

Criterios de monitoreo para la sustentabilidad de la piscicultura marina en jaulas

Mg Santiago Panné Huidobro
Dirección Nacional de Acuicultura



**Ministerio
de Economía**
República Argentina

**Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca**

Criterios de monitoreo para la sustentabilidad de la piscicultura marina en jaulas

Mg Santiago Panné Huidobro

Dirección Nacional de Acuicultura
2026

Edición: Arq. Guillermina Dapello



**Ministerio
de Economía**
República Argentina

**Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca**

El siguiente texto corresponde a la charla impartida por el Mg. Santiago Panné Huidobro, presentada dentro del “Ciclo de charlas de acuicultura on line” el día 16 de diciembre de 2025.

A nivel global la acuicultura desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria, constituye una fuente sostenible de proteínas de alta calidad y de otros nutrientes esenciales, genera empleo, impulsa el comercio internacional, dado que gran parte de su producción se exporta a diversos mercados en el mundo, reduce la dependencia de las pesquerías de captura, garantizando una oferta constante de productos durante todo el año, y promueve la innovación tecnológica mediante avances en sistemas de producción, biotecnología, nutrición animal y la gestión ambiental, así como en el área de la robótica y la inteligencia artificial.

Las proteínas de origen animal representan aproximadamente el 40 % de la ingesta diaria global de proteínas, donde después de los productos lácteos, que son los de mayor consumo, los productos acuáticos siguen en importancia, aportando un 7% de los mismos, una proporción similar a la del sector avícola (*Gráfico 1*).

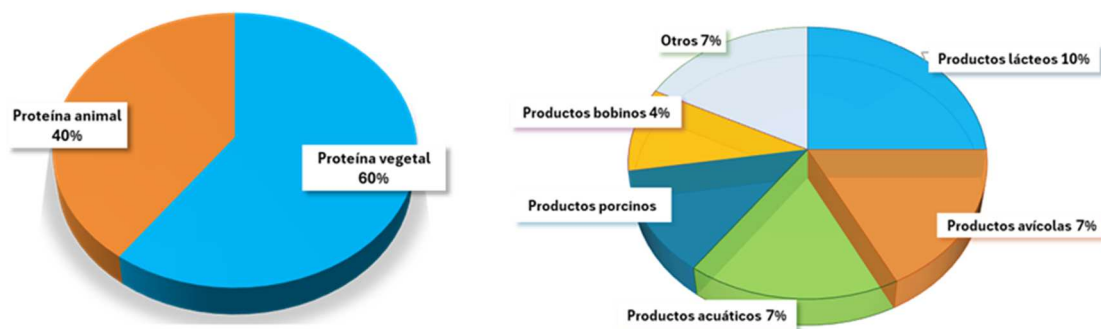


Gráfico 1: Contribución de las proteínas animales y vegetales a la ingesta diaria global de proteína, 2019. Fuente: FAO, 2019.

Según el último informe SOFIA (2024), la publicación bienal de la FAO sobre el estado mundial de la pesca y la acuicultura, la producción acuícola mundial superó, incluyendo la producción de algas, los 130 millones de toneladas, mientras que la producción acuática de especies animales alcanzó por primera vez el 51 % del total destinado al consumo humano, superando así a la pesca de captura.

Hasta un 38% de la producción de acuicultura proviene de la acuicultura marina (*Gráfico 2*), y tomando únicamente la producción animal la participación de la maricultura representó solo el 27%, los ambientes eurihalinos un 11% siendo mayoritaria la producción en agua dulce representando el 62%.

Respecto a los grupos de especies, puede observarse en el *Gráfico 3*, la Clasificación Estadística Internacional Estándar de Animales y Plantas Acuáticas donde se advierte que los peces diádromos y marinos poseen una menor producción que aquellos de agua



dulce, y comparado a otros productos de la maricultura también son de una producción minoritaria.

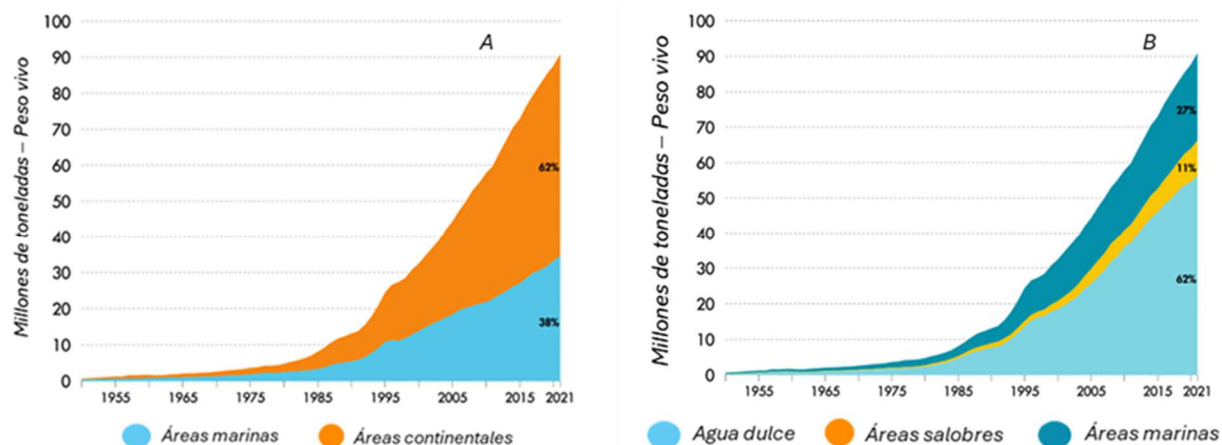


Gráfico 2: A- Producción acuícola de animales acuáticos por aguas interiores y zonas marinas, B - Producción acuícola de animales acuáticos por entorno de cultivo. Fuente: FishStat, FAO 2023.

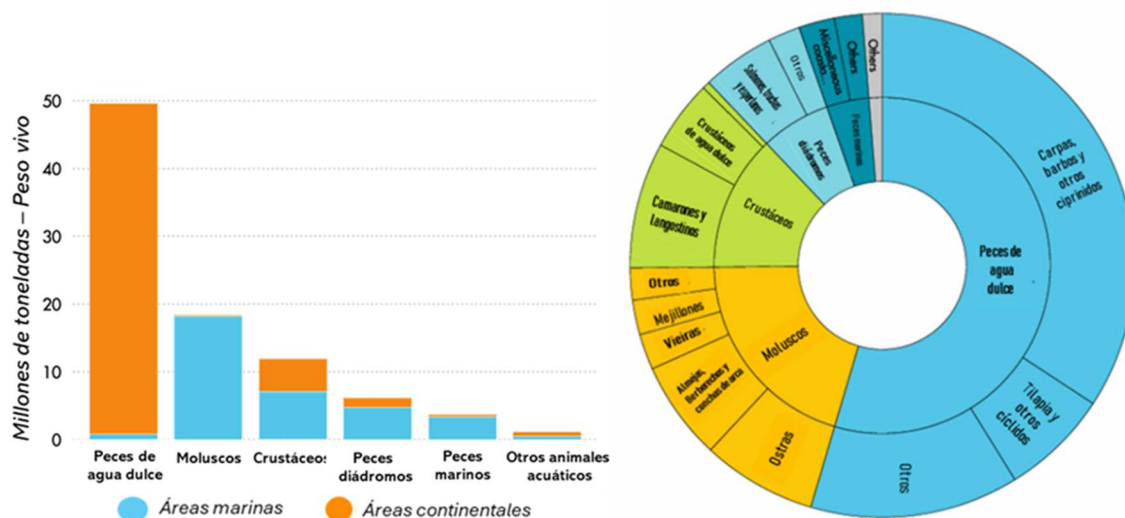


Gráfico 3: Producción acuícola de animales acuáticos por división ISSCAAP (Clasificación Estadística Internacional Estándar de Animales y Plantas Acuáticas) y por aguas interiores y áreas marinas (2021). Fuente: FishStat, FAO 2023.

Si bien a nivel mundial se cultivan más de 700 especies en acuicultura, unas pocas son las que aportan la mayor parte de la producción total. En el Gráfico 4 puede verse la producción acuícola de las principales especies de animales acuáticos en entornos salobre (A) y marino (B) por la división ISSCAAP (2021). A nivel de especies puede verse que la maricultura está dominada por la producción de moluscos bivalvos, varias ostras no identificadas (nei), la almeja de Manila (*Ruditapes philippinarum*), crustáceos como



el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). En la Figura 1, se puede observar la producción de acuicultura de animales acuáticos en áreas marinas por país.



Gráfico 4: Principales especies de animales acuáticos en el entorno salobres (A) y marino (B) por la división ISSCAAP (2021). Fuente: FishStat, FAO 2023.

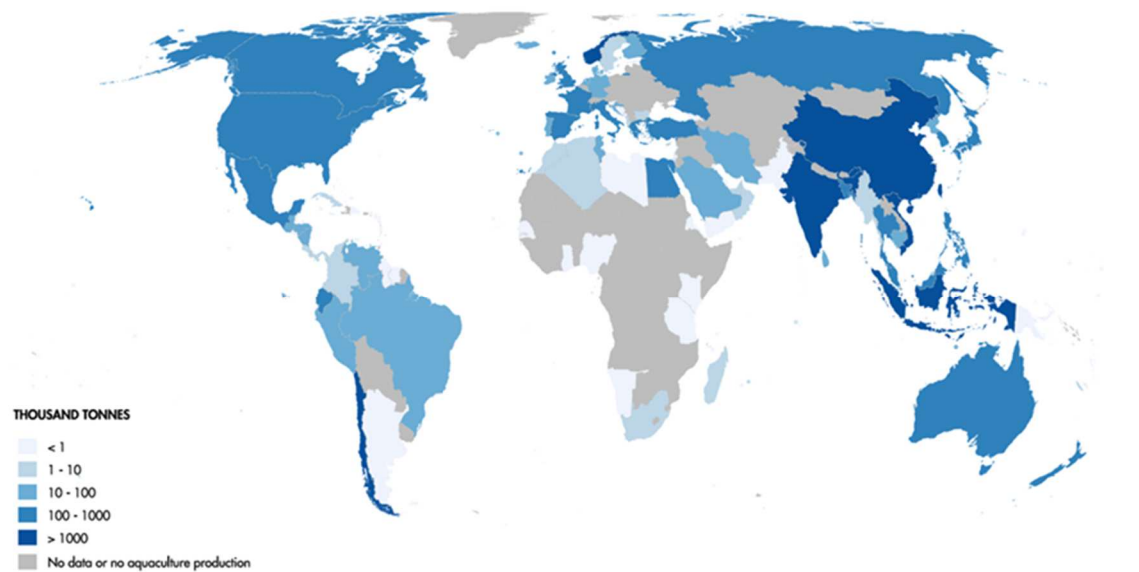


Figura 1: Producción de acuicultura de animales acuáticos en áreas marinas por país (2021) (Miles de toneladas). Fuente: FishStat, FAO 2023.

En piscicultura marina, destacan varias especies con una producción significativa, como la Dorada (*Sparus aurata*), la Lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), la Corvina amarilla (*Larimichthys crocea*), el Pompano (*Trachinotus carolinus*), el Barramundi (*Lates calcarifer*), el Halibut del Atlántico (*Hippoglossus hippoglossus*), el Milkfish o pez de leche (*Chanos chanos*), el Atún de aleta azul (*Thunnus maccoyii*), la Solea europea



(*Psetta maxima*) y la Seriola de aleta amarilla (*Seriola lalandi*), pero ninguno llega a los niveles de producción del Salmón del Atlántico (*Salmo salar*), siendo esta última además de la especie de mayor volumen producido en ambientes marinos, la que posee el más amplio desarrollo en cuanto a tecnologías de producción.

En 2022, la producción total de salmones alcanzó los 3,11 millones de toneladas, mostrando un crecimiento anual del 5,24 %, y el salmón del Atlántico representó más del 87 % de ese total, siendo los principales países productores Noruega y Chile. En cuanto a otros salmónidos como la trucha, solo una fracción menor de su producción se desarrolla en sistemas marinos, también concentrada en estos dos países, mientras su cultivo en agua dulce es liderado por Turquía e Irán.

El Gráfico 5 presenta la participación de los distintos salmónidos producidos y la contribución de los principales países productores, mostrando claramente a Noruega encabezando la producción mundial con un 49 %, seguida por Chile con un 34 %. En conjunto, ambos países concentran más del 80 % de la producción global.

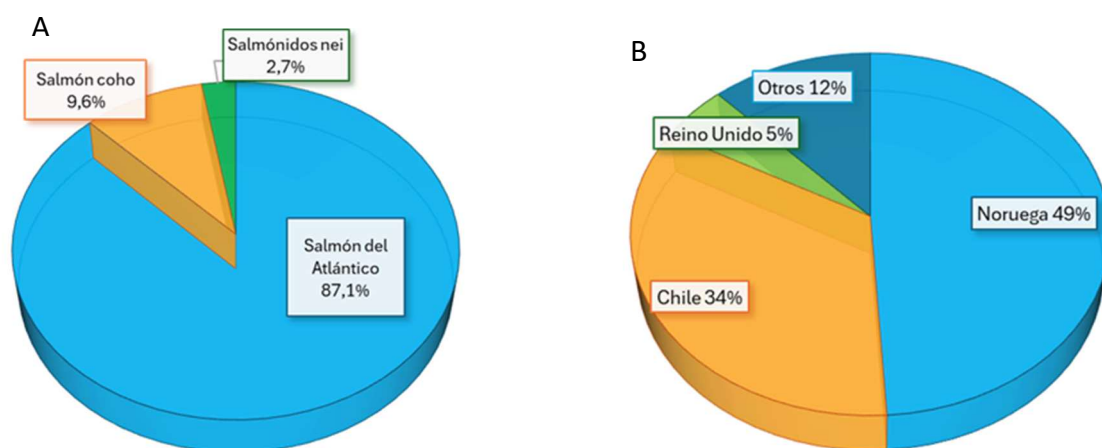


Gráfico 5: Producción de salmónidos (A), principales países productores (B). Fuente: S. Panné Huidobro - DNA.

Ahora bien, a medida que la acuicultura, y particularmente el cultivo de salmón, se ha expandido a nivel mundial, también han aumentado las preocupaciones y la intolerancia social respecto de los impactos negativos que esta actividad puede generar.

Es innegable que, una vez instalado y en operación, un cultivo intensivo de peces produce desechos en forma de nutrientes disueltos (fósforo, amonio, urea) y de material particulado proveniente del alimento no consumido y de las propias heces de los peces. También existe la posibilidad de aparición de enfermedades, cuya prevención o tratamiento puede requerir el uso de sustancias terapéuticas como antibióticos o antiparasitarios que, en cierta medida, pueden liberarse al ambiente. A ello se suman el empleo de pinturas antifouling y el riesgo de escapes de peces, lo cual constituye un problema crítico, debido a su potencial impacto sobre las poblaciones silvestres.



Sin embargo, es importante considerar que es la propia industria del salmón la que debe garantizar condiciones ambientales adecuadas y evitar la contaminación de las aguas que

utiliza. Mantener un ambiente sano es indispensable, no solo para promover la salud y el crecimiento óptimo de los peces, sino para la perpetuación de la industria. Del mismo modo, asegurar altos estándares ambientales fortalece la reputación del producto y facilita su inserción en mercados internacionales, especialmente en aquellos con requisitos estrictos en materia de sostenibilidad.

En el esquema indicado por Keeley y colaboradores (*Figura 2*) se ilustra el impacto generado por la alimentación de un cultivo intensivo de peces desarrollado en jaulas marinas. Las partículas generadas, heces y alimento no consumido en parte se incorporan al flujo de bioincrustación, o sea el ritmo con el que organismos marinos colonizan, crecen y se acumulan sobre las redes y estructuras de las jaulas, determinado por las condiciones ambientales y operacionales del centro de cultivo, otra parte desciende por la columna de agua donde este material puede ser consumido en suspensión, mientras que una fracción mayor se deposita en el fondo, contribuyendo a la acumulación de materia orgánica y a su posterior descomposición a través del proceso de mineralización mediante el cual los microorganismos descomponen compuestos orgánicos complejos y los transforman en sustancias inorgánicas sencillas, como dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), amonio (NH_4^+), fosfatos (PO_4^{3-}) y otros minerales dejándolos disponibles para otros organismos. En este proceso intervienen bacterias, micro y macrofauna que, junto con la bioturbación, regula la degradación del material y genera retroalimentación ecológica positiva amplificando los efectos iniciales.

La fauna bentónica de mayor tamaño continúa la descomposición y fragmentación, liberando nutrientes disueltos que pueden reincorporarse a la columna de agua. Estos procesos están fuertemente influenciados por la suspensión y resuspensión provocadas por las corrientes y el oleaje, que también pueden generar la exportación de materia fuera del área del cultivo. En conjunto, estas dinámicas determinan el metabolismo bentónico en el sitio de sedimentación y la acumulación de materia orgánica bajo las jaulas, afectando finalmente la calidad ambiental y el funcionamiento de los hábitats en la zona fótica cercana a la piscicultura. La zona fótica es la capa superior de un cuerpo de agua en la que penetra suficiente luz solar como para que ocurra la fotosíntesis. En esta zona viven la mayoría de los organismos fotosintéticos y es donde se concentra gran parte de la actividad biológica y de la producción primaria en los ecosistemas acuáticos.

El grado de asimilación y el desperdicio del alimento en salmón cultivado en jaulas depende principalmente de la salud y etapa de crecimiento del pez, la calidad y tamaño del pellet, las condiciones ambientales como temperatura y oxígeno, el manejo de la alimentación (tasa, frecuencia, automatización, el uso de sensores o cámaras), del diseño y ubicación de la jaula y la intensidad de corrientes que pueden arrastrar el alimento fuera de la jaula. En conjunto, estos factores determinan cuánto alimento es realmente ingerido y eficientemente digerido, y cuánto se pierde hacia el ambiente.



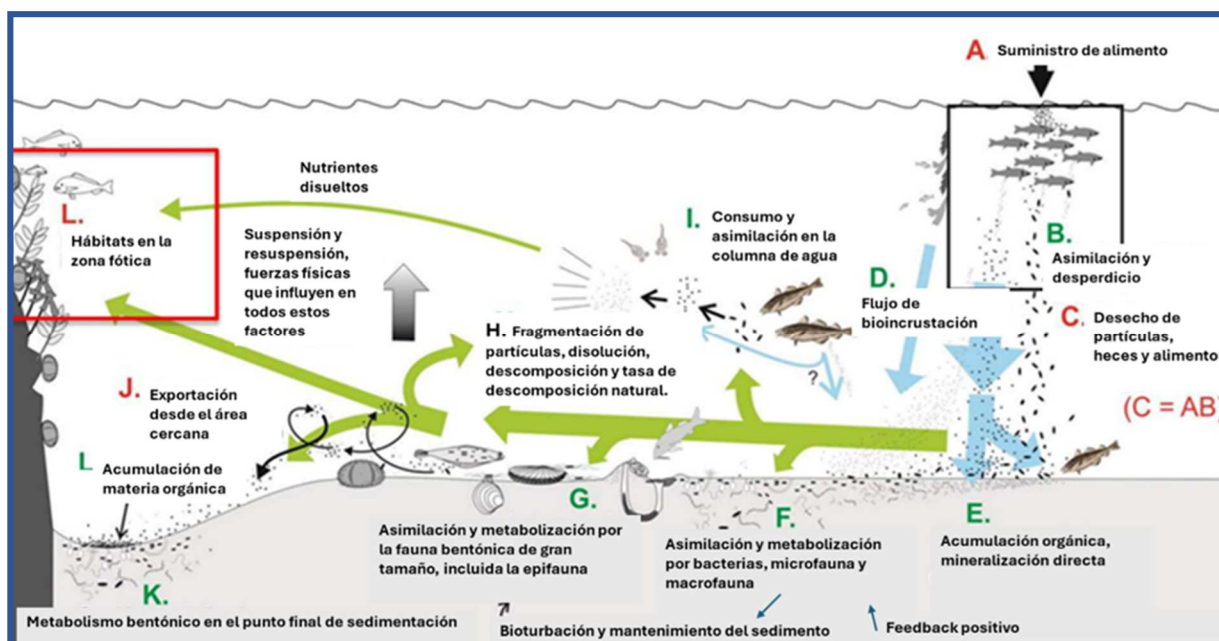


Figura 2: Ejemplificación del impacto generado por la alimentación de un cultivo intensivo de peces desarrollado en jaulas marinas. Fuente: Keeley et al. 2016.

Aproximadamente el 58 % del carbono (C), 60 % del nitrógeno (N) y 80 % del fósforo (P) del alimento no se asimilan en los tejidos del salmón; liberándose al ambiente. La mayor parte del nitrógeno (~47 % del N del alimento) se libera en forma inorgánica, afectando el ecosistema en la columna de agua, mientras que la mayor parte del fósforo (~61 % del P del alimento) se libera como fósforo orgánico particulado, afectando principalmente el ecosistema del fondo marino.



Figura 3: Jaula de cultivo. Foto: Santiago Panné Huidobro – DNA.



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca

Para describir una serie de generalidades sobre la regulación y la gestión ambiental del cultivo de salmón en varios de los principales países productores, se analizaron las normativas utilizadas en Noruega, Chile, Canadá, Nueva Zelanda, Reino Unido, incluyendo Escocia e Irlanda, y Estados Unidos.

En primer lugar, se observa que la piscicultura está regulada mediante marcos legales de alcance nacional y provincial o estadual, que contemplan disposiciones relativas al otorgamiento de concesiones y permisos de cultivo, al control sanitario y a la calidad del agua. En todos los casos, antes de autorizar una operación de cultivo, se requiere la presentación de un estudio de impacto ambiental. Este estudio puede consistir en una simple declaración ambiental o en una evaluación más exhaustiva, dependiendo de la intensidad del cultivo y de los riesgos asociados para los recursos naturales, los ecosistemas y las comunidades locales. Las licencias pueden establecer densidades máximas de cultivo, límites de biomasa, períodos de descanso sanitario, ubicación de las jaulas, y requisitos específicos relacionados con el control de escapes, enfermedades, el registro del uso de productos químicos y la gestión de mortalidades. En algunos países, incluso se exige un seguimiento de la presencia de piojos de mar, con metodologías estandarizadas para su recuento y la definición de estrategias de manejo obligatorias.

Además de estas regulaciones obligatorias, existen también mecanismos de regulación voluntaria, que incluyen códigos de buenas prácticas, sistemas de gestión ambiental basados en normas ISO, acuerdos de producción limpia y diversas certificaciones internacionales de acuicultura sostenible, como las otorgadas por Aquaculture Stewardship Council (ASC), Global GAP o las Best Aquaculture Practices (BAP), entre otras (Figura 4). Para acceder a estas certificaciones, los productores deben mantener registros detallados de su producción, del uso de medicamentos, la alimentación y las mortalidades, estando sujetos a inspecciones periódicas y auditorías externas.



Figura 4: Distintos sellos de certificadoras de acuicultura sostenible y de gestiones de calidad.

En lo referido al monitoreo ambiental, se observa un escalonamiento de exigencias, de modo que los requerimientos aumentan en función del nivel de producción, del impacto potencial y de cuán exigentes son los estándares de calidad ambiental establecidos por la autoridad de control. La frecuencia del monitoreo depende principalmente de la biomasa en cultivo, la sensibilidad ecológica del sitio, así como del tiempo de renovación del cuerpo de agua.



El monitoreo se centra especialmente en los sedimentos y en el bentos. Además de la toma de muestras mediante dragas, suelen incorporarse inspecciones visuales realizadas con buzos o vehículos submarinos operados de forma remota (ROVs), así como mediciones de oxígeno disuelto en la columna de agua, potencial redox, pH, granulometría del sedimento y el análisis de la macrofauna bentónica.

Bajo las jaulas se identifica una zona de efectos permisibles, donde se toleran impactos moderados; fuera de esta área se aplican estándares más estrictos para asegurar la protección del entorno y su recuperación.

Asimismo, se destaca la importancia de validar los modelos de dispersión de partículas y de realizar controles específicos de antimicrobianos y de metales como cobre y zinc.

Un ejemplo de este enfoque escalonado es el sistema de categorías de explotación utilizado en Chile, que clasifica los centros en distintos niveles según su producción, el tipo de sistema y el sustrato. Cuanto mayor es la categoría asignada, mayores son las exigencias de monitoreo.



Figura 5: Juveniles de trucha arcoíris. Foto: Santiago Panné Huidobro – DNA.

Existe la obligación de realizar monitoreo y gestión de los piojos de mar con una frecuencia que puede ser semanal, quincenal o mensual, dependiendo de la especie cultivada y de la temperatura del agua. Se establecen umbrales de activación de tratamientos, como por ejemplo el número de hembras ovígeras por pez, a partir de los cuales es obligatorio aplicar medidas de control.

Las estrategias de manejo incluyen la separación por generaciones, períodos de descanso sanitario anual, cosechas tempranas, y la aplicación coordinada de tratamientos, todo ello con el objetivo de prevenir infestaciones, proteger a las poblaciones de peces silvestres y maximizar la eficacia de los tratamientos.



Todas las operaciones deben contar con planes de contingencia para afrontar eventos como mortalidades masivas, escapes de peces, daños en la infraestructura o pérdidas de alimento. Si se detectan áreas con condiciones anóxicas en los sedimentos, se debe implementar una reducción temporal de la producción y realizar un monitoreo adicional hasta confirmar el restablecimiento de condiciones aeróbicas y el cumplimiento de los límites ambientales establecidos. Asimismo, pueden existir planes costeros regionales que evalúan los impactos de la actividad acuícola sobre el ecosistema y otros usuarios del entorno, tales como la navegación, el paisaje, los hábitats, la fauna silvestre y el patrimonio natural y cultural, entre otros.



Figura 6: Filete de trucha arcoíris. Foto: Santiago Panné Huidobro – DNA.

En 2017, Cooke Aquaculture sufrió un escape masivo de salmones en el estado de Washington en los Estados Unidos, cuando una de sus jaulas flotantes se rompió durante una tormenta (*Figura 7*). Aproximadamente 260.000 a 300.000 salmones escaparon al océano, generando preocupaciones sobre el impacto ecológico, como la competencia con especies locales y la transmisión de enfermedades. El incidente llevó a investigaciones y sanciones, y en 2018, la empresa aceptó una multa y mejoró sus prácticas. Sin embargo, en respuesta el estado de Washington prohibió las jaulas flotantes para la cría de salmón.

En resumen, todos los países analizados requieren una evaluación ambiental tanto para la instalación de nuevos cultivos como para la ampliación de los existentes, con especial atención al estado del bentos, los riesgos de eutrofización, la transmisión de enfermedades y los escapes de peces. El monitoreo del bentos es el componente más desarrollado, dado que su muestreo y cuantificación resultan relativamente accesibles. No obstante, como se mencionó en la actualidad el impacto más crítico son los escapes de peces.



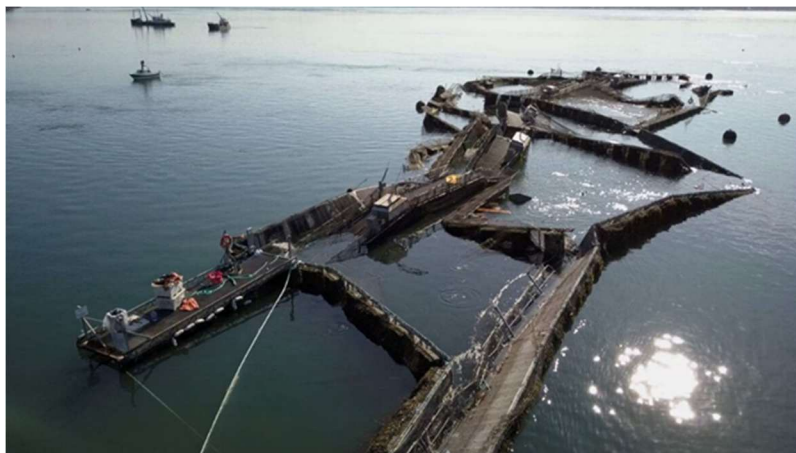


Figura 7: Jaula de salmón de Cooke Aquaculture destruida por una tormenta generando el escape masivo de salmones en el estado de Washington. Fuente: <https://www.cbc.ca/>

Por lo expuesto, se resume que los sistemas de licenciamiento combinan regulaciones obligatorias con mecanismos voluntarios, ambos sujetos a auditorías independientes para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales, y para lograr un equilibrio adecuado entre la protección ambiental y el desarrollo económico de la actividad, resulta esencial la colaboración entre la industria y los organismos de control.

Como se mencionó, para el otorgamiento de una licencia de producción es obligatorio presentar un estudio de impacto ambiental, el cual debe cumplir con requisitos técnicos, ambientales y operativos específicos. Debe demostrar la viabilidad técnica, operativa y financiera del proyecto, respaldada por fundamentos científicos y alineada con un plan de manejo. Debe incluir una descripción detallada del entorno del sitio y de las características de la infraestructura a utilizar, incluyendo las jaulas, su disposición y fondeo, representados mediante un diagrama del área de cultivo. Asimismo, el estudio debe detallar los aspectos operativos, como volúmenes de producción, biomasa y densidades de cultivo, así como la alimentación, métodos de sacrificio, el control de escapes y el manejo de mortalidades. Es imprescindible estimar los residuos y emisiones generadas. Adicionalmente, el estudio debe definir los puntos de muestreo y detallar los métodos de evaluación y las medidas de mitigación de impactos, garantizando que la actividad se desarrolle de manera sostenible y cumpliendo con los estándares ambientales establecidos.

Los estándares ambientales deben ser establecidos por la autoridad competente y la normativa debe describir claramente los métodos utilizados para evaluar el impacto de los emprendimientos, con especial énfasis en determinar las condiciones del lecho marino en las inmediaciones de las jaulas de cultivo. Estos monitoreos suelen incluir análisis de bajo costo y menos tiempo dependiente, siendo realizados directamente en los sitios de cultivo, y complementados con evaluaciones de la fauna en áreas más extensas, con el fin de obtener una visión integral del impacto ambiental de la operación.

Para ilustrar un ejemplo, se describirá el procedimiento utilizado por la norma noruega NS9410, de monitoreo ambiental para centros de acuicultura marina, especialmente Diseñada para evaluar el impacto sobre el fondo marino en instalaciones de



salmonicultura. Esta norma describe métodos estandarizados para medir y monitorear las condiciones del sedimento bajo y alrededor de los centros de cultivo, permitiendo detectar y corregir impactos negativos relacionados con la acumulación de materia orgánica y residuos.

Noruega, como se mencionó, es el mayor productor mundial de salmón, habiendo producido en 2023 aproximadamente 1,5 millones de toneladas, por un valor cercano a 10 mil millones de dólares, distribuidas en alrededor de 990 pisciculturas.

La producción noruega se rige por una variedad de programas de monitoreo ambiental, además de la NS9410, diseñados en función de la extensión espacial y la gravedad de los efectos bentónicos que se presentan debajo y en las cercanías de las jaulas de cultivo.

Los estándares de calidad ambiental fueron desarrollados dentro del Programa de Estandarización de la Información Ambiental, el cual compiló datos del Ministerio de Medio Ambiente, con el objetivo de generar una base de datos racional y costo-efectiva que permita evaluar y gestionar los impactos ambientales de manera eficiente.

La norma se fundamenta en un programa de monitoreo y en los Estándares de Calidad Ambiental dentro de un sistema de gestión denominado MOM (*“Modeling – On growing fish farms – Monitoring”*) que se interpreta como un modelo aplicado a las pisciculturas en operación que combina el impacto potencial con el monitoreo real de los efectos en el lecho marino. El principio para la regulación del impacto ambiental puede resumirse en la necesidad de monitorear los efectos ambientales reales, y no únicamente el volumen de efluentes generados. La intensidad del monitoreo se adapta a la extensión del impacto observado, y este puede modificarse en función de cambios en la legislación o de la adquisición de nuevos conocimientos científicos.

Los Estándares de Calidad Ambiental establecen los límites para el impacto máximo permisible en el entorno de los centros de cultivo. Las condiciones del lecho marino se clasifican en cuatro categorías, que van desde impacto nulo hasta impacto inaceptable.

Antes de iniciar un programa de monitoreo, se recomienda disponer de varias cartas y mapas para planificación y referencia espacial, incluyendo:

- Carta 1:50.000 del área y ubicación de la piscicultura.
- Carta 1:5.000 con mayor detalle del sitio y las instalaciones.
- Mapa con la topografía del lecho marino circundante (al menos 10 m)
- Mapa de disposición de la piscicultura con ubicación, dimensiones, número de jaulas y distancias entre ellas.

La frecuencia del monitoreo se determina en función del nivel de impacto observado en el sitio. Cuando se detecta un impacto inaceptable, en el pasado la práctica habitual consistía en trasladar la piscicultura a otro sitio, actualmente, la estrategia preferida es reducir temporalmente la producción y modificar la posición de las jaulas dentro del área concesionada, con el fin de minimizar los efectos ambientales sin interrumpir completamente la actividad.

Para evaluar el impacto ambiental, se consideran diferentes zonas alrededor del sitio de cultivo (*Figura 8*), cada una con distintos grados de afectación y sujeta a estándares



ambientales específicos. Una zona de impacto local que corresponde al área bajo y en las inmediaciones de la piscicultura, donde se depositan la mayoría de las partículas provenientes del cultivo. Esta zona no debe extenderse más de 30 metros desde las jaulas. La fuente de impacto es principalmente la piscicultura, y en esta área se observarán cambios significativos en las comunidades bentónicas y en las condiciones químicas del lecho marino.

Le continúa una zona de impacto intermedia ubicada entre la zona local y la zona regional, y es el área donde se depositan las partículas menores. Aunque la piscicultura sigue siendo la principal fuente de impacto, pueden existir otras fuentes externas, y el nivel de afectación es menor que en la zona local.

Y una zona de impacto regional más allá de la zona intermedia, donde la piscicultura puede constituir una de varias fuentes de impacto sobre el ecosistema circundante.



Figura 8: Zonas de impacto de la Salmonicultura. Fuente: Santiago Panné Huidobro – DNA.

Dado que las condiciones ambientales y los niveles de tolerancia son extremadamente variables en el mar, resulta más relevante monitorear el impacto ambiental mediante parámetros de efectos críticos, en lugar de limitarse a medir únicamente los efluentes del cultivo.

El programa de monitoreo incluye tres tipos de estudios: A, B y C. Los estudios A y B evalúan el impacto actual y potencial en los sedimentos bajo y alrededor de las pisciculturas. Los estudios C buscan obtener una visión integral del impacto en la zona receptora, abarcando las áreas intermedia y regional.

Además, las autoridades competentes pueden requerir la realización de monitoreos adicionales, antes, durante las operaciones y después de que el sitio haya sido abandonado.

Los muestreos se realizan durante períodos de producción intensiva en el sitio, especialmente en la época del año de mayor actividad, y son determinados por las



autoridades competentes siguiendo el principio mencionado de que la intensidad del monitoreo se incrementa proporcionalmente al impacto observado (*Tabla 1*). En consecuencia, la frecuencia de los estudios depende de la condición del sitio: los estudios tipo A se realizan cada tres meses si la condición del sitio es 1, cada dos meses si la condición es 2, y mensualmente si la condición es 3, los estudios tipo B se llevan a cabo cada dos años cuando la condición del sitio es 1, anualmente si la condición es 2, y cada seis meses si la condición del sitio es 3.

Condición del sitio		
	Estudios A	Estudios B
1	Cada 3 meses	Cada 2 años
2	Cada 2 meses	Anualmente
3	mensualmente	Cada 6 meses
4	Extendidos y parámetros adicionales	

Tabla 1: Frecuencia de los estudios A y B.

Si la condición del sitio es 4, es decir, inaceptable, se realizan estudios extendidos y con el monitoreo de parámetros adicionales, tales como carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo, zinc, cobre, compuestos antiparasitarios y antibióticos.

Los estudios tipo C pueden llevarse a cabo hasta cuatro años después de la instalación del cultivo, aunque el programa de monitoreo se evalúa de manera regular y se ajusta según las necesidades derivadas de los resultados obtenidos. También los estudios tipo C se realizan antes de que el cuerpo de agua sea utilizado para el cultivo de peces, proporcionando la documentación inicial sobre las condiciones ambientales. Esta información permite evaluar la extensión del impacto de la piscicultura al compararla con estudios posteriores.

Los estudios de tipo A pueden ser realizados fácilmente por el propio productor. Consisten en medir la tasa de sedimentación bajo las jaulas y en la elaboración de una serie temporal, que proporciona información sobre la extensión de la deposición de partículas en el fondo, pudiendo indicar posibles casos de sobrealimentación. Para ello, se deben utilizar dos trampas de sedimento, capaces de coleccionar el alimento no ingerido y los excrementos durante un período de 14 días. Cada trampa debe tener un diámetro mínimo de 10 cm y una longitud equivalente a seis veces su diámetro. Una trampa se suspende al costado de la jaula con mayor cantidad de peces o con el régimen alimenticio más intensivo, y la otra se coloca en el fondo de otra jaula que contenga una cantidad media de peces. Una vez sedimentado se estima la cantidad de sedimento. Es importante tener en cuenta que este sedimento puede ser peligroso para los peces, por lo que no debe vaciarse cerca de las jaulas.



Los estudios de tipo B consisten en el monitoreo de las condiciones del lecho marino bajo condiciones de cultivo de peces y en el análisis de su tendencia a lo largo del tiempo, dado que se realizan de forma regular en intervalos previamente establecidos.

Se analizan tres grupos de parámetros en los sedimentos:

- El Grupo I corresponde a la macrofauna bentónica (animales mayores a 1 mm), registrando su presencia o ausencia;
- Grupo II a la medición de pH y potencial redox, que permiten evaluar las condiciones químicas del sedimento y su nivel de oxigenación;
- Grupo III es una caracterización sensorial cualitativa que incluye burbujeos, olor, consistencia, color, volumen dragado y espesor de la capa de sedimento depositada, proporcionando información sobre la naturaleza y acumulación de los sedimentos.

A cada grupo de parámetros se le asignan puntos según el grado de afectación, siendo los valores más altos los que indican un mayor impacto. La condición del sitio se determina durante el monitoreo, considerando únicamente parámetros que no requieren análisis de laboratorio. Estos estudios deben ser realizados por personal capacitado y competente, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados.

La distinción entre condiciones sedimentarias aceptables o inaceptables se basa fundamentalmente en los niveles máximos de acumulación en los que la fauna bentónica aún puede sobrevivir dentro del sedimento.

Para realizar los estudios de tipo B, el equipamiento necesario (*Figura 9*) incluye una draga con un área mínima de muestreo de 200 cm², que debe cerrarse completamente para evitar la pérdida de agua y sedimento durante el traslado a la superficie, la misma debe contar con bisagras superiores que faciliten la inspección del material muestreado, así como de un malacate para su operación. Adicionalmente es necesario instrumentos para medición de pH y potencial redox y para el análisis de macrofauna, se requiere una criba con agujeros de 1 mm de diámetro, contenedores, recipientes para submuestras, una lupa de 5X, así como soluciones y recipientes para desinfección.



Figura 9: Parte del equipamiento necesario para los estudios tipo A y B.



Durante el primer estudio en un sitio, el lecho marino se mapea tomando entre 15 y 20 muestras distribuidas a lo largo de toda el área, seleccionándose aquellas que sean más

representativas de las condiciones del fondo bajo la piscicultura, registrando la profundidad en la que se obtienen las mismas. En muestreos posteriores, se colecta un mínimo de 10 muestras, y se mapea la ubicación de los puntos de muestreo para facilitar los estudios futuros.

La disposición de las jaulas influye en la selección de los puntos de muestreo, si las jaulas están dispuestas de forma compacta, las muestras se toman bajo las jaulas y hacia los extremos, mientras que, si las jaulas están dispersas, se toma al menos una muestra debajo de cada jaula.

Siempre se prioriza tomar las muestras bajo la corriente predominante y hacia la zona más profunda. Si las muestras de los extremos muestran condiciones fuertemente afectadas (condiciones 2 o 3), se recolectan muestras adicionales hacia la zona de transición.

Una vez analizadas las muestras, los resultados se registran en una planilla de muestreo (*Figura 10*), que se utiliza para determinar la condición del sedimento analizado, tanto para cada muestra individual, para el promedio del conjunto de muestras, y de la condición de cada grupo, determinando posteriormente la condición media del sitio.

Para los parámetros del Grupo I, se registra la abundancia de los distintos grupos animales, así como la presencia y abundancia de poliquetos utilizados como bioindicadores. Por ejemplo, en el Mar del Norte se emplea *Malacoceros fuliginosa* como indicador de condiciones ambientales asociadas a ambientes con enriquecimiento orgánico.

Este grupo de parámetros distingue únicamente entre condición aceptable o inaceptable, si más de la mitad de las muestras contiene animales, la condición del grupo se considera aceptable, correspondiente a condiciones del sitio 1, 2 o 3, si menos de la mitad de las muestras contiene animales, la condición se considera inaceptable, correspondiente a una condición 4.

Para los parámetros del Grupo II, los valores de pH y potencial redox (Eh) se evalúan mediante un sistema de puntos según el *Gráfico 6*, que divide los resultados en cinco intervalos, cada uno indicando la condición de la muestra. Un Eh positivo indica mayor disponibilidad de oxígeno, lo que favorece la oxidación de compuestos en el sedimento, mientras que un Eh negativo refleja condiciones con menor oxígeno.



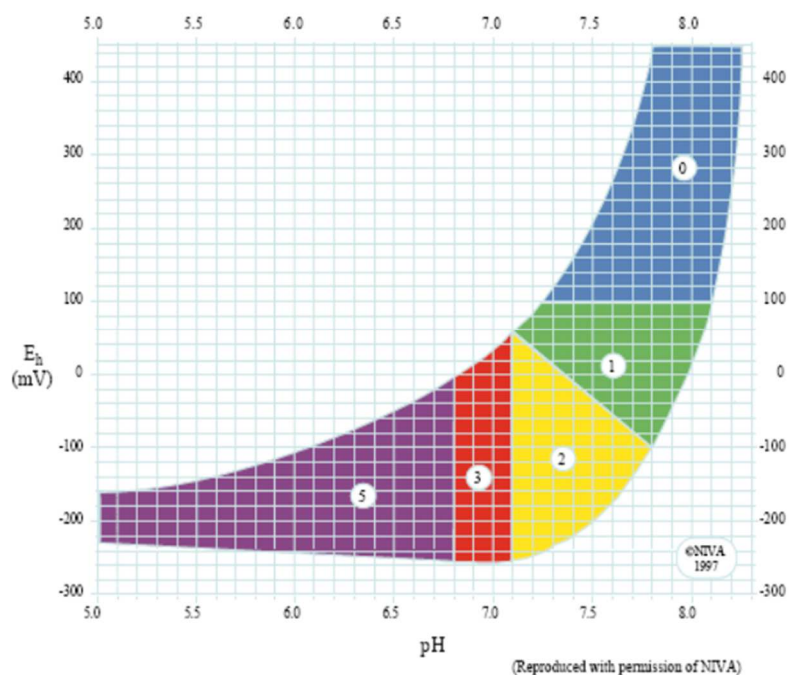


Gráfico 6: Sistema de evaluación para los valores de pH y potencial redox (E_h).

Para los parámetros del Grupo III, los atributos sensoriales de cada muestra se valoran de la siguiente manera:

- Burbujas de gas: ausencia = 0 puntos, presencia = 4 puntos.
- Color del sedimento: gris pálido = 0 puntos, marrón o negro = 2 puntos.
- Ausencia de olor = 0 puntos, olor leve = 2 puntos, olor fuerte = 4 puntos.
- Consistencia firme = 0 puntos, suave = 2 puntos, suelta = 4 puntos.
- Volumen de dragado: menor a $\frac{1}{4}$ = 0 puntos, entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ = 1 punto, mayor a $\frac{3}{4}$ = 2 puntos.
- Acumulación de materia orgánica: menor a 2 cm = 0 puntos, entre 2 y 8 cm = 1 punto, más de 8 cm = 2 puntos.

La suma de estos puntos se ajusta mediante un factor de corrección de 0,22 para poder compararla con los puntos del Grupo II, obteniendo así una suma corregida. Este valor corregido se utiliza para determinar la condición de cada muestra, y a partir del promedio de todas las muestras se calcula el índice, que refleja la condición global de los parámetros del sedimento.

La condición promedio del sitio se determina a partir de los resultados combinados de los tres grupos de parámetros (Tabla 2):

- Si es menor a 1,1, el sitio se clasifica como condición 1.
- Si se encuentra entre 1,1 y 2,1, se considera condición 2.
- Si está entre 2,1 y 3,1, corresponde a condición 3.
- Y si es mayor a 3,1, la condición se clasifica como 4, indicando un impacto inaceptable.



X: Índice - valor medio para cada grupo (G II) y Suma corregida (G III)	$X < 1,1$	$1,1 \leq X < 2,1$	$2,1 \leq X < 3,1$	$X \geq 3,1$
Condición del grupo	1	2	3	4

Tabla 2: Determinación de la condición del grupo analizado.

El cálculo de la condición promedio del sitio se basa en los valores más altos obtenidos en los tres grupos de parámetros. Como puede observarse en la *Tabla 3*, para el Grupo I, se asigna aceptable o inaceptable. Si el Grupo I es inaceptable, y los Grupos II y III presentan condición 1 o 2, la condición del sitio se considerará 4, reflejando un impacto significativo. Si el Grupo I es aceptable, pero alguno de los Grupos II o III muestra condiciones inaceptables, la condición global del sitio igualmente se considera inaceptable.

De este modo, la metodología garantiza que cualquier impacto crítico en alguno de los grupos de parámetros refleje adecuadamente la condición general del sitio.

Condición (Grupo I)	Condición (Grupo II y III)	Promedio del valor para el sitio
Aceptable	1, 2 o 3	1, 2 o 3
Aceptable	4	4
4	1 o 2	1 o 2
4	3	4
4	4	4

Tabla 3: Determinación de la condición promedio del sitio.

La planilla para los puntos de muestreo es principalmente descriptiva e incluye información como: Nombre de la empresa, Número de la concesión, Ubicación del sitio, Fecha del muestreo, Punto y área de muestreo y profundidad, Número de muestras e intentos, Descripción del fondo, Grupo de parámetros y abundancia de animales observados, se señala la presencia de burbujas, número de individuos de poliquetos indicadores, observación de alimento no ingerido o heces.

Otra planilla (*Figura 11*) se utiliza para registrar los resultados de las muestras, donde se anotan los valores obtenidos para cada parámetro de cada uno de los tres grupos. Con esta información se calculan: la condición de cada grupo, el valor promedio para los Grupos II y III, el índice global, y la condición promedio del sitio. De esta manera, se dispone de un registro completo y sistemático que permite evaluar de manera objetiva las condiciones del lecho marino y el impacto de la piscicultura.



Al finalizar el estudio, se elabora un informe completo que incluirá una carta a escala 1:5.000 del sitio, mapa topográfico del área con la ubicación de las jaulas y los puntos de muestreo, así como todas las planillas completas durante el estudio.

El informe debe proporcionar una descripción detallada de las condiciones bajo la piscicultura, comparándolas con estudios previos, e indicando cualquier variación observada en las condiciones del sedimento en diferentes partes del sitio.

Empresa:		Consección n°									
Sitio:		Fecha:									
Punto de muestreo (n°)											
Profundidad (m)											
Número de muestras (intentos)											
Tipo de fondo:											
Conchilla-arena											
Arena-grava											
Arcilla											
Barro											
Pedregoso											
Rocoso											
*Equinodermos											
*Crustáceos											
*Moluscos											
*Poliquetos											
** <i>Malacoceros fuliginosa</i>											
Organismos del cultivo											
Alimento/heces											
Beggiatoa											
burbujeos espontaneos											
burbujeo durante la muestra											
burbujeo en la muestra											
Area dragada:											
Firma:	* Pocos/muchos/una especie dominante ** Número de individuos										

Figura 10: Ejemplo de Planilla de muestreo



Sitio:			Fecha:						
Gr.	Parámetro	Punto	N° de muestra						Índice
I	Animales	si 0 / no 1							
									Condición Grupo I
II	pH	valor							
	Eh (mV)	valor							
		+ ref potencial							
	pH/Eh	puntos							
		condición de la muestra							
									Condición Grupo II
III	Burbujeo	si 4 / no 0							
	color	gris/pálido 0							
		marrón/negro 2							
	olor	ninguno 0							
		medio 2							
		fuerte 4							
	consistencia	firme 0							
		suave 2							
		disuelta 4							
	volumen								
	dragado	< 1/4 0							
		1/4 - 3/4 1							
		> 3/4 2							
	Grosor	< 2 cm 0							
	sedimento	2 - 8 cm 1							
	> 8 cm 2								
	sumatoria								
	Corr. Sum (0,22)								
									Condición Grupo III:
II & III	Valor medio								
									Condición Grupo II y III
Valor medio para el sitio:									Firma:

Figura 11: Ejemplo de planilla de resultados.

Las muestras clasificadas como inaceptables deben analizarse por separado, señalando si es necesario implementar medidas correctivas, incluso cuando la condición promedio del sitio sea aceptable. Al compararse con muestreos anteriores, el informe permitirá detectar tendencias a lo largo del tiempo.

Los estudios de tipo C que evalúan las condiciones desde el sitio de cultivo hasta la zona de impacto regional o receptor final, se centralizan en las comunidades de fauna del fondo marino, aunque también recopila información sobre parámetros complementarios que permitan determinar si la materia orgánica presente se origina en la piscicultura o proviene de otras fuentes de contaminación. Se recomienda que este tipo de estudios se realice en colaboración con otros actores responsables que puedan contribuir al impacto en la zona receptora, con el fin de obtener un panorama más completo y preciso.

Para los estudios de tipo C, los siguientes parámetros son obligatorios:

- Estudio cualitativo y cuantitativo de la macrofauna del lecho marino.
- Parámetros químicos, incluyendo carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo, zinc y cobre.



- Distribución granulométrica del sedimento, indicando las proporciones relativas de arcilla, limo, arena y grava.
- Contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua.
- Descripción visual del sedimento, de carácter no cuantitativo, considerando color, olor y la presencia de pellets excretados o alimento no ingerido.

Las muestras se recolectan siguiendo las normativas NS9422 y NS9423, tomando un conjunto de muestras cerca de la piscicultura y otro en la zona más profunda del área. Si los resultados iniciales muestran una condición ambiental desfavorable, se realizarán muestreos adicionales entre ambas áreas para un análisis más detallado.

El estado de condición referido al bentos se determina considerando un área de muestreo de 0,2 m²:

- Condición 1: Si se identifican al menos 20 especies de macrofauna, excluyendo nematodos, y ninguna especie representa más del 65 % del total de individuos.
- Condición 2: Se encuentran entre 5 y 19 especies de macrofauna, excluyendo nematodos, y ninguna especie contribuye con más del 90 % del total de individuos.
- Condición 3: Se detectan entre 1 y 4 especies de macrofauna.
- Condición 4: No se encuentra macrofauna en la muestra.

En la zona de impacto regional, los valores obtenidos se compararán con los límites establecidos por la autoridad de aplicación como referencia para evaluar el estado ambiental.

El informe del estudio incluirá toda la información original y la apreciación concluyente, así como los resultados de estudios previos, los cuales serán comparados mediante un análisis estadístico multivariado conforme a la norma NS9423.

Al igual que en los estudios anteriores, el informe debe contener toda la información necesaria para permitir la realización de un estudio idéntico en el futuro, de manera que pueda evaluarse la tendencia ambiental a lo largo del tiempo.

Como se mencionó previamente, si los resultados muestran un estado de condición inaceptable, inicialmente se reducirá la producción o se reubicará la disposición de las jaulas dentro del sitio. Si la condición no mejora tras estas medidas, se deberá proceder al abandono del sitio.

La *Tabla 4* presenta información extraída del trabajo de Wilson y colaboradores (2009) que muestra cuándo se realiza el monitoreo ambiental en diferentes países y cuáles son los criterios que determinan la necesidad de una evaluación de impacto ambiental (EIA).



Monitoreo ambiental	Noruega	Reino Unido	Irlanda	Canadá	EEUU	Chile
En el sedimento						
Carga orgánica en el sedimento	Mensualmente, cada segundo o tercer mes según el grado de explotación					
Presencia de macro fauna	Dos veces al año, Anualmente o cada segundo año dependiendo del grado de explotación	Anualmente entre 01/05 – 31/10 dentro del mes de mayor biomasa. Estudio extendido dependiendo de la biomasa y de la corriente	Anualmente durante la mayor biomasa o dentro de los 30 días posteriores a las cosechas	Anualmente entre 1/8-31/10. Parte de un estudio visual	Dos veces al año Abril-mayo y agosto-octubre	Anualmente durante el pico de biomasa
PH y potencial Redox				Anualmente dentro de los 30 días de la mayor biomasa		
Color, olor y presencia de gas en el sedimento, consistencia y grosor				Anualmente entre 1/8-31/10. Parte de un estudio visual		
Análisis cuantitativo de la fauna béntica				Anualmente dentro de los 30 días de la mayor biomasa	Una vez en 5 años como mínimo en agosto-octubre	
Contenido orgánico					Dentro del mes de uso	
Tamaño de las partículas				Anualmente dentro de los 30 días de biomasa pico	Cada dos años en Maine	
Residuos de medicinas					Anualmente	
Cobre, Zinc, sólidos totales, nitrógeno total (Kjeldahl)		Anualmente entre 01/05 y 31/10 dentro del mes de biomasa pico. Estudios más extensos dependiendo de la biomasa y la corriente		Anualmente dentro de los 30 días de biomasa pico o entre 1/8-31/10	Dos veces al año – abril-mayo y agosto-octubre	
Sulfuro					Dos veces al año - abril -mayo y agosto -octubre	
Presencia de alimento o heces			Anualmente dentro del mes de biomasa pico o 30 días posterior a la cosecha	Anualmente entre 1/8-31/10 – parte de estudio visual		
% Beggiatoa						
Personal		SEPA	Calificado aprobado	Consultor	Consultor	Consultor

Tabla 4: Monitoreo ambiental en diferentes países y cuáles son los criterios que determinan la necesidad de una evaluación de impacto ambiental (EIA).



Noruega, por ejemplo, lo requiere antes de otorgar una concesión o al ampliar una existente, si se utilizan jaulas móviles con un volumen igual o superior a 48.000 m³, o jaulas fijas o permanentes mayores o iguales a 36.000 m³; Reino Unido: antes de otorgar una concesión o al ampliar una existente, para todos los cultivos en áreas consideradas sensibles, y para nuevos cultivos con biomasa ≥100 t o superficie de jaulas ≥1.000 m²; Irlanda: Solo si se considera que el cultivo tiene un efecto significativo sobre el ambiente.

Irlanda es conocida por producir salmón certificado como “orgánico”, alimentado con piensos sostenibles y criado a menor densidad en jaulas marinas en comparación con otros países, Más del 95 % del salmón cultivado en Irlanda está certificado como orgánico, con un modelo productivo deliberadamente pequeño, debido a la posición social y conflictos locales, con una producción aproximada menor a las 15 mil toneladas.

Canadá y Estados Unidos, previo a otorgar una concesión o ampliar una existente. Estados Unidos sólo en la región del Maine ya que está prohibida en otros estados. En Chile generalmente se realiza en la mayoría de los cultivos, pero en muchos casos basta con presentar una declaración de impacto ambiental.

En la mayoría de los países, los estudios son llevados a cabo por consultores especializados, excepto en el Reino Unido, donde la responsabilidad recae directamente en el organismo nacional regulador del medio ambiente.

La *Tabla 5* muestra la frecuencia de los muestreos de sedimento. De manera general estos estudios se realizan anualmente, durante el mes de mayor biomasa en el sitio de cultivo, aunque en algunos casos se efectúan dos veces al año.

Monitoreo ambiental	Noruega	Reino Unido	Irlanda	Canadá	EEUU	Chile
Evaluación del impacto ambiental						
Cuando	Previo de la concesión de un sitio o al aumentar uno existente	Previo de la concesión de un sitio o al aumentar uno existente	Sólo si se considera que posea un significativo efecto en el ambiente	Previo de la concesión de un sitio o al aumentar uno existente	Previo de la concesión de un sitio o al aumentar uno existente	Previo a la concesión de un nuevo sitio
Criterio/ nivel de referencia determinante de requisito de EIA	Jaulas móviles ≥48.000 m ³ Permanentes ≥36.000 m ³	Todos los cultivos localizados en un área sensible y los nuevos cultivos con biomasa ≥100 ton o superficie de jaulas ≥1.000 m ²	Cada cultivo es considerado separadamente.	La mayoría de los cultivos requieren EIA antes de su concesión	La mayoría de los cultivos requieren EIA antes de su concesión	En algunos casos la DIA requiere un EIA completo cuando se identifican factores adicionales

Tabla 5: Frecuencia de los muestreos de sedimento y requerimiento de estudios de impacto ambiental.



Se mencionó que existen mecanismos de regulación voluntaria, que incluyen diversas certificaciones internacionales de acuicultura sostenible, como por ejemplo las otorgadas por Aquaculture Stewardship Council (ASC), la cual es una organización internacional independiente y sin fines de lucro dedicada a promover desde 2010 una acuicultura ambiental y socialmente responsable mediante un sistema de certificación voluntaria.

Los estándares de la ASC, establecen criterios ambientales para la protección de ecosistemas, control de efluentes, uso responsable de antibióticos y químicos, bienestar animal, e incluyen criterios sociales como las condiciones laborales, la relación con comunidades locales y derechos humanos. Las especies certificadas incluyen entre otras: Salmón, Camarón, Tilapia, Pangasius, Trucha, Mejillones, y Ostras.

El ASC no prohíbe automáticamente la certificación de especies no nativas (como el salmón Atlántico, *Salmo salar*, en el hemisferio sur). Lo que exige es demostrar que los riesgos ambientales están controlados.

Por otra parte, es importante considerar los avances en monitoreo mediante cámaras y tecnologías asociadas, que están transformando la acuicultura al permitir optimizar la alimentación, mejorar el bienestar animal y reducir el impacto ambiental. Hoy día si se busca en cualquier buscador o revista de acuicultura innovación tecnológica aparecerán una cantidad de artículos que hablen de monitoreo en tiempo real, alimentación de precisión, bioseguridad y la biotecnología, IA y automatización, IoT control remoto y gestión automatizada, blockchain, etc. Estas innovaciones permiten optimizar el control de las condiciones ambientales y de salud de los peces, mejorar la eficiencia alimenticia, prevenir enfermedades, automatizar procesos operativos, y garantizar la trazabilidad de los productos desde el cultivo hasta el consumidor. Estas tecnologías no solo aumentan la sostenibilidad, sino que también permiten a la industria cumplir con normas sanitarias y ambientales, mejorando la transparencia y confianza en toda la cadena de valor.

Como se mencionó en el principio, es la propia industria la que debe garantizar condiciones ambientales adecuadas, no solo para promover la salud y el crecimiento óptimo de los peces en cultivo, sino también para asegurar la continuidad y sostenibilidad de la actividad. Es fundamental evitar impactos ambientales innecesarios y mantener un equilibrio aceptable entre los efectos sobre el medio ambiente y los beneficios socioeconómicos que genera la acuicultura. Para ello, es primordial contar con un marco de manejo sólido, que permita mantener el impacto ambiental en un nivel mínimo y dentro de los límites permitidos.



Bibliografía de consulta:

- **Eleftheriou, M. & T. Fernandez, 2000.** MARAQUA. Workshop 3: Overview of European and national regulations: environmental monitoring of aquaculture operations in European countries. Maraqua 3er Workshop, topic Group 3,4. <https://docest.com/doc/636575/maraqua-overview-of-european-and-national-regulations>
- **Norwegian Standard, NS 9410 (E), 2000.** Norwegian State Pollution Control Authority
- **Telfer, T. C. & M. Beveridge, 2000.** Monitoring environmental effects of marine fish aquaculture. Institute of Aquaculture, University of Stirling, 9 pp.
- **Gonenc, I.E., 2000.** Assessments of environmental effects of marine fish farms. Literature Review.
- **Gyllenhammar, A. & L. Hakanson, 2004.** Environmental consequence analysis of fish farm emissions related to different scales and simplified by data from the Baltic – a review. *Marine Environmental Research*, 60 (2005): 211-243.
- **Wilson, A., et al., 2009.** Review of environmental impact assessment and monitoring in salmon aquaculture. In *FAO, Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, N° 527*, Rome. Pp. 455-535.
- **Wang C-D, Skomsø DB and Olsen Y., 2025.** Environmental assessments for seabed impact and resilience from aquaculture: a case study in an intensive production area (Frøya, Norway). *Front. Mar. Sci.* 12:1621315.
- **Arne Ervik, et. al., 1997.** Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring), *Aquaculture*, Volume 158, Issues 1–2, Pages 85-94.
- **Pia Kupka Hansen, et. al., 2001.** Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring), *Aquaculture*, Volume 194, Issues 1–2, Pages 75-92.
- **Anders Stigebrandt, et. al., 2004.** Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming: III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring.
- **Environmental monitoring of fish farming facilities, 2016.** <https://standard.no/en/sectors/fisheries-and-aquaculture/environmental-monitoring-of-fish-farming-facilities/>
- **Keeley, N. et al., 2015.** Benthic recovery and re-impact responses from salmon farm enrichment: Implications for farm management, *Aquaculture*, Volume 435.
- **ASC, (2024).** ASC salmon standard. Version1. 4.1 (Utrecht, the Netherlands: Aquaculture Stewardship Council).
- **FAO, 2009.** Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527*. Rome, FAO. 2009. 57p.
- **FAO, 2024.** The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. 264 p.
- **FAO, 2024.** Fishery and Aquaculture Statistics– Yearbook 2021. *FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>.





**Ministerio
de Economía**
República Argentina

**Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca**