

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, DELEG ALAY PAOLA VANESSA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado REVISIÓN DE LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DEL CULTIVO DE PECES EN JAULAS EN EL ECUADOR, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

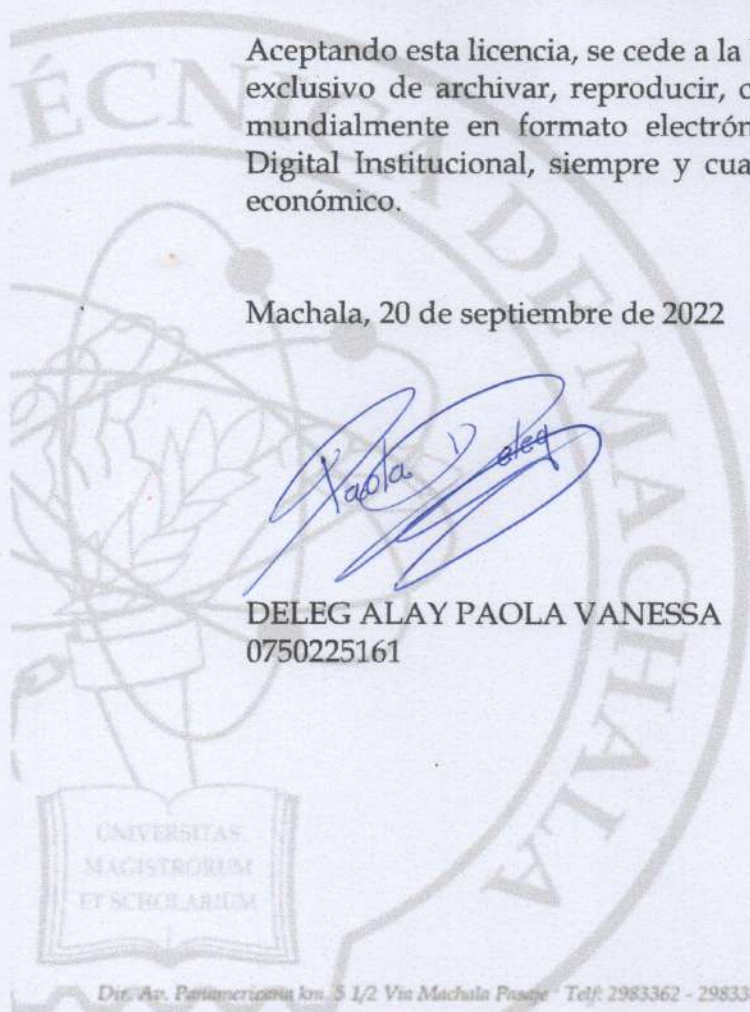
La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 20 de septiembre de 2022



DELEG ALAY PAOLA VANESSA
0750225161



REVISIÓN DE LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DEL CULTIVO DE PECES EN JAULAS EN EL ECUADOR

The ecological impacts of fish farming in cages in Ecuador - A review

Autores

Paola Vanessa Deleg Alay, Roberto A. Santacruz-Reyes

Autor de correspondencia

Roberto A. Santacruz Reyes

Direcciones de afiliación y correo electrónico

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador

Email: pdeleg1@utmachala.edu.ec

Email: rsantacruz@utmachala.edu.ec - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3439-6173>

RESUMEN

El cultivo de peces en jaulas es una actividad productiva altamente exitosa, sin embargo, el impacto ambiental atribuido a la misma es un factor a considerar, por lo que bajo estrictas regulaciones y una mejor tecnificación del cultivo, esta forma de producción puede llegar a considerarse ambientalmente sostenible. Dentro de los principales impactos negativos está la liberación de nutrientes, contaminación de sedimentos con materia orgánica, escape de peces, impacto genético de los organismos escapados, riesgo de proliferación y transmisión de enfermedades, entre otros.

Ecuador posee excelentes condiciones para implementar la maricultura, contando con un área potencial de 4.000 km², gracias a que las costas ecuatorianas reúnen deseables condiciones de profundidad, factores climáticos, vientos moderados, batimetría y velocidad de corrientes marinas. En este contexto, tras el proceso de zonificación marítima realizado en el país, se determinó que en áreas de no intersección con las demás actividades en mar abierto se cuenta con un total de 248.221,95 hectáreas para implementar cultivos de peces en jaulas.

Para que esta actividad se desarrolle exitosamente en Ecuador, se debe observar lo que ha sucedido en países como Canadá, Noruega, Taiwán, entre otros, y aprender de ellos, ya que tienen mucha historia cultivando peces en jaulas, y rescatar a manera de aprendizaje los aspectos negativos por los que pasaron los países mencionados. Uno de los aspectos más importantes es el impacto ambiental, por lo que aplicar el modelo de la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) va a permitir la sostenibilidad de esta novel industria en nuestro país. Adicionalmente se necesita el apoyo del gobierno para contar con reglas claras en la ejecución de esta actividad, de manera que se pueda promover, y llamar el interés de los inversionistas tanto locales como extranjeros.

Palabras clave: medio ambiente; maricultura; acuicultura; sostenibilidad; piscifactoría

ABSTRACT

Fish farming in cages is a highly successful productive activity, however the environmental impact attributed to it is a factor to consider, so under strict regulations and better farming technology, this form of aquaculture can be considered environmentally friendly. Among the main negative impacts are the release of nutrients, contamination of sediments with organic matter, escape of fish, genetic impact of escaped organisms, risk of proliferation and transmission of diseases, among others.

Ecuador has excellent conditions to implement mariculture, with a potential area of 4,000 km², due to the fact that the Ecuadorian coasts meet desirable conditions of depth, climatic factors, moderate winds, bathymetry and speed of sea currents. In this context, after the maritime zoning process carried out in the country, it was determined that in areas that do not intersect with other activities in the open sea, there is a total of 248,221.95 hectares to implement fish farming in cages.

For this activity to be carried out successfully in Ecuador, what has happened in countries such as Canada, Norway, Taiwan, among others, must be observed and learned from them, since they have a long history of farming fish in cages, and learning from the negative aspects that the mentioned countries went through. One of the most important aspects is the environmental impact, so applying the integrated multitrophic aquaculture model (IMTA) will allow the sustainability of this new industry in our country. Additionally, the support of the government is needed to have clear rules in the execution of this activity, so that it can be promoted to attract the interest of both local and foreign investors.

Keywords: environment; mariculture; aquaculture; sustainability; fish farming

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la acuicultura tiene una gran importancia a nivel global, ya que es el sector de suministro de alimentos de más rápido crecimiento. A través de la acuicultura, los océanos, mares y aguas dulces interiores tienen un enorme potencial para proporcionar mayores cantidades de alimentos nutritivos y saludables. Esto es necesario para alimentar a una población humana en constante crecimiento, por lo que la acuicultura nos ayuda con la “seguridad alimentaria” (Springmann *et al.*, 2018). Por lo tanto, su importancia crítica se resume en alimentación, nutrición y empleo para millones de personas que luchan para mantener medios de vida razonables (Nissa, *et al.*, 2021).

Según la última información proporcionada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la producción mundial de animales acuáticos fue estimada en 178 millones de toneladas en 2020, de esta producción total, más de 157 millones de toneladas equivalentes al 89% fueron destinadas para consumo humano, las 20 millones de toneladas restantes fueron empleadas en usos no alimentarios como producción de aceite y harina de pescado, evidenciando de esta manera un gran consumo de organismos acuáticos por parte de la población humana.

De igual manera, hubo un crecimiento significativo de la producción acuícola a nivel mundial, logrando alcanzar en el 2020 un total de 122,6 millones de toneladas que engloban 87,5 millones de toneladas por parte de animales acuáticos y 35,1 millones de toneladas de algas, alrededor de 68,1 millones de toneladas fueron procedentes de la acuicultura realizada en mar abierto y en la costa, y 54,4 millones de toneladas se cultivaron en aguas continentales (FAO, 2022).

Todo este aumento en la producción acuícola ha servido para abastecer la necesidad de alimento existente y ha mejorado la capacidad del mundo para consumir alimentos diversos y nutritivos, ya que el pescado y los productos pesqueros tienen un papel crucial en la nutrición y la seguridad alimentaria mundial, pues representan una fuente valiosa de nutrientes y micronutrientes importantes para dietas diversificadas y saludables. La acuicultura ahora proporciona alrededor de la mitad del pescado para el consumo humano directo y está previsto que crezca aún más para el 2030 (Belton y Thilsted, 2014).

Existen varios sistemas de producción acuícola el más común y más extendido son los estanques, estos estanques pueden ser tanto extensivos como intensivos, pero más allá de estanques también tenemos otros sistemas de producción como, por ejemplo, los sistemas de raceways que son sistemas abiertos, en donde el agua ingresa y sale continuamente de la unidad de producción. Otro sistema de producción empleado en aquellas zonas en donde no hay tanta libertad de uso del agua son los sistemas de recirculación (RAS) los cuales son sistemas cerrados que reciclan el agua al ser pasada por un sistema de tratamiento para ser reutilizada continuamente, y por último también tenemos como sistema de producción a las jaulas que son estructuras flotantes que retienen peces mientras permiten su crecimiento (Ghamkhar *et al.*, 2021).

Las jaulas son una unidad de cultivo y al mismo tiempo un sistema de producción que cuenta con una red fabricada y abierta en la parte superior y que simplemente flota de manera anclada en un cuerpo de agua, esta puede ser construida con un armazón de madera, mimbre o alambre (Aceituno, 2022). La función básica de la jaula es retener los peces, permitiendo un intercambio de agua entre lo que es la jaula y el ambiente que la rodea (Gomez, 2017). Según Negroni *et al.*, (2018) el cultivo en jaulas se ha ido desarrollando tecnológicamente de manera rápida en los últimos 20 años, siendo así la tecnología más empleada en la maricultura.

La ubicación de las jaulas debe ser idónea, pues estas se deben ubicar en sitios que estén lejos de zonas costeras en donde existen corrientes marinas y fondos rocosos, siendo recomendando que la velocidad del agua sea de 14 m/s, si la velocidad es demasiada es un problema debido a que la fuerza de la corriente puede deformar la jaula y romper la malla (Larson *et al.*, 2022). Por otra parte, hay que tener en cuenta situaciones como el hecho de que las jaulas son sistemas intensivos, y que mientras más pequeña sea la jaula se puede tener mayor densidad, pues los peces al realizar su acción de nadar dentro de la red van a ayudar a desplazar agua, de forma que se obtiene un mayor recambio de agua de manera natural, por el contrario, cuando la jaula es de mayor tamaño no se produce un mayor recambio de agua (Xu y Qin, 2020).

El interés que tiene el Ecuador por la maricultura tiene relación con aumentar la generación de divisas con la diversificación y exportación de nuevas especies acuícolas, de manera que se eleven los niveles de inclusión económica en el país.

El presente artículo tiene como objetivos revisar los principales impactos ecológicos que surgen al cultivar peces en jaulas, profundizar en las consecuencias ambientales que trae consigo este sistema de producción en áreas marinas, y finalmente proporcionar recomendaciones que ayuden a minimizar su impacto ambiental en el ecosistema marino, buscando lograr la sostenibilidad ambiental.

ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA Y MARICULTURA EN EL MUNDO

Según información proporcionada por la FAO (2022), la producción mundial acuícola pasó de tener un total de 82,5 millones de toneladas en el 2018, a 85,2 millones de toneladas en el 2019, y posteriormente a producir un total de 87,5 millones de toneladas para el 2020 lo que nos demuestra un visible crecimiento en la producción acuícola mundial, por otro lado, y de manera específica en relación a la maricultura que engloba el cultivo en jaulas como sistema de producción acuícola se expone cifras de que en el año 2018 se alcanzó un total de 30,9 millones de toneladas, en el año 2019 una cantidad de 31,9 millones de toneladas y para el 2020 un total de 33,1 millones de toneladas evidenciando un notable crecimiento que desde luego ha ido de la mano con la tecnificación y el mejor control de los sistemas de cultivo, dando como resultado mejores tasas de producción necesarias para abastecer la demanda alimenticia existente (tabla 1).

Tabla 1. Producción mundial de la pesca y la acuicultura, utilización y comercio (FAO, 2022)

	Decenio de 1990	Decenio de 2000	Decenio de 2010	2018	2019	2020
	Promedio anual					
	Millones de toneladas (equivalente en peso vivo)					
Producción						
Pesca de captura:						
Continental	7,1	9,3	11,3	12,0	12,1	11,5
Marina	81,9	81,6	79,8	84,5	80,1	78,8
Total de la pesca de captura	88,9	90,9	91,0	96,5	92,2	90,3
Acuicultura:						
Continental	12,6	25,6	44,7	51,6	53,3	54,4
Marina	9,2	17,9	26,8	30,9	31,9	33,1
Total de la acuicultura	21,8	43,4	71,5	82,5	85,2	87,5
Total mundial de la pesca y la acuicultura	110,7	134,3	162,6	178,9	177,4	177,8

IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PECES EN JAULAS EN EL MUNDO

La importancia del cultivo de peces en jaulas radica en que el sector acuícola ha tenido que adaptarse a la presión de la globalización y a la creciente demanda de productos acuáticos ya sea en países en proceso de desarrollo o ya desarrollados. Según señala la FAO (2022) el consumo a nivel mundial de pescado por individuo se encuentra creciendo y en la actualidad alcanza una cifra de 20,5 kg por año, sin embargo, se espera que esta cifra aumente para el 2030. Masjuán *et al.*, 2017 señalan que es necesario evaluar las zonas marinas en donde se realiza el cultivo de peces en jaulas pues es una necesidad que contribuye al desarrollo de los cultivos en mar abierto ya que constituyen una fuente importante y estable de alimento de alto valor comercial.

El cultivo de peces en jaulas también tiene mucha importancia a nivel social ya que básicamente se cuenta con una fuente barata de proteína debido a que es económica de implementar, y al mismo tiempo se contribuye a la seguridad alimentaria, por otro lado, el hecho de tener alimento permite tener mejor salud y al mismo tiempo obtener bienestar en las personas porque el cultivo de peces en jaulas provee de alimento (Cuan *et al.*, 2021; Sangirova *et al.*, 2020).

Otro impacto importante del cultivo de jaulas para la comunidad es el hecho de ser una fuente de ingresos económicos, pues esto también va de la mano con la acción de ayudar a la gente de escasos recursos que viven en comunas, pues la comunidad va a obtener un desarrollo continuo al tener escuelas, caminos de acceso, etc. pues hay comunas que inclusive no llegan a tener ni siquiera electricidad, por lo que gracias a los ingresos económicos pueden implementar todos estos servicios básicos (Sierra y Maroso, 2019).

A nivel de comunidades también es importante el suceso de que las personas que viven en estas comunas, por ejemplo las mujeres pueden ayudar a lo que es el procesamiento del pescado y de esta forma obtener un rédito económico, pues hay ganancia, otra situación que puede

presentarse también es el hecho de obtener y vender la grasa del pescado, y hoy en día se realizan nuevas alternativas como el proceso de curtido en pieles de pescado para manufactura debido a la flexibilidad, resistencia y durabilidad que permite la confección de productos para la venta (Ramírez, 2019).

ESTADO ACTUAL DE LA MARICULTURA EN ECUADOR

En Ecuador, la implementación de la maricultura es reciente, pues para su desarrollo se necesitó realizar análisis de factibilidad de zonas y potencialidad de especies para cultivos en mar abierto, siendo así que para el 2010 se promulgó el Acuerdo Ministerial 407 como un instructivo para el control y ordenamiento de las actividades relacionadas a la acuicultura, después de esto, para el año 2013 se obtuvo el Acuerdo Ministerial 458 que denotaba el instructivo para el control y ordenamiento de las actividades acuícolas desarrolladas en zonas de aguas de mar, áreas marinas permisibles y fondos rocosos, marinos o arenosos, de manera que en el año 2015 finalmente se logró promulgar el instructivo de control de concesiones, ordenamiento y actividades a mar abierto en el Ecuador (CCE, 2020).

Es así que en el país se estableció un instructivo destinado al control y ordenamiento de las actividades acuícolas pues era necesario contar con políticas claras a la hora de ejercer la maricultura ya que según señalan estas normas, el cultivo de organismos marinos en jaulas flotantes solo puede realizarse a 8 millas del perfil costero, además de que se debe tener en cuenta el instructivo para la selección de especies marinas establecido por el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP, 2021) ya que es la entidad a cargo de ejecutar, coordinar, planificar e impulsar el desarrollo de la investigación científica con relación a la actividad acuícola y pesquera. El Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP, 2020) reporta que tras el proceso de zonificación marítima en el cual se incorporaron parámetros oceanográficos se definió el espacio geográfico establecido para el cultivo en jaulas, siendo así que en áreas de no intersección con las demás actividades en mar abierto, dentro de las 8 millas se destinó para el cultivo de peces en jaulas industriales 82.641,63 hectáreas, con una profundidad de entre 30 a 60 metros y para el cultivo de peces en jaulas piloto o de investigación 88.337,85 hectáreas, con profundidades de entre 20 a 30 metros, sin dejar de lado que en áreas fuera de las 8 millas hasta las 12 millas para el cultivo de peces en jaulas industriales se establecieron 77.242,45 hectáreas con profundidades de entre 30 a 60 metros.

Ecuador es sin lugar a dudas un país que cuenta con excelentes condiciones para implementar la maricultura, contando con un área potencial de 4.000 km² para poder desarrollarla, gracias a que las costas ecuatorianas reúnen deseables condiciones de profundidad, factores climáticos, vientos moderados, batimetría y velocidad de corrientes marinas (Avendaño y Pazos, 2017). Por otro lado, Álvarez y Marcillo, (2018) señalan que el desarrollo de la maricultura incentiva la producción de nuevas especies de peces, dando como resultado la diversificación en la oferta acuícola del país, además de tener en cuenta que es necesario clasificar y diversificar entre especies de peces con alto valor comercial y los de bajo valor comercial, siendo así que las especies de peces comerciales con mayor potencial para el cultivo en jaulas en Ecuador son la cobía, lisa, pargo, tilapia y huayaípe, entre otros, debido a que su carne posee un alto valor nutricional y además de esto son especies fáciles de criar en cautiverio.

En Ecuador, existen algunas empresas dedicadas a realizar cultivos en jaulas, OceanFarm S.A. es la empresa pionera en realizar maricultura, fue constituida en el 2007, pero no fue hasta el año 2014 que logró obtener las licencias ambientales por parte del Gobierno Nacional para poder ubicar las jaulas frente a Jaramijó en Manabí, delegando 35.78 hectáreas a 9.5 millas de la costa, para desplegar el cultivo en jaulas de Cobia (*Rachycentron canadum*) (MAGAP, 2013).

La compañía de Mariscos y Exportación S.A. MARDEX se convirtió en la segunda empresa que recibió una autorización para realizar maricultura, concesionando un área de 39,58 hectáreas, a 9,28 millas de puerto base de Machalilla, cantón Puerto López, provincia de Manabí, para la instalación de jaulas flotantes para el cultivo de Pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*), Huayaípe (*Seriola rivoliana*) y camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Por otra parte, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) también pone en marcha el proyecto “Maricultura y piscicultura para el fomento acuícola en el Ecuador” como alternativa para mejorar la economía de la comuna San Mateo, en Manabí, con 39,66 hectáreas, a 2,09 millas náuticas de distancia de la costa, en donde se instalaron jaulas marinas para trabajar con especies como Pargo, Cobia, Tilapia, Huayaípe y camarón (MAGAP, 2013).

Por otro lado, existen varias instituciones públicas como la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), el Centro Nacional de Acuacultura e Investigaciones Marinas (CENAIM) y el Instituto Nacional de Pesca (INP) que se dedican al desarrollo e investigación de la maricultura en Ecuador, mediante la realización de pruebas que ayudan a evaluar técnicas óptimas y condiciones de cultivo de diferentes especies en jaulas de cultivo (Vera, 2021).

IMPACTO ECOLÓGICO DE LA ACUICULTURA EN JAULAS

Desde el punto de vista ecológico hay varios criterios y riesgos al poner en práctica el cultivo en jaulas ubicadas en áreas costa afuera debido a la interacción del cultivo de peces en alta mar (Gentry *et al.*, 2017). En este proceso, se generan residuos que pueden tener impacto en el ambiente, de manera particular en la columna de agua, pues las jaulas mantienen altas densidades de organismos que generan considerables cantidades de partículas y desechos disueltos que provocan una contaminación orgánica y química, no obstante, cada tipo de residuo bajo forma de nutrientes tiene un impacto en el área marina, sin poner aparte el hecho de que existe el riesgo de que especies escapen a las poblaciones silvestres, los brotes de enfermedades y su transmisión a las poblaciones de peces silvestres y la contaminación química por el uso de productos que incluyen pesticidas, antibióticos y productos químicos industriales que son problemas importantes que merecen toda la consideración (Soto y Wurmman, 2019; Sanz *et al.*, 2021).

Fuentes de impacto procedentes del cultivo de peces en jaulas

Contaminación biológica

Entrando más en contexto, es necesario tomar en cuenta el problema que existe con la introducción de especies nativas, pues en Ecuador en abril del 2013 se entregó la concesión por parte del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuacultura (MAGAP) a la empresa Oceanfarm para criar Cobia en mar abierto de manera que estas se encuentren cautivas en jaulas, por lo que para abril del 2015 inició el proceso de producir Cobia en cautiverio en Jaramijó, Manabí, dando lugar a que cuatro meses después, se registre una fuga de ejemplares pues aunque las jaulas se encuentran diseñadas para evitar que los peces en cultivo y los silvestres interactúen, las fugas son un realidad común, por lo que este incidente fue motivo de una alerta científica en Colombia y Panamá, pues la Cobia (*Rachycentron canadum*) es un depredador voraz de hasta dos metros de largo y 80 kilos de peso que se alimenta de crustáceos, calamares y de otros peces como las corvinas (Castellanos *et al.*, 2018).

Es así que este tipo de especies introducidas pueden representar un problema inusual que va aumentando el grado de incertidumbre sobre sus efectos y el potencial para una mayor perturbación de los ecosistemas de la zona, pues hay que recordar que son organismos que van a causar una alteración en la cadena trófica de estas zonas (Lima *et al.*, 2019).

Por otro lado, otro impacto que se puede tener es la carga genética, ya que existe la posibilidad de que los animales se escapen de las jaulas, y puedan llegar a reproducirse con animales que se encuentren en la zona, pero al ser domesticados son animales que manejan una mejor tasa de crecimiento, consumen más rápido alimento, y además es mucho más estrecha la variación genética que tienen estos organismos, lo que significa que se al comenzar a mezclarse con organismos que tienen mucha variación genética provocará que se pierda ese vigor genético (Simone, 2021).

Esta situación puede ser problema real, ya que es importante que haya diversidad genética, porque finalmente cuando se tenga un problema de acuicultura se va a tener que llegar otra vez a tomar la especie que está en el medio ambiente y que viene con una carga genética diferente para hacer cruces y comenzar a mejorar lo que se tiene manipulado, es así que se debe tomar en cuenta la importancia de que animales domesticados se puedan reproducir con animales salvajes, siendo así que actualmente se trabaja mucho para tratar de minimizar este problema de la reproducción, al empezar a trabajar con animales triploides y tetraploides, ya que estos animales son estériles lo que significa que en caso de que se escapen el único problema que va a surgir será el impacto que pueden causar mientras están con vida, evitando así el problema de pérdida genética, pues existe evidencia suficiente para sugerir que cuando las especies cultivadas y silvestres se cruzan, crean una especie menos resistente (Liu *et al.*, 2012; Roberge *et al.*, 2008).

Un impacto biológico importante también involucra los brotes de enfermedades y parásitos en las poblaciones de peces en cultivo, pues estos surgen debido a la intensificación en las jaulas o las condiciones de hacinamiento, por lo que estas enfermedades pueden ir propagándose fácil y rápidamente a las poblaciones de peces silvestres que se encuentran en los alrededores de la jaula afectando directamente en la reducción de los niveles de población y en su salud (Power *et al.*, 2020).

Contaminación orgánica y eutrofización

Los cultivos en jaulas contribuyen a la contaminación orgánica, pues de estos cultivos se desprenden una serie de desechos que son descargados en el entorno marino circundante, entre estos desechos se incluye el exceso de alimentos, excrementos de peces y diversos productos químicos (Riera *et al.*, 2017).

La liberación de nutrientes inorgánicos como el nitrógeno y fósforo, además de desechos nitrogenados como el amoníaco en el medio marino puede contribuir al aumento de la carga de nutrientes (Wang *et al.*, 2022). Esta carga de nutrientes conlleva a que se produzca eutrofización la cual aparece cuando hay una acumulación de nutrientes y da como resultado una reducción de oxígeno necesaria para estimular el crecimiento de algas que se encuentran en el medio marino (Qi *et al.*, 2019).

La eutrofización es considerada un problema acumulativo, pues en áreas de cultivo de alta densidad, la eutrofización plantea preocupación por la sostenibilidad ambiental de la maricultura, todo esto debido a que esta afecta el ambiente marino en una escala de kilómetros a decenas de kilómetros y puede cambiar significativamente el funcionamiento y la estructura del ecosistema, perjudicando a los organismos marinos salvajes en el proceso (Qi *et al.*, 2019).

El cultivo en jaulas al ser un sistema intensivo requiere de altas cantidades de alimento, del cual una proporción se pierde, ya sea debido a que no es ingerida, por sobrealimentación o bien sea por una mala gestión de la administración o la dieta, esta cantidad de alimento no ingerida tiene efectos que dependen del tipo de alimento con el que se trabaja y con la cantidad perdida, sin

dejar de lado que el alimento que si es consumido influye de gran manera en la excreción particulada y soluble del alimento no digerido que termina incorporándose al medio marino (Sim *et al.*, 2021).

La composición del alimento para peces es otra preocupación de sostenibilidad y un factor que puede afectar la salud ambiental marina, pues para su elaboración se requiere capturar peces salvajes. Existe una gran demanda de harina de pescado debido a que es el principal componente proteico de los piensos utilizados en la acuicultura. Esta harina se produce a partir del procesamiento industrial de subproductos pesqueros, como despojos, cabezas y espinas de pescado, por lo que su producción es bastante insostenible, ya que en la mayoría de los casos fomenta la sobrepesca, siendo esta reconocida como una amenaza potencial en términos de sostenibilidad, ya que el uso de material de pescado crudo es costoso y disminuye las poblaciones de peces silvestres (Hleap *et al.*, 2017).

Contaminación química

El cultivo en jaulas provoca una grave contaminación ambiental a través de los metabolitos y los residuos de los peces. Es más, la aplicación de agentes terapéuticos como los antibióticos es de mucha consideración, pues estos se aplican cuando el cultivo está controlado y regulado por lo que en sí, la aplicación de medicamentos no es un problema, pero el hecho de aplicar antibióticos sin la regulación adecuada, sin haber realizado un antibiograma para saber cuál antibiótico es realmente efectivo, y luego calcular la cantidad mínima inhibitoria, ha provocado que existan muchos peligros en el momento de estimar la cantidad necesaria de estas sustancias, porque paulatinamente se está provocando resistencia a los antibióticos (Wu *et al.*, 2019)., además se altera la flora bacteriana natural esencial para la salud de las redes alimentarias ecológicas (Rubio *et al.*, 2019).

Por ejemplo, el utilizar antibióticos sin las medidas adecuadas ha hecho que en la actualidad se necesiten dosis muy altas de antibióticos de hasta 10 kilogramos por kilo de alimento balanceado en los cultivos en jaulas (Haland *et al.*, 2022). Por otro lado, hay que tener en consideración que las jaulas marinas de mayor calado y mayor medida van a estar en aguas más profundas, lo que provoca que ese antibiótico permanezca mucho más tiempo en el sedimento debajo de las jaulas, y sea arrastrado varios metros por las corrientes siendo parte de la zona de influencia de la jaula (Han *et al.*, 2021).

El antibiótico para cultivos en jaulas es aplicado exclusivamente en el alimento, ya que las fábricas de piensos comerciales los pueden incluir a requerimiento de los productores. La industria del cultivo de jaulas ha aprendido mucho sobre el manejo de antibióticos logrando que cada vez haya mayor control, ya que se prioriza trabajar en un ecosistema manejado, y en este contexto, las jaulas son ecosistemas de producción parcialmente manejados porque igualmente los desechos se van fuera de ellas, y es cuando pueden aparecer problemas en las zonas cercanas a donde se encuentran ubicadas (Kalantzi *et al.*, 2020).

La contaminación química también incluye otros productos químicos como desinfectantes, pesticidas, alguicidas, herbicidas, antibacterianos, medicación antiparasitaria o quimioterápicos para eliminar piojos de mar o bacterias, además de pinturas antiincrustantes a base de cobre que se denominan antifouling, y que al liberarse al medio ambiente circundante en concentraciones tóxicas ya sea por uso indebido o, en algunos casos, incluso siguiendo los procedimientos de uso generalmente aceptados, logran tener un impacto tóxico para los organismos en cultivo y los organismos salvajes que habitan en los alrededores al provocar mortalidades sin ser los organismos objetivos (Daffon *et al.*, 2011).

IMPACTOS NEGATIVOS DEL CULTIVO DE PECES EN JAULAS OBSERVADOS EN DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO

Canadá

Canadá es un país que se dedica en particular a la cría de salmón del Atlántico y mantiene una industria muy importante, ya que El método más común de cultivo de salmón en Canadá involucra estructuras llamadas corrales o jaulas de red abierta. Los cultivos en jaulas se consideran un método de acuicultura de altos impactos ecológicos como los siguientes registrados en Canadá:

Con respecto a la transmisión de enfermedades y otras amenazas para las poblaciones de peces silvestres, se registra que en Canadá los piojos de mar constituyen una amenaza común en sus cultivos pues son parásitos que a menudo son difíciles de eliminar, además pueden matar altas poblaciones de peces en cultivo, aunque también hay otras enfermedades como la inflamación del músculo esquelético y del corazón que puede propagarse. Estudios realizados han evaluado que la enfermedad de la inflamación del músculo esquelético y el corazón causada por el agente *Piscine orthoreovirus* (PRV), se estaba propagando del salmón cultivo al salmón salvaje en el Pacífico oriental, con riesgos directos en la supervivencia y reproducción del salmón salvaje del Pacífico (Morton *et al.*, 2017).

Entre otros impactos ecológicos que han tenido lugar en Canadá está el hecho de que pueden existir fugas del salmón del Atlántico al medio marino, pues así ocurrió en agosto de 2017 cuando cerca de Bellingham en Washington se declaró un estado de emergencia después de que colapsara una piscifactoría que dio lugar al escape de 300.000 salmones del Atlántico debido a una falla en la jaula (CBC News, 2017). Este tipo de problemas son serios pues el salmón del Atlántico es considerada una especie invasora por lo que se requirió implementar una tecnología mejorada para asegurar las redes de las jaulas de manera que se potencializó la seguridad. Hoy en día, las instalaciones de cultivo en jaulas utilizan una variedad de métodos para evitar escapes y limitar los impactos si los peces de cultivo ingresan a un ecosistema. Las granjas usan cámaras a control remoto y vehículos de reparación para reparar las áreas dañadas de las redes (Thorstad *et al.*, 2008).

Con respecto a la carga de nutrientes por parte del cultivo de salmón del Atlántico en Canadá no representa un gran impacto pues resulta relativamente pequeña en comparación con las principales fuentes de contaminación a nivel nacional, sin dejar de lado que la eutrofización es considerada un problema acumulativo que puede traer consecuencias con el pasar del tiempo (Strain, 2005).

Considerando que la composición del alimento para el salmón en cultivo resulta preocupante a nivel de sostenibilidad, los fabricantes de balanceado han trabajado en elaborar piensos empleando ingredientes de fuentes sostenibles, como verduras y proteína de soja, como sustitutos de los ingredientes a base de pescado, por lo que en los cultivos de salmón canadienses ahora se usa menos del 30% de harina y aceite de pescado en su alimento balanceado (Goldburg *et al.*, 2001).

En Canadá existen varios productos químicos que tienen permitido su uso en la maricultura, esto incluye antibióticos, pesticidas y hasta productos químicos como pinturas antiincrustantes, este uso de químicos puede afectar negativamente a la biodiversidad y las especies salvajes (Goldburg *et al.*, 2001). En los cultivos en jaulas se usan redes de nylon, las cuales tienen un alto potencial de ensuciarse debido a que ciertos organismos se adhieren a ellas, lo que causa daños en la estructura y taponamientos por parte del fouling que es un aglomerado bacteriano

en donde comienza a crecer fitoplancton que obstruye el ojo de la malla (Scott, 2004). Como solución a esta problemática se utilizan pinturas antiincrustantes a base de cobre, por ende, tienen contacto con el medio marino y afectan a los organismos salvajes que habitan en el área, pues este tipo de productos son considerados de alta toxicidad para organismos filtradores como mejillones, ostras, bivalvos y hasta peces (Burrige, 2003).

Según las regulaciones canadienses en cuanto al uso de antibióticos, se debe seguir el modelo del uso responsable de antibióticos aplicado en países como Noruega, pues este país tiene una de las tasas más bajas en el uso de antibióticos en el cultivo de peces, proporcionando un alto estándar para sus cultivos (WHO, 2015). A nivel mundial, ha habido un interés creciente en el uso de terapias alternativas a los antibióticos y productos químicos, esto incluye vacunas, inoculantes microbianos y probióticos, que tienen los beneficios de mejorar la calidad del suelo y del agua, además de minimizar el riesgo de infección bacteriana (FAO, 2006).

Chile

La industria acuícola chilena ha ido creciendo exponencialmente desde fines de la década de 1980, principalmente debido al aumento de la producción de salmónidos, convirtiéndolo al país en el segundo productor de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y el primer productor de salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) en el mundo, además de producir trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). (Avendaño, 2018).

Estudios realizados en Chile, demuestran que entre los principales impactos del cultivo de salmón está la pérdida de oxígeno que se genera en el agua, pues esto conlleva a la muerte de especies salvajes en los alrededores del área, situación que tiene lugar cuando las heces y el exceso de alimento suministrado a los peces caen al fondo del océano y se van acumulando, generando un enriquecimiento de nutrientes que desencadena una proliferación de fitoplancton que al morir cae sobre el lecho marino y es consumida por bacterias que agotan el oxígeno del agua provocando hipoxia que transforma el fondo en una especie de lodo (Häussermann *et al.*, 2013).

A principios de 2016, hubo florecimientos elevados y persistentes de algas nocivas (FAN) como *Pseudochattonella cf. verruculosa* y *Alexandrium catenella*, esto se produjo en los ecosistemas estuarinos y marinos del sur de Chile, siendo seguidos por otras algas nocivas que provocaron una mortalidad masiva de peces y mariscos cerca de la isla de Chiloé, causando que surja preocupación en las comunidades debido a la eutrofización causada por la acuicultura (León *et al.* 2007).

Como posible solución a esto, se planteó hacer un cambio o rotación en la ubicación de los cultivos de jaulas cada cierto tiempo, con el fin de que la zona con impactos negativos se recupere, además esta práctica ha demostrado ser ventajosa en el control de enfermedades por lo que resulta válida, por otro lado, se planteó mejorar el alimento reemplazando la proteína por lípidos, para reducir el nitrógeno expuesto al medio, también utilizar proteína vegetal y así disminuir los niveles de fósforo, así como también la implementación de alternativas inteligentes como sistemas de alimentación que detectan la saciedad de los peces y por último, el desarrollo de sistemas como la acuicultura integrada que se basa en un sistema de policultivo que integra componentes biológicos como moluscos y algas que ayudan a disminuir los impactos de las jaulas utilizándolos para su propio beneficio (Buschmann y Pizarro, 2001).

Otra afectación con el cultivo de peces en jaulas en Chile es el tema de la medicación antiparasitaria que se emplea contra los piojos marinos *Caligus rogercresseyi*, o los antibióticos para combatir infecciones causadas por la bacteria *Piscirickettsia salmonis* pues según Urbina

et al., (2018) estos productos que se le aplica al salmón también inhiben el desarrollo de las larvas de otros crustáceos. Para el año 2008, la industria chilena estuvo bajo críticas internacionales debido a las malas prácticas ambientales y el uso excesivo de antibióticos (Barton y Fløysand, 2010).

Como consecuencia de todo esto, en el 2016 el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile (SERNAPESCA) empleo un programa de certificación a granjas de salmónes marinos libres de antibióticos, de manera que en la actualidad SERNAPESCA ha certificado 63 salmoneras libres de antibióticos (Lara *et al.*, 2018).

Otro problema es la gran cantidad de salmónes que se escapan de las jaulas marinas en las que se crían, pues según estimaciones más de 900.000 ejemplares de salmón escapan anualmente de los cultivos en jaulas en Chile (Sepúlveda *et al.*, 2013). Durante los últimos años se ha disminuido la magnitud de escapes por parte de salmónes del Atlántico y Coho, sin embargo, las truchas arcoíris no siguen el mismo patrón, pues se ha convertido en una amenaza para los ecosistemas nativos ya que tiene la facilidad de establecer poblaciones autosostenibles (Sepúlveda *et al.*, 2013).

Para el año 2019 se han reducido los eventos de escape en comparación a los últimos 5 a 10 años, debido a la mejoría de las estructuras de las jaulas y manejo, sin embargo el 5 de julio de 2018 se produjo un escape en la isla Huar frente a Puerto Montt, en donde aproximadamente 800.000 peces adultos, con un peso promedio de 3,4 kg lograron escapar, y tan solo 250.000 peces vivos pudieron ser recuperados y otros extraídos por pesca artesanal pudiendo causar estragos en las comunidades de la zona que pescaron estos organismos ya que una fracción de estos peces había sido tratada días anteriores con antibiótico (Quiñones *et al.*, 2019).

En el año 2020, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (Subpesca) estableció un reglamento nuevo con el fin de minimizar los escapes de salmónes y el riesgo de que las jaulas se hundan, todo esto detonando en una mayor exigencia en las estructuras de cultivo, pues con esto se busca que los corrales de red no sean dañados por mareas, depredadores, tormentas, corrientes y equipos de cultivo, por lo que el reglamento establecido expone que las empresas salmoneras tienen obligaciones y responsabilidades sobre lo que ocurra con las jaulas, las estructuras deben ser verificadas semestralmente y además se debe obtener la certificación anual de las instalaciones de manera que se garantice el correcto desarrollo de la actividad (SUBPESCA, 2020).

Noruega

Actualmente Noruega es el mayor productor de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en cultivos de jaulas a nivel mundial, con 1,2 millones de toneladas anuales (FAO, 2022), aunque también se dedica al cultivo de bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y el halibut (*Hippoglossus hippoglossus*).

Esta industria ha desencadenado impactos ambientales catastróficos dentro del país a lo largo de los años, pues actualmente la población de salmón salvaje se estima en 530.000 peces viéndose reducida a la mitad en los últimos 20 años y catalogando a los cultivos en jaulas en mar abierto como una gran amenaza para las poblaciones silvestres, especialmente por los escapes de aproximadamente 200.000 peces anuales (Kutti *et al.*, 2007; Taranger *et al.*, 2014).

Debido a estos escapes se debilita y reduce la supervivencia y producción del salmón silvestre (Skilbrei *et al.*, 2014). Investigaciones realizadas han demostrado que más del 71% de los ríos noruegos se han visto afectados por el mestizaje, pues la contaminación genética se encuentra

a un nivel crítico en el 29% de los ríos, de manera que la integridad genética de los peces silvestres está teniendo una modificación a la de los peces de cultivo. Otro estudio realizado en este país indica que 21 de 34 poblaciones de salmón silvestre evaluadas indican un riesgo alto de introgresión genética de salmones que han escapado del cultivo (Glover *et al.*, 2013).

Un estudio reciente realizado en Noruega evidencia que las epidemias de piojos de mar han matado a más de 50.000 salmones salvajes entre 2010 y 2014 (Greaker *et al.*, 2020). Por otro lado, una investigación realizada en las costas noruegas señala que de 109 estaciones evaluadas para determinar si había infección de piojos de salmón, 27 arrojaron como resultado probabilidad de mortalidad de moderada a alta en el caso del salmón, y 67 resultaron en mortalidad de moderada a alta para trucha marina salvaje (Serra *et al.*, 2014).

En la actualidad Noruega lleva un modelo del uso responsable de antibióticos, pues maneja una de las tasas de uso de antibióticos más bajas de los países que crían peces en jaulas (WHO, 2015). Noruega en la década de 1980 desarrolló como alternativa al uso de antibióticos, una vacuna eficaz contra la furunculosis en el salmón que tras varias pruebas no causó efectos secundarios en los seres humanos, a partir de esto fue que desde 1994 todos los piscicultores en Noruega tratan de emplear vacunas para el control de patógenos antes que hacer uso de antibióticos, dejando estos últimos solo para tratar infecciones (WHO, 2015). Adicionalmente se está haciendo uso de peces limpiadores como el Durdo (*Labrus bergylta*) que se alimentan de piojos de mar (Jackson *et al.*, 2013).

En cuanto a la gran cantidad de desechos que ingresan al océano, de 500 estudios realizados anualmente de carga orgánica local en cultivos de peces en jaulas, solo el 2% de ellos mostró condiciones pésimas en el 2013, proporcionando al gobierno noruego una base para tomar decisiones para un mayor desarrollo de la industria acuícola. En este sentido, el Ministerio de Pesca y Asuntos Costeros señaló que “el impacto ambiental de la acuicultura debe mantenerse en un nivel aceptable y estar dentro de la capacidad de asimilación del área” (Garseth *et al.*, 2017).

Para concluir se puede decir que Noruega ha explotado a sobremanera su ambiente marino con fines lucrativos, lo cual ha causado efectos irreversibles y catastróficos, cayendo en una situación muy grave a tal punto que el gobierno ha tenido que prohibir licencias para la ubicación de nuevas granjas o cultivos de peces en jaulas y solo conceder licencias a empresas que trabajan con métodos de producción sostenibles con el medio ambiente en contención cerrada, lo cual ha dado lugar a que varias empresas noruegas se trasladen a Islandia (Grefsrud *et al.*, 2021).

Grecia

Grecia es actualmente el mayor productor de lubina europea (*Dicentrachus labrax*) y dorada (*Sparus aurata*) en la región, del mismo modo Grecia es el país mediterráneo más desarrollado en términos de acuicultura en jaulas con más de 300 sitios de producción autorizados debido a la gran disponibilidad que se tiene de zona litoral y la cantidad de sitios protegidos, sin embargo se evidencian impactos ecológicos registrados en zonas aledañas a los cultivos de peces en jaulas (Konstantinidis *et al.*, 2020).

Un estudio realizado en una piscifactoría marina en el golfo de Argolikos (Grecia) sobre la columna de agua y el sedimento dio como resultado que las mayores concentraciones de nutrientes como nitrógeno y fósforo fueron observadas justo debajo de las jaulas de peces, en el sedimento (Mantzavrakos *et al.*, 2007). Esto lleva a que se incremente la turbidez por la presencia masiva (floramiento) de microalgas, que en casos extremos puede generar problemas

de crecimiento en las especies cultivadas. Siendo así que, los efectos más comunes del cultivo de peces en jaulas en este país se relacionan con problemas de eutrofización local (Porrello *et al.*, 2005).

Adicionalmente, la acuicultura en jaulas en Grecia muestra un alto nivel de agregación espacial pero con una intensidad relativamente moderada de impactos debido a las restricciones legales, que juegan un papel crucial en el control de la distribución de la actividad a escala local, regional y nacional, pues la legislación proporciona directrices para el desarrollo de la industria, incluida la planificación espacial descrita y la participación de las partes interesadas para tomar decisiones a nivel local y regional durante la etapa de concesión de licencias para realizar maricultura, ya que al notarse alguna fricción en el debate de la etapa de concesión de licencias que pueda provocar impactos por parte de las piscifactorías ralentiza la finalización de la concesión (Macías *et al.*, 2019).

La legislación griega también proporciona definiciones detalladas sobre la piscifactoría, el parque y los arreglos de jaulas. La distancia entre los parques de una unidad puede ser entre 100 y 250 m y superior a 500 m entre las unidades, además, la capacidad de carga permitida en relación con el volumen funcional de una ubicación específica en la práctica o el área arrendada está controlada por varios parámetros, como la velocidad de las corrientes, la geomorfología debido a la apertura/exposición de una ubicación a mar abierto, batimetría y distancia de la granja desde la costa, etc. (Papageorgiou *et al.*, 2010).

En Grecia, aunque el régimen legal es reciente, las piscifactorías marinas griegas operan bajo las especificaciones legales. Grecia tiene las ventajas competitivas de condiciones ambientales adecuadas y morfología costera y experiencia en acuicultura para convertirse en un sector de producción primario e innovador, siendo una prioridad nacional (Frentzos, 2013).

Taiwan

La mayoría de las áreas de acuicultura de Taiwán se encuentran en alta mar y en áreas costeras, con la acuicultura cubriendo un área de 44.000 hectáreas. El cultivo en jaulas representa 354.500 m³ y en los últimos años el rendimiento de estas jaulas se ha mantenido en 22.000 TM, lo que representa aproximadamente el 2,51% de la producción pesquera y de cultivo de Taiwán (Taiwán Fisheries Yearbook, 2020). El mayor desarrollo del cultivo en jaulas de Taiwán ocurrió en 1988, principalmente en las áreas litorales de Penghu y Pingtung, con un rendimiento máximo de más de 5.000 TM (Tang *et al.*, 2002) sin embargo, las instalaciones de cultivo y las técnicas de gestión de cultivo en ese entonces eran inmaduras.

En Taiwán se desarrollan cultivos de peces en jaulas que producen especies como Cobia, dorada, mero, pámpano y cola amarilla (*Seriola dumerili*) implementando técnicas y tecnologías avanzadas, sin embargo, esta actividad se enfrenta a desafíos como leyes y regulaciones inapropiadas, además de impactos ambientales potenciales (Chen y Hsu, 2006).

Entre los principales problemas que se han observado está el enriquecimiento de nutrientes, debido a las altas concentraciones de nitrógeno y carbono que se descargan del cultivo de peces en jaulas y que representa una amenaza para las especies que se encuentran en las inmediaciones de las granjas, pues debido a la ausencia de control regulatorio hay poca presión económica para tratar estos desechos y de igual manera pocas granjas en Taiwán tienen formas de tratar desechos, teniendo en cuenta que la selección cuidadosa del sitio puede garantizar que el impacto sea mínimo en el área (Troell y Norberg, 1998; Miao *et al.*, 2008).

Por otro lado, también se ha dado el escape de los peces debido a los tifones que se presentan todos los años en el país, pues estos causan grandes daños a las jaulas. Según la ubicación geográfica de Taiwán de dos a tres tifones pasan anualmente, por lo tanto, los cultivos de jaulas se concentran en la cuenca de Penghu o en las aguas costeras de Pingtung para evitar el impacto y facilitar las operaciones rutinarias (Holm *et al.*, 2017). Debido a los tifones o las fuertes lluvias, la fuente de contaminación terrestre a menudo se lleva al área del mar de Pingtung, lo que daña las jaulas de red y los organismos cultivados (Ho, 2022).

Para mitigar estos problemas el gobierno de Taiwán ha investigado las características marinas de la zona donde se pueden ubicar jaulas por ende Taiwán busca superar los riesgos que trae consigo los fuertes vientos y la velocidad del flujo en mar abierto a través de la automatización de equipos, tecnología inteligente, reproducción genética y producción de vacunas para evadir los impactos ambientales e impulsar el desarrollo de los cultivos (Cromeey *et al.*, 2009).

Taiwán es un país que enfrenta grandes desafíos pues la ley de pesca encargada de regular la pesca de captura también se aplica a la piscicultura marina y es desfavorable para el desarrollo del cultivo en jaulas, pues existen problemas para negociar el uso exclusivo del agua para los cultivos debido a que Taiwán está densamente poblado y se cuenta con un número limitado de áreas de cultivo que sean adecuadas, por ende los cultivos en jaulas ciertamente se desarrollaran hacia áreas alejadas y de aguas profundas (Klinger y Naylor, 2012). Además de que otros factores que desafían el desarrollo de los cultivos en jaulas son la falta de seguro y apoyo financiero por parte del gobierno (Zhao *et al.*, 2019).

En el año 2016 se realizó una encuesta por parte de la FAO para saber cuáles países son adecuados para el desarrollo de cultivos en jaulas evaluando condiciones como el caudal, área marina rentable y profundidad del agua, en este caso Taiwán ocupó el tercer lugar considerándose así con gran potencial para el desarrollo de la acuicultura en jaulas (Lan *et al.*, 2022).

Indonesia

La maricultura en Indonesia incluye especies de peces como mero jorobado (*Cromileptes altivelis*), mero pardo (*Epinephelus fuscoguttatus*), lubina, pargos, al igual que algas marinas como *Eucheuma spp.* y *Gracilaria spp.* El cultivo de peces en jaulas se desarrolla en áreas que incluyen la Isla de Sumatra, Java, Sulawesi y Kalimantan, pues estos cultivos constituyen una fuente principal de ingresos por ventas a nivel nacional e internacional, sin dejar de lado que estos cultivos llegan a tener impactos ambientales negativos para los ecosistemas como eutrofización, propagación y amplificación de enfermedades, introducción de especies invasoras, liberación de productos químicos y antimicrobianos, entre otros (Yoshida *et al.*, 2017).

Según un estudio realizado en el año 2005 en el oeste de Java, Indonesia con respecto al cultivo de jaulas dio como resultado una carga sustancial de nutrientes (nitrógeno y fósforo) señalando que la alta producción de cultivo en jaulas produjo la muerte de peces en los embalses y jaulas, pues existen casos de que en Indonesia existen cultivos de peces en muy malas condiciones pues los peces están sujetos a situaciones estresantes y dolorosas en piscifactorías, por otra parte, también se ha observado la disminución drástica de capturas de peces salvajes, por lo que se ha hecho énfasis en determinar el número máximo de jaulas para ubicar en determinadas zonas para así mantener sostenibilidad a largo plazo para las operaciones de cultivo en jaulas y las pesquerías silvestres (Abery *et al.*, 2005).

En concordancia con lo anteriormente expuesto, la ubicación adecuada de las jaulas y la reducción de las densidades dentro de áreas localizadas pueden permitir un aumento en las capacidades de producción total y también pueden ayudar a mejorar la calidad del agua (Costa-Pierce, 1998). Todos los operadores de jaulas viven en alojamientos en los sitios de las jaulas y este es un factor que no se ha tenido en cuenta pues aquí hay una carga de nutrientes resultante de estos hogares, que probablemente sea significativa (Aizonou *et al.*, 2021).

Debido a que las algas marinas tienen una función ecológica para mejorar las condiciones del medio ambiente marino, se desarrolla el cultivo de algas marinas en muchas áreas de Indonesia, pues estas juegan un papel importante en el reciclaje de nutrientes, de hecho, de cualquier nitrógeno y fósforo de desecho, no solo de las granjas acuícolas (Sorgeloos, 2002).

Con respecto a las leyes que maneja Indonesia es necesario tener en cuenta que el capítulo 8 de la Ley n.º 31/2004 de Indonesia establece que el propietario de la granja de acuicultura, el representante del propietario y/o la persona responsable que dirige el negocio de la acuicultura no puede utilizar productos químicos, agentes biológicos, materiales explosivos, equipos y/o construcciones que puedan perjudicial y/o amenaza la sostenibilidad de los recursos pesqueros y/o sus entornos del área de gestión pesquera en la República de Indonesia (Indonesian Act, 2004).

ACCIONES Y CONSIDERACIONES PARA DISMINUIR EL IMPACTO DE LA ACUICULTURA EN JAULAS

Desde el punto de vista ambiental, hay que tomar en cuenta que el cultivo de jaulas tiene principalmente como efecto negativo el enriquecimiento de nutrientes, pues el alimento es el principal impacto debido a que ingresa diariamente, los peces en encierro realmente no impactan, sin embargo el alimento no consumido, la excreción a través de las branquias y también los desechos sólidos como las heces, generan un impacto negativo, unido a que puede haber uso de agentes químicos/terapéuticos en el alimento, por ende es necesario considerar acciones para minimizar estas situaciones (Liao *et al.*, 2019).

Primero es necesario controlar la cantidad total de las explotaciones piscícolas, es decir regular cuantas jaulas o cuantas granjas de acuerdo a sus dimensiones van a estar en un área determinada asumiendo cuantas jaulas se pueden ubicar y cuanta producción podrían sostener, haciendo una estimación de cuál es la capacidad de esa área para asimilar la carga de nutrientes y los demás impactos que podrían surgir (Vergara y Domínguez, 2005).

Por otro lado, también se debe garantizar que la distribución de las jaulas sea apropiada considerando el cuerpo de agua, pues la profundidad de la zona donde se colocaran las jaulas debe tener mínimo de 30 a 50 metros, y el tipo de sustrato de la zona debe ser rocoso. Con el objetivo de prevenir la transmisión de enfermedades y plagas, las jaulas deberían ir en forma lineal y la distancia entre ellas debería ser de por lo menos 10 metros, y la distancia entre la jaula y el fondo de por lo menos de 15 metros, eso es lo que se recomienda desde el punto de vista medio ambiental para minimizar los impactos, además la distribución de ellas no debería ser tipo tablero de ajedrez para de esta manera evitar que haya contaminación cruzada (Domínguez y Domínguez, 2012).

También es importante desde el punto de vista ambiental el hecho de elegir la especie más adecuada en razón al comportamiento alimenticio, esto ayuda mucho con la información del tipo de alimento que se va a utilizar (Rendón *et al.*, 2014). Otra situación que también es importante es que se debe mejorar la técnica de alimentación, en este caso ya adoptar métodos más adecuados, más técnicos y científicos, para aplicar el balanceado y además también para

controlar lo que es el factor de conversión alimenticia (FCA), ya que se relaciona directamente con el costo de producción (Manríquez y Romero, 1993).

Se debe mejorar la fórmula del alimento, si se da el caso trabajar con alimentos flotantes de alta calidad, y bajos en desechos con lo cual también va a reducir los residuos, entonces esto es más importante todavía, más allá de mejorar la formulación lo más importante es tener seguro el hecho de que ese alimento va a aportar la menor cantidad posible de nutrientes, siempre y cuando tenga las condiciones nutritivas adecuadas para el organismo en cultivo (Vergara y Domínguez, 2005). En esta situación hay que hacer mucho énfasis pues es realmente importante mejorar la calidad del alimento, con calidad del alimento se refiere de manera específica a la proteína, pues no necesariamente tiene que ser la proteína más alta, tiene que ser un mejor perfil de proteína para de esa forma reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo que son el real problema del alimento en sí (Hardy y Castro, 1994).

Las actividades que se hacen en una jaula producen residuos concentrados en el fondo marino, pues entre esas actividades lo más notorio es la descarga de nutrientes, fósforo y nitrógeno, e inclusive gracias a las jaulas también hay deforestación en zonas costeras, y obviamente que otra actividad negativa de los cultivos en jaulas, es el abuso del uso de antibióticos ya que animales a altas densidades son más proclives a enfermarse o transmitir enfermedades entre ellos (Soto y Wurmann, 2019). Otro detalle también tiene que ver con el aumento de la turbidez debido al aumento de fitoplancton, si bien es cierto el aumento de fitoplancton debería proveer mayor oxígeno, pero no es cierto, es contradictorio, porque al mismo momento que existe mayor turbidez hay menos transmisión de luz en esa columna de agua, lo que significa que va a haber menos fotosíntesis, con lo cual también disminuye la concentración de oxígeno (Sabdono *et al.*, 2019).

Otro asunto también está en sembrar animales que sean adecuados para el tipo de agua, hay que recordar que es importante que se considere inclusive la opción de colocar una cantidad mínima de otro tipo de peces para que ayuden a consumir el fouling que puede crecer en las jaulas, teniendo siempre presente que es muy necesario mantener la jaula limpia para evitar que disminuya el flujo de agua (Greene y Grizzle, 2007).

Por otro lado, también se pueden utilizar plantas acuáticas por ejemplo macroalgas pues en base a esto se plantea la acuicultura multitrófica integrada que se ve realmente como una respuesta positiva para los impactos negativos que trae consigo el cultivo de peces en jaulas (Olsen *et al.*, 2012).

La acuicultura multitrófica integrada, con sus siglas en español AMTI, se basa en utilizar subproductos que serían en este caso los desechos de una especie que se van a reciclar para convertirse en insumos, sea fertilizante o alimento de otra especie, por ejemplo para ponerlo en condiciones de maricultura se está hablando de que el cultivo de peces se va a combinar con la acuicultura extractiva inorgánica, por ejemplo algas, porque se trata en este caso de nutrientes disueltos en el agua, y también se combina con la acuicultura extractiva orgánica por ejemplo moluscos, porque los moluscos cuando abren sus valvas filtran el agua y van consumiendo fitoplancton, bajo este criterio se observa como de una u otra manera se mejora la situación presente pues se están consumiendo todos los desechos expulsados en forma de nutrientes y se está produciendo un nuevo producto que también tiene valor económico (Naspirán *et al.*, 2022).

Como un ejemplo más específico se tiene el hecho de que al tener un cultivo de peces en jaulas se debe emplear alimento y el alimento no consumido termina en el fondo como materia orgánica, por ende aquí es donde la acuicultura multitrófica integrada hace su función al

combinar la acuicultura extractiva en suspensión, pues por el lado orgánico se emplea filtradores que ayuden a retener el fitoplancton que crece en grandes cantidades debido al exceso de nutrientes, y por el lado inorgánico se emplea macroalgas para que consuman el resto de nutrientes que no fue consumido de manera directa, de esta manera se está controlando el impacto del cultivo de peces en jaulas en la columna de agua y sus alrededores, sin embargo también existen problemas en el fondo, justo debajo de la jaula, por lo que aquí entra en función el depósito de acuicultura extractiva que emplea invertebrados como es el caso de pepinos de mar, pues se hace un pequeño encierro en la zona que tiene influencia de la jaula y se colocan los organismos como el pepino de mar, erizos de mar o también caracoles marinos, pues estos organismos ayudan a consumir el detritus y de esta forma mejoran el ecosistema bentónico (fondo), existiendo de esta manera un beneficio mutuo (Fig. 1) (Paolacci *et al.*, 2022).

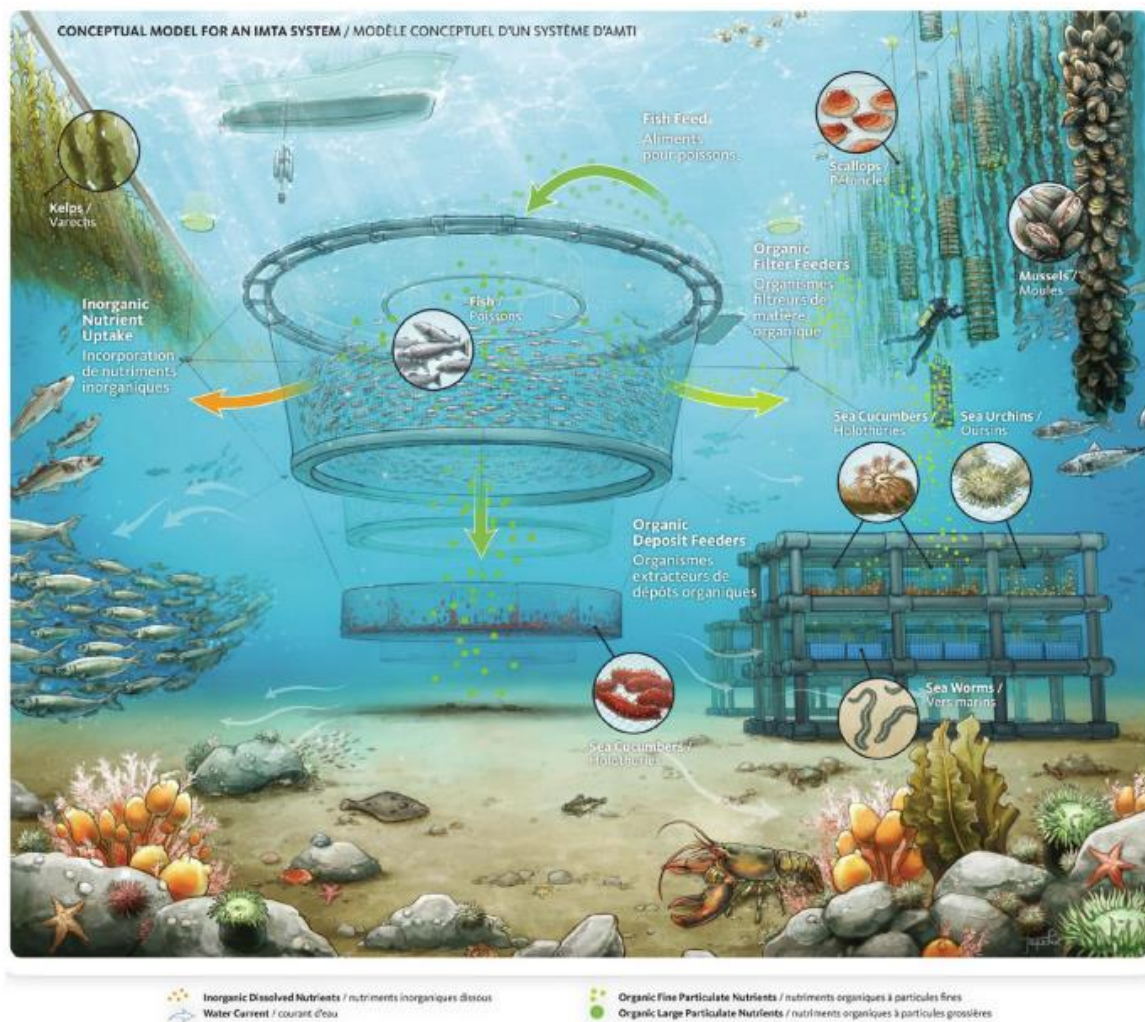


Figura 1. El proceso de acuicultura multitrófica integrada combina niveles tróficos que comparten el medio ambiente y aprovechan los nutrientes orgánicos e inorgánicos puestos a disposición por los diversos organismos. Fuente: (Reid *et al.*, 2018)

LECCIONES APRENDIDAS - ¿QUE DEBE HACER ECUADOR EN CUANTO A LA ACUICULTURA EN JAULAS?

Contaminación biológica

En base a sucesos expuestos por países como Canadá, Chile, Noruega, Grecia, Taiwán y la negativa experiencia vivida en Ecuador en cuanto a la fuga de peces pertenecientes a cultivos

en jaulas por parte de la empresa Oceanfarm en el año 2015, se enfatiza en la importancia de trabajar preferentemente con especies nativas, para evitar el impacto en los ecosistemas por los escapes, pues las especies introducidas representan un grave problema a nivel ambiental debido al impacto directo a las poblaciones de peces naturales o salvajes; y también hay un impacto social debido a la disminución de peces en áreas determinadas por la depredación de estos organismos escapados, lo cual disminuye la cantidad de pesca para los pescadores artesanales que subsisten de esta actividad. Otra recomendación es que en caso de trabajar con especies introducidas se trate de que sean de impacto mínimo o endebles, por ejemplo, organismos que sean incapaces de reproducirse, para lo cual se trabajaría con animales triploides y tetraploides, los cuales son organismos estériles evitando así la pérdida genética. Por otro lado, siguiendo el ejemplo de Chile se puede establecer reglamentos por parte del gobierno con el objetivo de reducir escapes, exigiendo mayor resistencia en las estructuras de cultivo, y poniendo normas como la responsabilidad directa de las empresas en caso de escapes, así como también la verificación semestral y certificación anual de las instalaciones. Tomando en cuenta el caso de Taiwán con respecto a los escapes de peces, se sugiere evaluar las condiciones climáticas de las zonas donde se ubiquen los cultivos en jaulas para evitar grandes daños en las estructuras de las jaulas. De manera similar, otra recomendación que se podría tener en cuenta basándonos en lo ocurrido en Canadá, es mejorar la tecnología de manera que se potencialice la seguridad de las jaulas.

Otro tipo de contaminación biológica involucra la propagación de enfermedades y parásitos presentes en los cultivos de peces en jaulas, por lo que es importante tener en cuenta la apropiada distribución de las jaulas, ubicándolas de forma lineal y a una distancia mínima de 10 metros entre jaula y jaula, y de igual manera un mínimo de 15 metros entre jaula y fondo, teniendo en cuenta la recomendación de que las jaulas no se deben ubicar en zigzag para así evitar una contaminación cruzada. Entre otras cosas que Ecuador debe tomar de ejemplo de países como Noruega, es emplear métodos novedosos que resulten en beneficio para el medio ambiente y a la vez económico, haciendo uso de especies de peces que cumplan un papel limpiador al alimentarse de parásitos presentes en el cultivo. Otra recomendación que se podría tomar en cuenta en referencia a Taiwán es el hecho de ubicar las jaulas en zonas profundas y en donde el agua fluya de manera rápida para que las corrientes arrastren los desechos de los cultivos, evitando que la zona se contamine gradualmente y aparezcan enfermedades que afecten al cultivo. Por otro lado, en base a lo ocurrido en Indonesia se recomienda mitigar las enfermedades manteniendo la densidad poblacional y la carga de contaminación muy por debajo de la capacidad de carga de la masa de agua, pues los peces en altas densidades representan un riesgo latente pues son más proclives a enfermarse o transmitir enfermedades entre ellos.

Contaminación orgánica y eutrofización

La contaminación orgánica por parte del cultivo de jaulas comprende como principal efecto negativo el enriquecimiento de nutrientes, pues en vista de que este impacto es recurrente en diferentes regiones del mundo como Canadá, Chile, Noruega, Grecia, Taiwán e Indonesia es importante tomar a consideración el principal impacto que es el alimento empleado diariamente, por lo que se recomienda en primer lugar mantener un control en la cantidad total de explotaciones piscícolas, pues es necesario asegurar que la carga de nutrientes procedentes de los cultivos en jaulas está dentro de la capacidad de asimilación del ecosistema, tomando como ejemplo la región de Indonesia se podría aplicar tecnología al realizar simulaciones hechas a computadora y modelos hidráulicos para estimar la máxima densidad de población que pueden soportar las jaulas. En base a Noruega, Ecuador también debería tomar en cuenta el impacto de la carga orgánica a nivel local y regional estableciendo normas a nivel de gobierno que permita

un desarrollo sostenible de la industria. Posterior a esto se debería tratar de recuperar o hacer uso de algunos de estos nutrientes que son expulsados por los cultivos en jaulas, empleando tecnologías como la acuicultura multitrófica integrada.

Tomando como ejemplo lo que ha sucedido en varias partes del mundo al permitir la maricultura en sus aguas costeras, Ecuador debe innovar en la implementación de nuevas tecnologías de producción acuícola que ayuden a mejorar la eficiencia y el manejo de los desechos producidos por los cultivos de peces en jaulas, dando prioridad a la conservación ambiental, por lo que un sistema necesario en este caso es la aplicación de la acuicultura multitrófica integrada (AMTI), pues esta se basa en cultivar diferentes especies de interés acuícola que cumplan determinadas funciones. En el caso de Ecuador, considerando que actualmente se cuenta con cultivos comerciales de ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*), se podría implementar el cultivo de estos moluscos en los alrededores de las jaulas, cumpliendo así la función de acuicultura extractiva orgánica. De igual manera y en la misma línea, desarrollar cultivos de macroalgas marinas, como por ejemplo el cultivo de *Kappaphycus alvarezii*, especie con la que ya se tiene experiencia de cultivo, la cual sería una buena alternativa al cumplir la función de acuicultura extractiva inorgánica. En el mismo contexto de utilizar la AMTI, para el caso de los desechos del fondo, se podrían utilizar cultivos de invertebrados como caracol marino, pepino de mar o hasta camarón al ser organismos bentónicos, los mismos que cumplen la función de acuicultura extractiva de yacimiento, aprovechándose así la gran mayoría de nutrientes que se producen en el cultivo de peces en jaulas.

A nivel de maricultura este sistema logra una sinergia que ayuda a nivel ambiental como socioeconómico, sin embargo este sector debería tener más apoyo por parte del gobierno y sectores estratégicos para implementar políticas que ayuden a desarrollar este tipo de sistemas económicamente viables como está demostrado en Sudamérica (Chile), al igual que debe haber un cambio de paradigmas para desarrollar proyectos pilotos que demuestren la rentabilidad de la acuicultura multitrófica integrada como se está haciendo en otros países.

Basando a Chile como ejemplo con respecto al impacto que tienen los nutrientes generados por la acuicultura en jaulas, se podría considerar el hecho de hacer un cambio o rotación de la ubicación de las jaulas cada cierto tiempo para que el área debajo de la jaula se recupere pues está demostrado que esta práctica es ventajosa, otra alternativa que plantea Chile con respecto al exceso de nutrientes en los fondos marinos es que Ecuador debería implementar sistemas colectores debajo de las jaulas o hasta emplear organismos descomponedores que ayuden a mermar el impacto de los fondos. Escogiendo a Taiwán como ejemplo también se debería emplear fauna béntica para que cumpla el papel de indicadores ambientales, de igual manera se debería exigir un control regulatorio para tratar los desechos generados por los cultivos de peces en jaulas. Por otro lado, siguiendo el ejemplo de Indonesia con respecto a la carga de nutrientes procedente de los alojamientos en los sitios de las jaulas, el país debería ver más allá de las fuentes comunes que provocan el exceso de nutrientes para desarrollar nuevas investigaciones, además se debería implementar cultivos de algas marinas en los alrededores de los cultivos de peces en jaulas ya que las algas tienen la función ecológica para mejorar las condiciones del medio ambiente marino pues juegan un importante papel en el reciclaje de nutrientes.

También se recomienda elegir las especies para cultivo más adecuadas en razón del comportamiento alimenticio pues esto ayuda con la información del tipo de alimento que se va a emplear. Tomando como ejemplo las gestiones realizadas en Canadá en cuanto a la composición del alimento como preocupación de sostenibilidad, se debería trabajar más en la calidad del alimento, innovando en la búsqueda y elaboración de piensos empleando ingredientes de fuentes sostenibles como subproductos y coproductos de la agroindustria de

manera que se reduzca el impacto que repercute el utilizar productos pesqueros para su elaboración. A juzgar por las soluciones que plantea Chile, se debería tomar de modelo el hecho de reemplazar la proteína por lípidos o hacer uso de proteína vegetal, de manera que se reduzcan los niveles de nutrientes expuestos al medio, por otro lado, también se podría emplear alternativas inteligentes como alimentadores automáticos o sistemas de alimentación que detectan la saciedad de los peces por medio de sensores de manera que se tiene un mejor control del alimento. Por otro lado, Taiwan nos brinda de ejemplo el hecho de que se debería emplear técnicas para mejorar la flotabilidad del alimento, de manera que se mantenga durante más tiempo en la columna de agua y pueda ser ingerido en su totalidad por los peces en cautiverio.

Otro tipo de contaminación orgánica generada por parte de la proliferación de nutrientes en el medio es la eutrofización, por lo que Ecuador debe a toda costa tratar de controlar y reducir la cantidad de fosfatos y nitratos, por otro lado, se también se debería colocar en menor cantidad alguna otra especie de pez en el cultivo para que ayude a consumir el fouling presente por la proliferación de algas pues es necesario evitar la disminución del flujo de agua y por ende del oxígeno. Además, tomando como ejemplo las situaciones presentes en Chile y Grecia, la eutrofización trae consigo la preocupación de las comunidades al haber florecimientos de algas nocivas.

Contaminación química

La contaminación química plantea en primera instancia el abuso en el uso de antibióticos por lo que se debe mantener los cultivos de peces en jaulas controlados y regulados, poniendo en práctica antibiogramas que ayuden a determinar el antibiótico efectivo y a calcular la cantidad mínima inhibitoria, en base a las experiencias registradas en Canadá, Taiwán y Noruega, Ecuador debe emplear como primera línea de defensa el uso de vacunas y terapias alternativas como inoculantes microbianos y probióticos, además debe de seguir el modelo del uso responsable de antibióticos que maneja Noruega y Grecia al brindar licencias solo a empresas que trabajan con métodos de producción sostenibles con el medio ambiente. Por otro lado, de acuerdo a las estrategias que maneja Chile frente al uso de antibióticos, Ecuador debe emplear programas de certificación a granjas de peces libres de antibióticos, de manera que se impulse el desarrollo de una industria sostenible. Con base al manejo que tiene Indonesia frente al uso de productos químicos en sus cultivos, es importante considerar la creación de leyes que establezcan que no se puede emplear productos químicos que representen una amenaza a la sostenibilidad del área propensa a donde se desarrollan los cultivos de peces en jaulas.

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES FUTURAS

El cultivo de peces en jaulas es una actividad productiva altamente exitosa, sin embargo, el impacto ambiental atribuido a la misma es un factor a considerar, por lo que bajo estrictas regulaciones y una mejor tecnificación del cultivo, esta forma de producción puede llegar a considerarse ambientalmente sostenible.

Ecuador posee excelentes condiciones para implementar la maricultura, contando con un área potencial de 4.000 km² para poder desarrollarla, gracias a que las costas ecuatorianas reúnen deseables condiciones de profundidad, factores climáticos, vientos moderados, batimetría y velocidad de corrientes marinas. En este contexto tras el proceso de zonificación marítima realizado en el país, se determinó que, en áreas de no intersección con las demás actividades en mar abierto, dentro de las 8 millas existen 170.979,48 hectáreas y, fuera de las 8 millas hasta las 12 millas se cuenta con 77.242,45 hectáreas, para implementar cultivos de peces en jaulas.

Para que esta actividad se desarrolle exitosamente en Ecuador, se debe observar lo que ha sucedido en países como Canadá, Chile, Noruega, Grecia, Taiwán, Indonesia, entre otros, y

aprender de ellos, ya que tienen mucha historia cultivando peces en jaulas, y rescatar a manera de aprendizaje los aspectos negativos por los que pasaron los países mencionados, para evitar caer en lo mismo. Uno de los aspectos más importantes es el impacto ambiental, por lo que aplicar el modelo de la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) va a permitir la sostenibilidad de esta novel industria en nuestro país. Adicionalmente se necesita el apoyo del gobierno para contar con reglas claras en la ejecución de esta actividad, de manera que se pueda promover, y llamar el interés de los inversionistas tanto locales como extranjeros.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores no tienen conflictos de intereses.

REFERENCIAS

Abery, N., Sukadi, F., Budhuman, A., Kartamihardja, E., Koeshendrajana, S., De Silva, S. (2005). Fisheries and cage culture of three reservoirs in west Java, Indonesia; a case study of ambitious development and resulting interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 12(5), 315–330. doi:10.1111/j.1365-2400.2005.00455.x

Aceituno, S. (2022). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de seguridad geolocalizable en jaulas flotantes para criadero de truchas en el lago Titicaca-Puno. Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/17527>

Aïzonou, R., Achoh, M. E., Hountcheme, I. A. C., Agadjihouèdé, H., Ahouanssou-Montcho, S., Montchowui, E. (2021). Zootechnical Knowledge of floating cage aquaculture in freshwaters ecosystems and load capacity determination: Review. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(1), 81–86. doi:10.1016/j.ejar.2020.10.013

Álvarez, M., Marcillo, F. (2018). Estudios Industriales. ESPAE Graduate School of Management. Escuela Superior Politécnica del Litoral. ESPOL. Sección Visión. pág. 4-30. http://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2018/01/ei_acuicultura.pdf

Avedaño, U., Pazos, F. (2017). Factibilidad de la maricultura de huayaípe (*Seriola sp*) como medida de adaptación ante el incremento de temperatura del mar por efectos del cambio climático para el sector pesquero -caso de estudio Jaramijó. Trabajo de titulación. Escuela Superior Politécnica del Litoral. ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45375>

Avendaño, R. (2018). Proper antibiotics use in the Chilean salmon industry: Policy and technology bottlenecks. *Aquaculture*, 495, 803–805. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.06.072

Barton, J., Fløysand, A. (2010). The political ecology of Chilean salmon aquaculture, 1982–2010: A trajectory from economic development to global sustainability. *Global Environmental Change*, 20(4), 739–752. doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.04.001

Belton, B., Thilsted, S. (2014). Fisheries in Transition: Food and Nutrition Security Implications for the Global South. *Global Food Security*, 3, 59-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.10.001>

Burrige, L (2003). Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: A review of current practices and possible environmental effects. In *Fisheries and Oceans Canada. Volume 1. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science 2450*. pp. 97–125. Ottawa, Ontario, Canada: Fisheries and Oceans Canada.

Buschmann, A., Pizarro, R. (2001). El costo ambiental de la salmonicultura en Chile. *Análisis de Políticas Públicas* Nr. 5, 7 pp.

Castellanos, G., Moreno, X., Robertson, D. (2018). Risks to eastern Pacific marine ecosystems from sea-cage mariculture of alien Cobia. *Management of Biological Invasions*. Volume 9, Issue 3: 323–327. doi: <https://doi.org/10.3391/mbi.2018.9.3.14>

CBC News. (2017). U.S. First Nation declares state of emergency after Atlantic salmon spill near Victoria. CBC News. www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/u-s-first-nation-declares-state-of-emergency-after-atlantic-salmon-spill-near-victoria-1.4261240

CCE. (2020). Ley Orgánica para el Desarrollo de la Acuicultura y Pesca. Suplemento – Registro Oficial N° 187. Corte Constitucional del Ecuador. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2022-05/Documento_Ley-Org%C3%A1nica-para-Desarrollo-Acuicultura-y-Pesca.pdf

Chen, Y., Hsu, C. (2006). Ecological Considerations of Cage Aquaculture in Taiwan. *The Ecosystem Approach for Cage Culture in Taiwan*. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 33 (2): 139-146.

Costa-Pierce, B. (1998). Constraints to the Sustainability of Cage Aquaculture for Resettlement From Hydropower Dams in Asia: An Indonesian Case Study. *The Journal of Environment & Development*; 7(4):333-363. doi:10.1177/107049659800700402

Crome, C., Nickell, T., Treasurer, J., Black, K., Inall, M. (2009). Modelling the impact of cod (*Gadus morhua* L.) farming in the marine environment CODMOD. *Aquaculture*, 289(1-2), 42–53. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.12.020

Cuan, J., Parada, S., Murillo, R., Ramírez, J. (2021). Parámetros productivos del cultivo de cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, en jaulas flotantes. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 24(2):e2068. doi: <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2068>

Dafforn, K., Lewis, J., Johnston, E. (2011). Antifouling strategies: History and regulation, ecological impacts and mitigation. *Marine Pollution Bulletin*, 62(3), 453–465. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.01.012

Domínguez, L., Domínguez, N. (2012). Proyecto para el desarrollo del cultivo de especies marinas en instalaciones en mar abierto. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Navales (UPM), Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/13736/>

FAO. (2006). State of world aquaculture 2006. Fisheries Technical Paper No. 500). Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/docrep/009/a0874e/a0874e00.htm.

FAO. (2022). *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, FAO. doi: <https://doi.org/10.4060/cc0463es>

Frentzos, A. (2013). Greek mariculture: Present and future. *Proceedings of the Hellenic Conference of Ichthyologists* 15:331–334.

Garseth, Å., Madhun, A., Gjessing, M. Moldal, T. Gjevre, A., Barlaup, B., Karlsbakk, E. (2017). Annual report on health monitoring of wild anadromous salmonids in Norway 2016.

Rapport fra Havforskningen. Institute of Marine Research. 15 pp. <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/2477613>

Gentry, R., Lester, S., Kappel, C., White, C., Bell, T., Stevens, J., Gaines, S. (2017). Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution*, 7, 733-743. doi: 10.1002/ece3.2637

Ghamkhar, R., Boxman, S., Main, K., Zhang, Q., Trotz, M., Hicks, A. (2021). Life cycle assessment of aquaculture systems: Does burden shifting occur with an increase in production intensity?. *Aquacultural Engineering*. Volume 92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102130>

Glover, K., Pertoldi, C., Besnier, F., Wennevik, V., Kent, M., Skaala, Ø. (2013). Atlantic salmon populations invaded by farmed escapees: quantifying genetic introgression with a Bayesian approach and SNPs. *BMC Genetics*, 14(1), 74. doi:10.1186/1471-2156-14-74

Goldburg, R., Elliott, M., Naylor, R. (2001). *Marine aquaculture in the United States: Environmental impacts and policy options*. Pew Oceans Commission, Arlington, Virginia, USA.

Gomez, Y. (2017). Crecimiento de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la etapa de engorde alimentadas ad libitum y convencionalmente, en Chucasuyo - Juli. Tesis. Universidad Nacional del Altiplano-Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7155>

Greaker, M., Vormedal, I., Rosendal, K. (2020). Environmental policy and innovation in Norwegian fish farming: Resolving the sea lice problem? *Marine Policy*, 117, 103942. doi:10.1016/j.marpol.2020.103942

Greene, J., Grizzle, R. (2007). Successional development of fouling communities on open ocean aquaculture fish cages in the western Gulf of Maine, USA. *Aquaculture*, 262(2-4), 289–301. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.11.003

Grefsrud, E., Karlsen, O., Kvamme, B., Glover, K., Husa, V., Hansen, P., Grøsvik, B., Samuelsen, O., Sandlund, N., Stien, L., Svåsand, T. (2021). Risk assessment of Norwegian fish farming. Rapport fra havforskningen. Institute of Marine Research, Bergen. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-8>

Haland, F., Parolini, M., Bacenetti, J. (2022). Quantification of the environmental impact of lumpfish farming through a life cycle assessment. *Aquaculture*, Volume 549, 737781. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737781>

Han, Q., Zhang, X., Xu, X., Wang, X., Yuan, X., Ding, Z., Zhao, S., Wang, S. (2021). Antibiotics in marine aquaculture farms surrounding Laizhou Bay, Bohai Sea: Distribution characteristics considering various culture modes and organism species. *Science of The Total Environment*, 760, 143863. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143863>

Hardy, R., Castro, E. (1994). Characteristics of the Chilean salmonid feed industry. *Aquaculture*, 124(1-4), 307–320. doi:10.1016/0044-8486(94)90404-9

Häussermann, V., Försterra, G., Melzer, R., Meyer, R. (2013). Gradual changes of benthic biodiversity in Comau Fjord, Chilean Patagonia – lateral observations over a decade of

taxonomic research. Spixiana, 36(2), 161-171.
https://www.zobodat.at/pdf/Spixiana_036_0161-0171.pdf

Hleap, J., Gutiérrez, C. (2017). Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. - Una revisión. Acta Agronómica, 66(3), 311–322. doi:10.15446/acag.v66n3.52595

Ho, C. (2022). Climate Risks and Opportunities of the Marine Fishery Industry: A Case Study in Taiwan. Fishes 2022, 7, 116. <https://doi.org/10.3390/fishes7030116>

Holm, P., Buck, B., Langan, R. (2017). Introduction: New Approaches to Sustainable Offshore Food Production and the Development of Offshore Platforms. Aquaculture Perspective and Multi-Use Sites in the Open Ocean; Springer: Cham, Switzerland, pp: 1–20. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7_1

Indonesian Act. (2004). Undang-Undang Republik Indonesia No 31 Tahun 2004. DKP. Jakarta. pp: 68.

IPIAP. (2021). Reforma al estatuto orgánico del Instituto Público de Investigación de acuicultura y pesca. IPIAP Resolución Nro. IPIAP-IPIAP-2021-0003-R.

Jackson, D., Cotter, D., Newell, J., McEvoy, S., O’Donohoe, P., Kane, F., McDermott, T., Kelly, D., Drumm, A. (2013). Impact of *Lepeophtheirus salmonis* infestations on migrating Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts at eight locations in Ireland with an analysis of lice-induced marine mortality. Journal of Fish Diseases, 36(3), 273–281. doi:10.1111/jfd.12054

Kalantzi, I., Rico, A., Mylona, K., Pergantis, S. A., Tsapakis, M. (2020). Fish farming, metals and antibiotics in the eastern Mediterranean Sea: Is there a threat to sediment wildlife? Science of The Total Environment, Volume 764, 142843. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142843

Klinger, D., Naylor, R. (2012). Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course. Annual Review of Environment and Resources, 37(1), 247–276. doi:10.1146/annurev-environ-021111-161531

Konstantinidis, E., Perdikaris, C., Batzios, C., Michaelidis, B., Ganias, K. (2020). Estimating cage farming capacity of data-poor mariculture sectors in the Eastern Mediterranean. Journal of Applied Aquaculture, 1–15. doi:10.1080/10454438.2020.1721395

Kutti, T., Hansen, P., Ervik, A., Høisæter, T., Johannessen, P. (2007). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. Aquaculture, 262(2-4), 355–366. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.10.008

Lan, H., Afero, F., Huang, C., Chen, B., Huang, P., Hou, Y. (2022). Investment Feasibility Analysis of Large Submersible Cage Culture in Taiwan: A Case Study of Snubnose Pompano (*Trachinotus anak*) and Cobia (*Rachycentron canadum*). Fishes 2022, 7, 151. <https://doi.org/10.3390/fishes7040151>

Lara, M., Gallardo, A., Medina, P., Montecinos, K. (2018). Buenas prácticas en el uso de antimicrobianos. Versión Diferente, 28, 26-28.

- Larson, S., Rimmera, M., Hoy, S., Thay, S. (2022). Is the marine finfish cage farming value chain in Cambodia inclusive?. *Aquaculture*. Volume 549, 25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737782>
- León, J., Tecklin, D., Farías, A, Díaz, S. (2007). Salmon Farming in the Lakes of Southern Chile - Valdivian Ecoregion History, tendencias and environmental impacts. Consultancy Technical Report WWF (World Wildlife Fund). Valdivia, Chile, 39 pp. https://wwf-eu.awsassets.panda.org/downloads/informe_salmones_lagos_sur_de_chile_restriccion.pdf
- Liao, Y., Shou, L., Jiang, Z., Tang, Y., Du, P., Zeng, J., Chen, A., Yan, X., Chen, J. (2019). Effects of fish cage culture and suspended oyster culture on macrobenthic communities in Xiangshan Bay, a semi-enclosed subtropical bay in eastern China. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 475–483. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.03.065
- Lima, L., Pinto, T., Brandão, B., Santos, W., Hamilton, S., Domingues, E., Klein, A., Schettini, C., Poersch, L., Cavalli, R. (2019). Impact of cage farming of cobia (*Rachycentron canadum*) on the benthic macrofauna in a tropical region. *Aquaculture*, Volume 512, 734314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734314>
- Liu, Y., Diserud, O. H., Hindar, K., Skonhøft, A. (2012). An ecological-economic model on the effects of interactions between escaped farmed and wild salmon (*Salmo salar*). *Fish and Fisheries*, 14(2), 158–173. doi:10.1111/j.1467-2979.2012.00457.x
- Macías J., Avila, P., Karakassis, I., Sanchez, P., Massa, F., Fezzardi, D., Gier, G., Franicevic, V., Bong, J., Chapela, R., Tomassetti, P., Angel, D., Marino, G., Nhhala, H., Hamza, H., Carmignac, C., Fourdain, L. (2019). Allocated zones for aquaculture: a guide for the establishment of coastal zones dedicated to aquaculture in the Mediterranean and the Black Sea. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies and Reviews. No 97. Rome, FAO. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/69284>
- MAGAP. (2013). MAGAP otorgó primera concesión para realizar la Maricultura. Dirección Nacional de Comunicación. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.agricultura.gob.ec/magap-otorgo-primera-concesion-para-realizar-la-maricultura/>
- Manríquez, J., Romero, J. (1993). Determinación de la digestibilidad del alimento utilizado en la salmonicultura. Una herramienta para su certificación ambiental. Seminario Internacional Acuicultura y Medio Ambiente. Chile. 189 pp.
- Mantzavrakos, E., Kornaros, M., Lyberatos, G., Kaspiris, P. (2007). Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. *Desalination*, 210(1-3), 110–124. doi:10.1016/j.desal.2006.05.037
- Masjuán, Y., Betanzos, A., Rodríguez, A., Montes, Y., García, S. (2017). Zonas con potencialidad para cultivo de peces en jaulas flotantes. Golfo de Ana María, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. vol. 34, No. 1, ISSN 0138-8452, pp: 7-12. <http://hdl.handle.net/1834/12445>
- Merotto, L. (2018). The environmental impacts of open-net salmon farming: A critical review and recommendations for policy in Canadian aquaculture. *Journal of home economics*, 25, 24. <http://www.ohea.on.ca/blog/the-environmental-impacts-of-open-net-salmon-farming-a-critical-review-and-recommendations-for-policy-in-canadian-aquaculture>

- Miao, S., Jen, C.C., Huang, C.T., Hu, S-H. (2008). Ecological and economic analysis for cobia *Rachycentron canadum* commercial cage culture in Taiwan. *Aquacult Int* 17, 125–141. doi:10.1007/s10499-008-9185-7
- Morton, A., Routledge, R., Hrushowy, S., Kibenge, M., Kibenge, F. (2017). The effect of exposure to farmed salmon on piscine orthoreovirus infection and fitness in wild pacific salmon in British Columbia, Canada. *PLoS One*, 12(12), e0188793. doi: 10.1371/journal.pone.0188793
- MPCEIP. (2020). Mejora en la competitividad del sector acuícola y pesquero. Proyecto de inversión. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/Proyecto-Mejora-Competitiva-del-Sector-Acu%C3%ADcola-y-Pesquero.pdf>
- Naspirán, D., Fajardo, A., Ueno, M., Collazos, L. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. vol.69 no.1. 75-97. Bogotá. ISSN 0120-2952. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Negrón, G., Barzanti, M., Italia, M. (2018). Acuicultura con redes flotantes y sumergibles. *International Aquafeed*. Volumen 21. Issue. 38-43.
- Nissa, M., Pinto, N., Parkar, M., Goswami, M., Srivastava, S. (2021). Proteomics in fisheries and aquaculture: An approach for food security. *Food Control*. Volume 127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108125>
- Olsen, L., Wang, X., Reitan, K., Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 267–283. doi:10.3354/aei00044
- Paolacci, S., Stejskal, V., Toner, D., Jansen, M. (2022). Wastewater valorisation in an integrated multitrophic aquaculture system; assessing nutrient removal and biomass production by duckweed species. *Environmental Pollution*. Volume 302. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119059>
- Papageorgiou, N., Kalantzi, I., Karakassis, I. (2010). Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 69(5), 326–336. doi:10.1016/j.marenvres.2009.12.007
- Porrello, S., Tomassetti, P., Manzueto, L., Finoia, M., Persia, E., Mercatali, I., Stipa, P. (2005). The influence of marine cages on the sediment chemistry in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture*, 249(1-4), 145–158. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.02.042
- Power, C., Nowak, B., Cribb, T., Bott, N. (2020). Bloody flukes: a review of aporocotylids as parasites of cultured marine fishes. *International Journal for Parasitology*. Volume 50, Issues 10–11, 743-753. doi:10.1016/j.ijpara.2020.04.008
- Qi, Z., Shi, R., Yu, Z., Han, T., Li, C., Xu, S., Liang, Q., Yu, W., Lin, H., Huang, H. (2019). Nutrient release from fish cage aquaculture and mitigation strategies in Daya Bay, southern China. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 399–407. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.06.079
- Quiñones, R., Fuentes, M., Montes, R., Soto, D., León, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*.1–28. doi:10.1111/raq.12337

- Ramirez, V. (2019). Desarrollo de un proceso orgánico para el curtido de la piel de pescado de alto desempeño. CIATEC. Gobierno de México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). <http://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1019/141>
- Reid, G., Lefebvre, S., Filgueira, R., Robinson, S., Broch, O., Dumas, A., Chopin, T. (2018). Performance measures and models for open-water integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 1–29. doi:10.1111/raq.12304
- Rendón, J., Frías, M., Hernández, C., Osuna, D., Romero, E., Voltolina, D. (2014). Efectos del cultivo de peces en jaulas flotantes sobre la calidad del agua y de los sedimentos en el Pacífico Mexicano. p. 859-872. ISBN: 978-607-7887-94-2. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/1935>
- Riera, R., Pérez, Ó., Cromei, C., Rodríguez, M., Ramos, E., Álvarez, O., Domínguez, J., Monterroso, Ó., Tuya, F. (2017). MACAROMOD: A tool to model particulate waste dispersion and benthic impact from offshore sea-cage aquaculture in the Macaronesian region. *Ecological Modelling*, 361, 122–134. doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.08.006
- Roberge, C., Normandeau, É., Einum, S., Guderley, H., Bernatchez, L. (2008). Genetic consequences of interbreeding between farmed and wild Atlantic salmon: Insights from the transcriptome. *Molecular Ecology*, 17(1), 314–324. doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03438.x
- Rubio, E., Villamor, A., Fernandez, V., Antón, J., Sánchez, P. (2019). Exploring changes in bacterial communities to assess the influence of fish farming on marine sediments. *Aquaculture*, 506, 459–464. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.03.051
- Sabdon, A., Radjasa, O., Trianto, A., Sarjito, Munasik, Wijayanti, D. (2019). Preliminary study of the effect of nutrient enrichment, released by marine floating cages, on the coral disease outbreak in Karimunjawa, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 100704. doi:10.1016/j.rsma.2019.100704
- Sangirova, U., Khafizova, Z., Yunusov, I., Rakhmankulova, B., Kholiyorov, U. (2020). The benefits of development cage fish farming. *EDP Sciences. E3S Web of Conferences* 217, 09006. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021709006>
- Sanz, C., Casado, N., Moncayo, E., Avendaño, U. (2021). The environmental effect on the seabed of an offshore marine fish farm in the tropical Pacific. *Journal of Environmental Management*. Vol. 300. ISSN 0301-4797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113712>
- Scott, R. (2004). Environmental fate and effect of chemicals associated with Canadian freshwater aquaculture. In *A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems: Volume 3*. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/publications/sok-edc/volume3/scott-eng.html>
- Sepúlveda, M., Arismendi, I., Soto, D., Jara, F., Farías, F. (2013). Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environments Interactions* 4: 273–283. ISSN 1869-215X. doi: 10.3354/aei00089
- Serra, R., Bjørn P., Finstad, B., Nilsen R., Harbitz, A., Berg, M., Asplin, L. (2014). Salmon lice infection on wild salmonids in marineprotected areas: an evaluation of the Norwegian National Salmon Fjords. *Aquaculture Environment Interactions* 5(1):1-16. doi:10.3354/aei00090

Sierra, C., Maroso, J. (2019). Estrategias de manejo para mejorar la producción piscícola en un sistema de jaulas flotantes con Tilapia roja *Oreochromis sp.*, en Montería, Córdoba. Universidad de la Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/462>

Sim, B., Kim, H., Kang, S., Park, K., Yoon, S., Hong, S., Yoon, S., Kim, J., Lee, W. (2021). Influence of intensive net cage farming on hydrodynamic and geochemical environmental conditions and the mass mortality of abalone in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112555. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112555

Simone, K. (2021). Off the hook: Canadian aquaculture grows amidst environmental change. Ingenium channel. Canada Agriculture and Food Museum. <https://ingeniumcanada.org/channel/articles/off-the-hook-canadian-aquaculture-grows-amidst-environmental-change>

Skilbrei, O., Heino, M., Svåsand, T. (2014). Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages from farm sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 670–685. doi:10.1093/icesjms/fsu133

Sorgeloos, P. (2002). Technologies for sustainable aquaculture development, plenary lecture II. In *Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok, Thailand. pp: 23–28. <http://hdl.handle.net/1854/LU-158358>

Soto, D., Wurmman, C. (2019). Offshore Aquaculture: A Needed New Frontier for Farmed Fish at Sea. In *The Future of Ocean Governance and Capacity Development*. Leiden, The Netherlands: Brill. Nijhoff. doi: https://doi.org/10.1163/9789004380271_064

Springmann, M., Clark, M., Mason-D’Croz, D., Wiebe, K., Leon, B., Lassaletta, L., Vries, W., Vermeulen, S., Herrero, M., Carlson, K., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, C., Tilman, D., Rockstrom, J., Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>

Strain, P. (2005). Eutrophication impacts of marine finfish aquaculture (Research Document 2005/034). Ottawa, Ontario, Canada: Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS). <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/316636.pdf>

SUBPESCA. (2020). Resolución que establece metodología para el levantamiento de información, procesamiento y cálculos del estudio de ingeniería y especificaciones técnicas de las estructuras de cultivo a la que se refiere el artículo 4° letra E del D.S. N° 320 de 2001, del actual ministerio de economía, fomento y turismo. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Chile. Valparaíso. <https://www.aqua.cl/wp-content/uploads/2020/08/R.E.-N%C2%B01821.pdf>

Taiwan Fisheries Yearbook. (2020). Fisheries Agency, Council of Agriculture, Executive Yuan. <http://www.fa.gov.tw/>

Tang, H., Miao, S. (2002). Bioeconomic analysis of improving management productivity regarding grouper *Epinephelus malabaricus* farming in Taiwan. *Aquaculture*, 211(1-4), 151–169. doi:10.1016/s0044-8486(02)00190-4

Taranger, G., Karlsen, Ø., Bannister, R., Glover, K., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B., n Boxaspen, K., Bjørn, P., Finstad, B., Madhun, A., Morton, C., Svåsand, T. (2014). Risk

assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 997–1021. doi:10.1093/icesjms/fsu132

Thorstad, E., Fleming, I., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V., Whoriskey, F. (2008). Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature (Norwegian Institute for Nature Research [NINA] Special Report 36. 110 pp.). Washington, District of Columbia, USA: World Wildlife Fund, Inc. <http://www.fao.org/3/a-aj272e.pdf>

Troell, M., Norberg, J. (1998). Modelling output and retention of suspended solids in an integrated salmon–mussel culture. *Ecological Modelling*, 110(1), 65–77. doi:10.1016/s0304-3800(98)00042-8

Urbina, M., Cumillaf, J., Paschke, K., Gebauer, P. (2018). Effects of pharmaceuticals used to treat salmon lice on non-target species: Evidence from a systematic review. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.334

Vera, J. (2021). Estudio de engorde del Chame (*Dormitator latifrons*) en jaulas flotantes con miras a producciones sustentables. Tesis de grado. Escuela de gestión ambiental. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2688>

Vergara, J., Domínguez, L. (2005). Impacto ambiental de jaulas flotantes: estado actual de conocimientos y conclusiones prácticas. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, ISSN 0074-0195, Vol. 21, N°. 1-4, pp.: 75-82. https://core.ac.uk/display/71764889?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1

Wang, M., Zhao, L., Wan, Y., Wu, H., He, C., Zhao, Q. (2022). Tracing the organic matter source of cage culture sediments based on stable carbon and nitrogen isotopes in Poyang Lake, China. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 182, 113943. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113943>

WHO. (2015). Vaccinating salmon: How Norway avoids antibiotics in fish farming. World Health Organization. <https://www.news.lk/fetures/item/10596-vaccinating-salmon-how-norway-avoids-antibiotics-in-fish-farming>

Wu, J., Mao, C., Deng, Y., Guo, Z., Liu, G., Xu, L., Bei, L., Su, Y., Feng, J. (2019). Diversity and abundance of antibiotic resistance of bacteria during the seedling period in marine fish cage-culture areas of Hainan, China. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 343–349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.069>

Xu, Z., Qin, H. (2020). Fluid-structure interactions of cage based aquaculture: From structures to organisms. *Ocean Engineering*, 217, 107961. doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107961

Yoshida, K., Tanaka, K., Noda, K., Homma, K., Maki, M., Hongo, C., Shirakawa, H., Oki, K. (2017). Quantitative Evaluation of Spatial Distribution of Nitrogen Loading in the Citarum River Basin, Indonesia. *Journal of Agricultural Meteorology*, 73(1), 31–44. doi:10.2480/agrmet.d-15-00020

Zhao, Y., Zhang, J., Liu, Y., Sun, K., Zhang, C., Wu, W., Teng, F. (2019). Numerical assessment of the environmental impacts of deep sea cage culture in the Yellow Sea, China. *Science of The Total Environment*, 135752. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135752