógenas, debido a principios activos como alcaloides, terpenoides, taninos, saponinas, glucósidos, flavonoides, fenólicos, esteroides o aceites esenciales^[64].

Además, el uso de estos productos podría reducir los costos del tratamiento y ser más respetuosos con el medio ambiente, ya que tienden a ser más biodegradables que las moléculas sintéticas y tienen menos probabilidades de producir resistencia a los medicamentos en parásitos debido a la alta diversidad de las moléculas de extracto vegetal.^[65]

CONCLUSIONES

El futuro de la acuicultura se ve enormemente desafiado por ciertos problemas ambientales, especialmente la descarga de desechos en los cuerpos de agua.

Es fundamental desarrollar buenas prácticas acuícolas, para garantizar la estabilidad de la industria y proteger el ambiente.

Cabe destacar que es mejor prevenir que curar, por tanto, controlar los nutrientes de entrada podría ser una buena alternativa.

Todas las partes son responsables, por lo que se necesita de una cooperación constante, dado que solo la autoridad no puede controlar los impactos ambientales causados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma; 2018. 224 p.
- [2] Ottinger M, Clauss K, Kuenzer C. Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review. *Ocean & Coastal Management*. 2016; 119: 244-266.
- [3] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). La pesca y la Acuicultura en Colombia. Bogotá. 2014; 26 p.
- [4] Cabello F, Buschmann A, Young K, Carvajal J, Henríquez L. La acuicultura de salmón y la salud del ecosistema costero en Chile: análisis de regulaciones, impactos ambientales y sistemas de biorremediación. *Manejo oceánico y costero*. 2009; 52 (5): 243-249.
- [5] Kokou F, Fountoulaki E. Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. *Aquaculture*. 2018; 495: 295-310.
- [6] Alimentación y prácticas de alimentación en acuicultura. Impacto ambiental del fosforo y nitrógeno en acuicultura. *Woodhead Publishing Series en Ciencia, Tecnología y Nutrición de Alimentos*; 2015. 363-389.
- [7] Akinwole A, Bankole A, Dauda A, Ayanlere S. Instalaciones de piscicultura y operación en el área de Ibarapa en el estado de Oyo. *EIJAST*. 2014; 1 (2): 85 – 94.
- [8] Unger J, Schumann M, Brinker A. Heces flotantes para una producción de peces más limpia. *Aquaculture*. 2015; 7: 223 – 238.
- [9] Turcios A, Papenbrock J. Tratamiento sostenible de los efluentes de la acuicultura: ¿qué podemos aprender del pasado para el futuro? *Sostenibilidad*. 2014; 6 (2): 836 – 856.
- [10] Degefu F, Mengistu S, Schagerl M. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture*. 2011; 316 (1-4): 129-135.
- [11] Dauda A, Ajadi A, Tola-Fabunmi A, Akinwole A. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*. 2018; 21: 5-6.
- [12] Vergara M, Haroun R, González M, Molina L, Briz M, Boyra A, et al. Evaluación de impacto ambiental de acuicultura en jaulas en Canarias”. En: Vergara-Martín JM, Haroun-Tabraue, R, González-Henríquez N. Telde, *Oceanográfica*. 2005. p. 110.
- [13] Heenan A, Pomeroy R, Bell J L, Munday P, Cheung W, Logan C, et al. A climate-informed, ecosystem approach to fisheries management. *Marine Policy*. 2015; 57: 182-192.
- [14] González J. Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura. [Tesis Magister]. Bogotá: Universidad de la Salle. 2015.

- [15] Boyd C, Tucker C, McNevin A, Bostick K, Clay J. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. Feed and feeding practices in aquaculture. 2007; 327-360.
- [16] Torres N, Grandas I. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. Cienc Tecnol Agropecuaria. 2017; 18 (2): 247-255.
- [17] Chou C, Haya K, Paon L, Moffatt J. A regression model using sediment chemistry for the evaluation of marine environmental impacts associated with salmon aquaculture cage wastes. Marine Pollution Bulletin. 2004; 49 (5-6): 465-472.
- [18] Magni P, Rajagopal S, Van der Velde G, Fenzi G, Kassenberg J, Vizzini S, et al. Sediment features, macrozoobenthic assemblages and trophic relationships ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis) following a dystrophic event with anoxia and sulphide development in the Santa Giusta lagoon (western Sardinia, Italy). Marine Pollution Bulletin. 2008. 125 - 136.
- [19] Azevedo P, Podemski C, Hesslein R, Kasian S, Findlay D, Oficina D. Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. Aquaculture. 2011; 311 (1-4): 175-186.
- [20] Piedrahita R, Merino G, Conklin D. Ammonia and urea excretion rates of California halibut (*Paralichthys californicus*, Ayres) under farm-like conditions. Aquaculture. 2007; 271 (1-4): 227-243.
- [21] Rodehutsord M, Greiling A, Tschesche C, Baardsen G, Kröckel S, Koppe W. Effects of phosphate and phytase supplementation on phytate degradation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L). Aquaculture. 2019; 503: 467-474.
- [22] Unger J, Brinker A. Floating feces: A new approach for efficient removal of solids in aquacultural management. Aquaculture. 2013; 404-405: 85-94.
- [23] Read P, Fernandes T. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. Aquaculture. 2003; 226 (1-4): 139-163.
- [24] Ajadi A, Sabri M, Dauda A, Ina-Salwany M, Hasliza A. Immunoprophylaxis: A better alternative protective measure against shrimp vibriosis. A review. PJSSR. 2016; 2 (2): 58-69.
- [25] Boyd C, McNevin A. Acuicultura, uso de recursos y el medio ambiente. Aquaculture. 2015; 172-210.
- [26] Boyd, C. Aquaculture, Freshwater. Encyclopedia of Inland Waters. 2009; 234-241.
- [27] Heuer O, Kruse H, Grave K, Collignon P, Karunasagar I, Angulo H. Health consequences of use of antimicrobial agents in aquaculture. Clinical Infectious Diseases. 2009; 1 (1): 248-253.
- [28] Ramesh, M, Thilagavathi T, Rathika R, Poopal R K. Antioxidant status, biochemical, and hematological responses in a cultivable fish *Cirrhinus mrigala* exposed to an aquaculture antibiotic Sulfamethazine. Aquaculture. 2018; 491: 3-8
- [29] Li D, Liu S. Chapter 12: Water Quality Monitoring in Aquaculture. Water Quality Monitoring and Management. 2019; 303-328.
- [30] Shao S, Hu Y, Cheng J, Chen Y. Action of oxytetracycline (OTC) degrading bacterium and its application in Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) for aquaculture wastewater pre-treatment. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2019; 171: 833-842.
- [31] McNevin, A. Chapter 10: Aquatic animal health and the environmental impacts. Aquaculture, Fish Diseases. 2017; 249 – 259.
- [32] Espinosa A, Bermúdez C. La acuicultura y su impacto al medio ambiente. México, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. 2012; 219-232.
- [33] Ovando M. La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. Rev espacio innovación más desarrollo. 2013; 2 (3): 18-20.

Revisión literaria

- [34] Vera R, Vergara A M. Effects of in situ washing nets in sediment associated with aquaculture in southern of Chile. *Rev Biología Marina y Oceanografía*. 2016; 51 (3): 505-514.
- [35] Pianesso J, Radünz N, Da Silva L, Goulart, F, Lazzari R. Determination of tryptophan requirements for juvenile silver catfish (*Rhamdia quelen*) and its effects on growth performance, plasma and hepatic metabolites and digestive enzymes activity. *Rev Animal Feed Science and Technology*. 2015; 210: 172-183.
- [36] Stephens W, Farris J. Instream community assessment of aquaculture effluents. *Aquaculture*. 2004; 231 (1-4): 149-162.
- [37] Ansah Y. Characterization of pond effluents and biological and physicochemical assessment of receiving waters in Ghan. [tesis de maestría]. Virginia: polytechnic institute and state University; 2010.
- [38] Romano N, Zeng C. Efectos tóxicos del amoníaco, nitrito y nitrato a los crustáceos decápodos: una revisión de los factores que influyen en su toxicidad, consecuencias fisiológicas y mecanismos de afrontamiento. *Aquaculture*. 2012; 334-337: 12-23.
- [39] Muthukrishnan A, Sabaratnam S, Chong V. Ammonia nitrogen removal by an aerobic heterotrophic bacterium, *Microbacterium* sp. *Aquaculture*. 2012; 213: 76-82
- [40] Dauda B, Akinwole A. Interrelationships among water quality parameters in recirculating aquaculture system. *NJRED*. 2014; 8 (4): 20-25.
- [41] Bush S, Belton B, Little D, Islam S. Emerging trends in aquaculture value chain research. *Aquaculture*. 2019; 498: 428-434.
- [42] Vásquez W, Núñez M, Inga M. Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. *Sociedad Química del Perú*. 2016; 81 (1): 15-28.
- [43] Wong K, Piedrahita R. Prototype testing of the appurtenance for settleable solids in raceway separation (ASSIST). *Aquacultural Engineering*. 2003; 27 (4): 273-293.
- [44] Alves R, Baccarin A. Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no córrego da arribada. São Carlos, Rima Editora; 2005.
- [45] Aguado F, Piedecausa M, Carrasco C, Gutiérrez J, García B. Do benthic biofilters contribute to sustainability and restoration of the benthic environment impacted by offshore cage finfish aquaculture?. *Marine Pollution Bulletin*. 2011; 62 (8): 1714-1724.
- [46] Smith D, Schindler D. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends Ecol Aquaculture*. 2009; 24 (4): 201-207.
- [47] Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*. 2012; 356-357: 351-356.
- [48] Satoh S, Herath S. Environmental impact of phosphorus and nitrogen from aquaculture. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. 2015; 369-386.
- [49] Buschmann A. Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo. Chile, Terram Publicaciones; 2001. pp. 3-64.
- [50] Buschmann A H, Fortt A. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sostenible. *Ambiente y Desarrollo*. 2015; 20: 58- 64.
- [51] González-Legarda E, Burbano E, Aparicio R, Duque G, Imués-Figueroa M A. Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamuez. *Rev MVZ*. 2018; 23: 7035-7047.
- [52] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Informe de gestión 2017 (Ley 1474 de 2011, Artículo 74); Bogotá. 2018.

- [53] Esquivel M, Merino M, Restrepo J, Narváez A, Polo C, Plata J, Puentes V. Estado de la pesca y la acuicultura 2014. Documento de compilación de información. Bogotá, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). 2014
- [54] Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura (AUNAP) - FAO. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia PlaNDAS. Bogotá, Imprenta Nacional de Colombia; 2014.
- [55] Corporación autónoma regional de Nariño (CORPONARIÑO). 2015. Consultado el [29 marzo de 2019]. Disponible en internet: https://www.redjurista.com/AppFolders/arboles/Static/2016/04/49859/r_corponari%C3%B1o_1006_2015.htm
- [56] García C, Remiro J, Ojeda J, Simard F, Simoes S. Aproximación a la sostenibilidad acuícola del Mediterráneo mediante el uso de indicadores. Rev AquaTIC. 2011; 35: 1-8.
- [57] Martins C, Eding E, Verdegem M, Heinsbroek L, Schneider O, Blancheton J, et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. Rev Aquacultural Engineering. 2010; 43 (3): 83-93.
- [58] Jahan P, Watanabe T, Sato S, Kiron V. Reduction in elemental waste loading from commercial carp feeds by manipulating the dietary phosphorus levels Fish. Aquaculture. 2003; 465: 58-65.
- [59] Cho C, Hynes J, Wood K, Yoshida H. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. Aquaculture. 1994; 124 (1-4): 293-305.
- [60] D'Orbcastel E, Blancheton J, Aubin J. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle assessment. Aquacultural Engineering. 2009; 40 (3): 113-119.
- [61] Sarker P, Fournier J, Boucher E, Proulx E, Vandenberg G. Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Animal Feed Science and Technology. 2011; 168 (3-4): 241-249.
- [62] Romero J, Feijó C, Navarrete P. Antibiotics in aquaculture use, abuse and alternatives. Carvalho E, David J, Silva R. (Eds.). Health and Environment in Aquaculture. 2012; p. 159
- [63] Reverter M, Bontemps N, Lecchini D, Banaigs B, Sasal P. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. Aquaculture. 2014; 433: 50-61.
- [64] Chakraborty S, Hancz C. Application of phytochemicals as immunostimulant, antipathogenic and antistress agents in finfish culture. Aquaculture. 2011; 3: 103-119.
- [65] Olusola S, Emikpe B, Olaifa F. The potentials of medicinal plants extracts as bio-antimicrobial in aquaculture. Int. J. Med. Aromat. Plants. 2013; 3: 404-412.