

SECCIÓN DESTACADA  
PESCA Y AGUICULTURA



# CUIDADOS DE FONDO

¿Cómo evitar la contaminación por residuos y recuperar el fondo de las concesiones acuícolas?



**T**ras veinticuatro meses de implementación, en enero recién pasado cumplió un año de vigencia la Ley 21.410 que modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura para exigir a los titulares de concesiones acuícolas implementar medidas para evitar o reducir el depósito de residuos que dañan el fondo marino o lacustre. ¿Qué nivel de cumplimiento se ha constatado en este período? Mónica Rojas, Subdirectora de Acuicultura del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) responde: “Durante el año 2024, se denunciaron 5 centros de cultivo con contaminación del fondo marino por residuos inorgánicos, en 2023 se denunciaron 30 centros y en 2022, antes de la entrada en vigencia de la Ley 21.410, se denunciaron 3 centros según la normativa aplicable del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA)”.

Ese ha sido parte de los efectos que ha tenido la aplicación de esta regulación, que es una de las principales herramientas con que hoy se busca resguardar e incluso recuperar las áreas del fondo de las concesiones afectadas por residuos orgánicos.

¿Qué exigencias específicas impone esta normativa?, ¿qué otros instrumentos de gestión y tecnológicos se están aplicando o se podrían incorporar para resguardar este importante componente ambiental?

### TRABAJOS DE LIMPIEZA

La Ley 21.410 establece medidas específicas para abordar la contaminación por residuos inorgánicos y orgánicos en las concesiones de acuicultura. “Este marco regulatorio busca mejorar las prácticas ambientales en la industria acuícola, promoviendo una fiscalización más estricta y fomentando la responsabilidad ambiental de los concesionarios”, señala Mónica Rojas.

En ese contexto, se exige a las empresas adoptar medidas para evitar la acumulación de residuos inorgánicos en el fondo marino. Si se constata su presencia, “el titular tiene la obligación de realizar los trabajos de limpieza, y dichos residuos deben ser transportados y dispuestos en lugares autorizados. La normativa considera un plazo de seis meses para realizar los trabajos de limpieza y en caso de no retirar los residuos en ese periodo, la Superintendencia del Medio Ambiente es el organismo competente para aplicar las sanciones conforme a la normativa vigente”, detalla la representante de Sernapesca.

Agrega que las principales medidas que los concesionarios deben ejecutar en los planes de limpieza de sus áreas de operación son las siguientes:

- Identificación y caracterización de residuos: Incluye el monitoreo mediante ROV (vehículos operados de manera remota) o inspección con buzos para determinar la magnitud y tipo de residuos presentes.
- Retiro y recuperación de residuos: Esto se puede realizar a través de la extracción manual o mecánica de los desechos mediante buzos certificados o equipos especializados. Asimismo, se usan tecnologías como drones submarinos y sistemas de succión en zonas de difícil acceso.
- Gestión y disposición final de residuos: Considera el transporte a centros de acopio autorizados y disposición conforme a la normativa vigente, como también la implementación de estrategias de reciclaje para residuos valorizables.
- Cumplimiento normativo y medidas preventivas: La empresa debe ejecutar el plan de limpieza dentro del plazo de seis meses establecido en la Ley 21.410. Además, tiene que aplicar las mejores prácticas para evitar la reincidencia, como la optimización del manejo de materiales y protocolos de prevención.

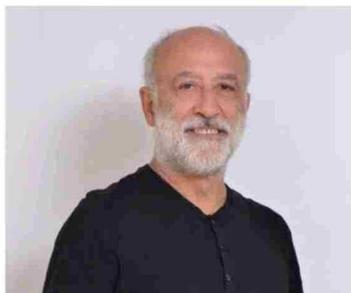
“Sernapesca supervisa el cumplimiento de estas medidas y, en caso de incumplimiento, puede denunciar a los organismos competentes, según lo estipulado en la normativa vigente”, apunta Mónica Rojas.



## SECCIÓN DESTACADA PESCA Y AGUICULTURA



*Mónica Rojas señala que en 2024, 5 centros de cultivo fueron denunciados por contaminación con residuos inorgánicos.*



*Bernardo González recomienda a las empresas desarrollar un plan de gestión de residuos para prevenir problemas.*



*Francisco Bravo aconseja aplicar un enfoque precautorio y adaptativo considerando la capacidad de cada sitio para asimilar desechos.*

### ➔ MINIMIZACIÓN Y MÁS

Además de las obligaciones regulatorias, existen otras medidas que pueden adoptar las empresas acuícolas para evitar y/o limpiar la contaminación del fondo marino con residuos inorgánicos.

Bernardo González, Doctor en Ciencias Biológicas y académico de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Adolfo Ibáñez (UAI), comenta que una primera estrategia puede ser el desarrollo de un “Plan de minimización de residuos” para prevenir el problema. “Esto implica un análisis de las fuentes (que pueden ser diversas, algunas más evidentes que otras) y luego una manera de resolver esa formación de contaminantes. Por ejemplo, si una fuente son el uso de equipos antiguos o con mal mantenimiento (liberando residuos inorgánicos), hay que mejorar la mantención y/o cambiar los equipos”, dice. Añade que estas acciones se pueden integrar a un plan o sistema de gestión ambiental de residuos inorgánicos y orgánicos.

El investigador advierte, luego que, “cuando se trata de corregir, limpiar, remediar, el asunto es algo más complejo. Por ejemplo, se puede estimular mediante oxigenación y/o adición de nutrientes la actividad de microorganismos que están en el fondo marino, para así ayudar a la conversión, atrapamiento y/o detoxificación de estos residuos inorgánicos. Existen también estrategias de mitigación (disminución del daño), por ejemplo, mediante el confinamiento (cierre) del lugar contaminado”.

De manera complementaria, Francisco Bravo, Doctor en Oceanografía y también académico de la misma facultad de la UAI acota: “Las empresas están obligadas por ley a mantener los fondos marinos y lacustres, así como las áreas aledañas, libres de residuos inorgánicos (pontones abandonados, redes, cabos, boyas, etc.). Aunque la normativa fija plazos para retirar estos desechos, se requieren acciones adicionales: promover la capacitación y las buenas prácticas ambientales en todos los niveles de la organización, fortalecer los programas de limpieza de playas para mantener las zonas costeras libres de contaminación y perfeccionar el diseño de estructuras acuícolas, ajustándolo a las condiciones oceanográficas y considerando los eventos climáticos extremos –como fuertes vientos– vinculados al cambio climático, que ya han provocado el hundimiento de centros de cultivo”.

### RESIDUOS ORGÁNICOS

El depósito de desechos orgánicos puede generar importantes impactos en el fondo de las concesiones acuícolas.

Francisco Bravo detalla: “La acumulación excesiva de residuos orgánicos (alimento y heces de salmón) en el fondo marino puede provocar anoxia (falta de oxígeno) en los sedimentos, acumulación de compuestos tóxicos, como hidrógeno

sulfurado, y la pérdida progresiva de las comunidades que habitan fondo marino”.

El biólogo marino añade que los “valores umbrales de sedimentación de desechos orgánicos sobre los cuales se observan efectos adversos sobre la estructura y funcionalidad del bentos varían considerablemente entre estudios y contextos geográficos, destacando la necesidad de considerar las condiciones locales específicas”. Luego señala que, más allá de los efectos locales inmediatos en los sedimentos subyacentes a las estructuras de cultivo, “el exceso de nutrientes puede alterar las redes tróficas, favoreciendo floraciones de fitoplancton (incluidas algunas causantes de marea roja), aunque las relaciones causa-efecto son complejas y dependen del aporte total de desechos de los centros de cultivo”.

Por su parte, Bernardo González explica los diversos problemas ambientales que la acumulación de materia orgánica puede producir en el fondo de las concesiones acuícolas. “Quizás el más relevante es la disminución de los niveles de oxígeno disuelto porque hay microorganismos en el fondo marino que consumen esos desechos orgánicos y con ello consumen el oxígeno disponible. La baja en la abundancia de oxígeno, ya sea parcial (hipoxia) o total (anoxia), afecta a todos los organismos sean éstos una parte importante de los propios microorganismos (los aeróbicos), como la fauna (sea esta macrofauna, peces, moluscos; o microfauna, nemátodos, rotíferas entre muchos otros). Los impactos en especies de interés comercial son evidentes. La potencial proliferación de microorganismos patógenos es otra consecuencia”, expone.

El bioquímico suma otros posibles impactos: “Asociado al proceso de consumo de oxígeno está la producción excesiva de biomasa (esencialmente microbiana), la que puede reducir los niveles de luz disponible y con ello a los organismos fotosintéticos: plantas, algas y bacterias. La actividad microbiana exacerbada por la presencia de residuos orgánicos y el consiguiente consumo de oxígeno puede producir también otras alteraciones como la generación de gases (por ejemplo, metano) o alteraciones físico-mecánicas de los sedimentos (coagulación, alteración en el transporte de fluidos, entre otros)”.

Considerando el escenario descrito cabe preguntarse, ¿cuántos centros de cultivo en Chile presentan problemas en el fondo de sus concesiones por la acumulación de residuos orgánicos?

Para responder aquello, Mónica Rojas explica primero que la fiscalización de los fondos marinos en los centros de cultivo que realiza Sernapesca se basa en la evaluación de la Información Ambiental (INFA). “Estos informes analizan las condiciones ambientales en la zona de influencia de cada centro a través de ocho estaciones de muestreo, ubicadas en los módulos de máxima biomasa, con el objetivo de determinar si la condición ambiental es aeróbica o anaeróbica, según si se encuentra en condiciones compatibles con las capacidades de los cuerpos de agua o no. Por lo tanto, se consideran centros con problemas en los fondos marinos debido a la presencia de residuos orgánicos aquellos cuya últi-



ma INFA evaluada presenta condición anaeróbica, es decir, que han superado los límites establecidos en la Resolución Exenta N° 3612/2009 de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en las variables Materia Orgánica y/o pH-Redox en muestras de sedimentos”, detalla.

Luego comenta que en el período 2022-2024, Sernapesca ha realizado 484 evaluaciones INFA, en las cuales 38 centros de cultivo presentan un último informe con condición anaeróbica, lo que representa un 7,9% del total evaluado. “La evolución de esta situación dependerá del análisis comparativo de los datos históricos. No obstante, la tendencia observada en este período indica que la cantidad de centros con condición anaeróbica se ha mantenido dentro de rangos relativamente bajos en comparación con el total de INFA realizadas”, acota la Subdirectora de Acuicultura del Sernapesca.

### RECUPERACIÓN E INVESTIGACIÓN

Para evitar o reducir la acumulación de desechos orgánicos en el fondo de las concesiones acuícolas, la Ley 21.410 exige a los titulares presentar ante el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura un plan de recuperación del área en que opera y un plan de investigación, acreditados por un certificador.

En el primero se deben definir los mecanismos físicos, químicos o biológicos a utilizar para mejorar las condiciones del área de sedimentación y permitir que se acelere la incorporación de la materia orgánica al ambiente. El plan de investigación, en tanto, corresponde al estudio y desarrollo de métodos y tecnologías para optimizar la recuperación del fondo marino, cuyo uso debe ser autorizado por Sernapesca.

### DATOS

**2** Años de suspensión de operaciones a las concesiones acuícolas infractoras impone la Ley 21.410. La sanción se duplicará si no se retiran los desechos inorgánicos en el plazo establecido.

**1** Causal de caducidad de la concesión añade la Ley 21.410: haber sido sancionado por segunda vez.

El nivel de cumplimiento de esta obligación por parte de los titulares de las concesiones “fue de 98,75%, considerando que fueron entregados dentro del plazo los planes de 632 centros de cultivos de un total de 640 que estuvieron operando durante el año 2023 y enero de 2024”, señala Mónica Rojas.

La especialista comenta que, actualmente, los concesionarios acuícolas están autorizados para utilizar ciertos mecanismos físicos destinados a modificar las condiciones de oxígeno en el área de sedimentación, conforme a lo establecido en la Resolución Exenta N° 1141-2022 de Subpesca. “Esta resolución, en conformidad con el Artículo 8 Bis del D.S. N° 320 de 2001 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, permite el uso de sistemas de aireación. Estos mecanismos contribuyen a la recuperación de los fondos de las con- ➔



## SECCIÓN DESTACADA PESCA Y AGUICULTURA

### Sanciones

La Subdirectora de Acuicultura del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Mónica Rojas, señala que la Ley 21.410 modificó la Ley General de Pesca y Acuicultura, estableciendo "sanciones más estrictas para las empresas acuícolas que incumplan las normativas ambientales, especialmente en la contaminación del fondo marino con residuos orgánicos".

Entre las sanciones se incluyen:

- Multas económicas: Pueden variar entre 100 y 3.000 UTM, dependiendo del impacto ambiental generado y la reincidencia.
- Suspensión de operaciones: En casos de daño ambiental significativo o reiterado incumplimiento, Sernapesca puede ordenar la suspensión temporal de actividades hasta que se implementen medidas correctivas.
- Revocación de la concesión: Si se comprueba un daño ambiental grave y sistemático, la autoridad puede revocar la concesión acuícola, impidiendo la continuidad de la operación.

"Además, Sernapesca y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) pueden fiscalizar y esta última sancionar a los infractores conforme a la normativa vigente", acota.

→ cesiones, mejorando sus condiciones y acelerando la degradación de la materia orgánica en el medio", apunta.

Luego describe algunos ejemplos de los métodos y tecnologías de aireación autorizados por Sernapesca:

- Nanoburbujas de oxígeno: Es un sistema estático o robótico que libera nanoburbujas (<1000 nm) en el fondo marino. Estas burbujas permanecen en la columna de agua, aumentando el oxígeno disuelto, favoreciendo microorganismos aeróbicos y reduciendo fósforo y nitrógeno.
- Microburbujas: Similar a las nanoburbujas, pero con burbujas de mayor tamaño (200-100,000 nm), con el mismo objetivo de oxigenación y restauración del sedimento.
- Bombeo de agua superficial oxigenada (SRF): Utiliza un Desplazador de Masas de Agua para renovar el sedimento con agua rica en oxígeno, permitiendo la degradación natural de la materia orgánica con una efectividad del 87%.

Mónica Rojas indica, además, que hasta el momento las empresas no han presentado solicitudes para la autorización de nuevos mecanismos o acciones para prevenir o reducir el depósito de residuos orgánicos en el fondo de las concesiones. Sostiene que "esto se debe a la escasez de tecnologías disponibles para esta actividad. Por esta razón, resulta fundamental que la normativa exija la elaboración de planes de investigación que impulsen el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas" para mejorar futuras estrategias de recuperación del fondo de las concesiones.

En relación con esto, desde la Universidad Adolfo Ibáñez, Francisco Bravo analiza las medidas que hoy se aplican para evitar o reducir el depósito de residuos orgánicos en el fondo de las concesiones y plantea algunas mejoras. "Antes de instalar un centro de cultivo, la normativa nacional exige una caracterización preliminar del sitio para estimar la huella de deposición de residuos orgánicos, trabajo que en general se realiza con la ayuda de softwares comerciales. Sin embargo, estos programas requieren mejoras para adaptarse a las condiciones locales en Chile, especialmente en la calibración de procesos

como la resuspensión de desechos", advierte.

Luego plantea que, una vez en funcionamiento, se puede reducir la acumulación de residuos en el fondo marino mediante: la disminución de la pérdida de alimento, lo que rebaja también costos productivos; la concentración de la producción en zonas más expuestas, con mayor dispersión de desechos; y el ajuste de los niveles de producción a la capacidad local de asimilación de residuos, lo cual es "un desafío complejo porque dicha capacidad varía con el historial de uso del sitio, las prácticas de cultivo y las condiciones oceanográficas".

Respecto a la alternativa de concentrar la producción en sitios más aptos, el Doctor en Oceanografía asegura que "la percepción común es que esto se puede lograr trasladando los centros de cultivo a zonas costeras más expuestas, con mayor capacidad dispersiva (por mayor corriente de agua y resuspensión de sedimentos), lo que da como resultado una huella de impacto más difusa, no obstante, los efectos de campo lejano siguen siendo poco entendidos. Un segundo desafío es la alta demanda del borde costero en Chile, que limita la capacidad de relocalizar y/o reordenar la producción de salmón en el sur del país".

Por su parte, Bernardo González repasa otras alternativas a las cuales hoy recurren las empresas acuícolas: "La implementación de sistemas de recolección y tratamiento de desechos, como trampas de sólidos y biofiltros; sistemas de recirculación de agua, uso de organismos, la tecnología de nanoburbujas, o y/o el movimiento masivo de masas de agua para promover el consumo de los residuos y reponer eficientemente el oxígeno consumido, están entre la variedad de posibilidades tecnológicas. En otro plano, el uso de robots que limpian/succionan (en algo semejante a lo que se usa en superficies contaminadas, como las contaminadas con petróleo), también ha sido utilizado, sobre todo por tener la ventaja de no recurrir a buzos y así no poner en riesgo sus vidas".

### ENFOQUE PRECAUTORIO

Francisco Bravo plantea que para avanzar en una gestión verdaderamente sostenible en la industria acuícola no basta con recuperar periódicamente sitios contaminados (anaeróbicos), sino que se requiere aplicar "un enfoque precautorio y adaptativo que considere la capacidad de cada sitio para asimilar desechos en función de su historial de uso, las prácticas acuícolas y las condiciones oceanográficas locales".

Añade que para materializar dicho enfoque es clave "mejorar la capacidad de los modelos predictivos y perfeccionar herramientas de apoyo a la toma de decisiones. Los programas existentes suelen sobreestimar la acumulación de desechos, porque no incorporan procesos clave como la desagregación y la dispersión de partículas o el historial de uso del sitio de cultivo. Esto dificulta el establecimiento de límites sostenibles de producción, pero no debe limitar la aplicación del enfoque precautorio que, ante la falta de información, debe aplicar medidas preventivas para minimizar el riesgo de daño ambiental".

Comenta que otra opción que se discute como parte de una visión de largo plazo para la industria es avanzar hacia sistemas cerrados. "En este proceso, la ciencia juega un rol esencial al ofrecer conocimientos y tecnologías que permitan cultivar salmón de manera responsable con el ecosistema marino", resalta el académico.

Su colega Bernardo González concluye, a la vez: "Desde una mirada más sistemática, las concesionarias deben realizar estudios de impacto ambiental, considerar la reglamentación vigente, anticipar eventuales problemas nuevos, monitorear la biodiversidad, tener datos históricos de parámetros fisicoquímicos, en varios casos, tener registros climáticos y de condiciones oceanográficas. Integrando estos distintos componentes en esquemas de investigación, las concesionarias podrán asegurar la sostenibilidad de sus operaciones y la protección del medio ambiente". 