

2025

Informe final

FIPA N°2023-11: “Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos”.

Fondo de Investigación Pesquera y
Acuicultura (FIPA)

Mayo, 2025.





Segundo informe

FIPA 2023-11

FIPA N°2023-11: “Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos”.

Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA)/ mayo 2025.

Requirente

Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA)

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Javiera Constanza Petersen Muga

Ejecutor

Instituto de Fomento Pesquero, IFOP

Director Ejecutivo
Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación en Acuicultura
Gastón Vidal Santana

Jefe Departamento de Medio Ambiente
Alejandra Oyanedel Pérez

Jefe de Proyecto
Jurleys Vellojin Furnieles

Equipo de trabajo

Johana Ojeda Palma
Carolina Sotomayor Contreras
Pamela Ramírez Pinto
Rodrigo Jaramillo Teufert
Vladimir Murillo Haro
Elizabeth Palta Vega
Heraldo Contreras Cifuentes



Índice

Índice	1
Índice de Tablas	4
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	10
Glosario	11
RESUMEN EJECUTIVO	12
EXECUTIVE SUMMARY	13
1. OBJETIVOS	14
1.1. Objetivo general.....	14
1.2. Objetivos específicos.....	14
2. ANTECEDENTES	15
2.1. Modelo de Evaluación Ambiental de la Acuicultura.	15
2.2. Tecnología y Mecanismos para Prevenir o Reducir el Impacto Ambiental de la Acuicultura. .	16
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	17
3.1. Metodología objetivo 1 (OE1): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.	17
3.2. Metodología objetivo 2 (OE 2): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.	22
3.3. Metodología objetivo 3 (OE 3): Proponer mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas.	24
4. RESULTADOS	29



4.1. Resultados objetivo 1 (OE 1): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.	29
4.1.1. Modelo de Evaluación Ambiental en Chile.	29
Evaluación Ambiental en Centros de Fondo Duro.	37
4.1.2. Técnicas y métodos de evaluación ambiental del fondo marino	42
Antecedentes enriquecimiento orgánico en relación con la acuicultura.....	42
Procesos anaeróbicos en el sedimento.	44
Cobertura del espacio impactado, zona de granja (FZ) y zona de efecto permitido (AZE).	45
Indicadores claves para la evaluación ambiental.....	46
Indicadores abióticos de evaluación ambiental.....	46
• Sulfuros Libres.....	47
• Potencial Redox (Eh).	48
• pH.....	48
• Etapas del Enriquecimiento (ES).	49
Parámetros Bióticos de Evaluación Ambiental.	50
• Índices Bióticos de Evaluación Ambiental.	51
• Índices Bióticos de Macrofauna y el caso del AMBI en Chile.	53
4.1.3 Técnicas y métodos de evaluación de la columna de agua.....	56
Categorías de Centros de Cultivo según Resolución (SUBPESCA) N°3411/2006.	56
Parámetros de Evaluación para la Eutrofización en la Columna de Agua.	57
Indicadores Claves para la Evaluación de la Eutrofización.....	57
Impactos Potenciales de Altos Niveles de Nutrientes en la Calidad del Agua.	58
4.1.4 Recopilación, Revisión y Selección de Información de legislaciones ambientales internacionales. .	60
Modelos de gestión Canadá.	60
Monitoreo Ambiental Canadá.	68
Nueva Escocia.....	69
Columbia Británica.	73
Monitoreo Ambiental en Noruega.	75
Monitoreo Ambiental en Escocia.....	84
Monitoreo Ambiental en Irlanda.	90
4.1.5. Recopilación y Selección de Información en Bases de Datos Bibliográficas.	93
4.2. Resultados objetivo 2 (OE2): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.	98
4.2.1. Recopilación y selección de información sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.	98
Sistemas mecánicos o físicos autorizados en la legislación chilena.....	99
INNAQUA (Conferencia de innovación acuícola).	102
Entrevistas a empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas.....	103



4.2.2. Mecanismos físicos, químicos y biológicos para la disminución de la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos en donde se cultiva salmónes.	103
a) MECANISMOS FÍSICOS.....	105
b) MECANISMOS BIOLÓGICOS.....	113
c) MECANISMOS QUÍMICOS.....	114
4.3 Resultados objetivo 3 (OE3): Proponer mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas.	121
4.3.1 Visita internacional.	121
Vista a centros de investigación NORCE.....	121
4.3.2. Taller de expertos.....	135
4.3.3. Propuesta de mejoras y análisis económico a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura.	139
Propuesta de mejoras modelos de evaluación ambiental.....	139
I. Restricción de la biomasa total.....	140
II. Incorporación de índices adicionales.....	143
• Índices bióticos AMBI.....	143
• Índice de eutroficación para la evolución ambiental de la columna del agua.....	144
• Evaluación ambiental en fondos duro y semi-duro.....	148
III. Tiempo de descanso.....	150
IV. Ubicación estratégica de los centros de cultivos.....	153
V. Mejoras y modificaciones legales.....	156
4.3.4. Análisis económicos: Propuesta de mejoras al modelos de evaluación ambiental.....	160
• Centros de categoría 3, fondos blandos: Costos Incorporación de indicadores bióticos.....	161
• Propuesta de para la implementación de mecanismos o sistemas tecnológicos para disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños.....	167
4.3.5. Taller de difusión.....	171
5. DISCUSIÓN.....	177
6. CONCLUSIÓN.....	181
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	183
ANEXOS.....	212



Índice de Tablas

Tabla 1. Sitios web gubernamentales con descripción de la información disponible y los aspectos o temáticas relevantes a profundizar durante la ejecución del proyecto.	18
Tabla 2. Resumen del análisis bibliométrico, indicando el total de publicaciones analizadas y los años considerados.....	19
Tabla 3. Listas de expertos contactados e invitados al taller.	27
Tabla 4. Límites de Aceptabilidad Res. Ex. N°3.612/2009.	32
Tabla 5. Categorías establecidas para los centros de cultivo.	33
Tabla 6. Esquema general de los requisitos ambientales de cada categoría de centros de cultivo, sin la distinción por APE. * Solo para el caso de sustrato blando y profundidades iguales o inferiores a 60 metros. ** Solo en INFA. *** Solo Categoría 4. **** Correntómetro.	34
Tabla 7. Establecimiento de la Condición anaeróbica según Res. Ex. N°3.612/2009.	35
Tabla 8. Periodicidad de entrega de la INFA según tipo de cultivo. (*) Existen excepciones a esta definición, ver Res. Ex [Subpesca] N° 3612/2009.	35
Tabla 9. Parámetros a medir de acuerdo a la categoría del centro de cultivo (Res. Ex. N° 3.612/2009, Título III, Párrafo II).	37
Tabla 10. Límites de aceptabilidad para centros de categoría 4 (INFA).	38
Tabla 11. Algunos índices ambientales con sus niveles de oxigenación y sulfuros equivalente (Cranford et al., 2020).	53
Tabla 12. Valores del AMBI y equivalencias con la calidad ambiental (modificado de Borja et al. 2000; 2003).	55
Tabla 13. Resumen número de estaciones en fondo duro y blando en el muestreo nivel 1 de Nueva Escocia.	70
Tabla 14. Respuestas del sitio Oxico, se considera que los sitios clasificados como Oxico u Oxico B tienen bajos efectos ambientales, continuará el monitoreo anual de Nivel I. Si un sitio permanece 100% óptimo durante dos ciclos de producción, pueden solicitar.	71
Tabla 15. Diferencias entre los monitoreos de Costa Este y Costa Oeste, En fondo blando y duro. Imagen modificada desde Environment Protection Authority (2022).	74
Tabla 16. Tabla de puntuación para la evaluación de sitio según la norma noruega, ejemplo extraído de Environment Protection Authority, 2022.	77
Tabla 17. Resumen de la frecuencia del monitoreo B según la última evaluación ambiental, extraída de Environment Protection Authority, 2022. Fuente: Environment Protection Authority (2022).	78
Tabla 18. Resumen de la distancia máxima y la cantidad de estaciones en el muestreo C según la biomasa del cultivo. Fuente: Environment Protection Authority (2022).	80
Tabla 19. Estados de condición según la infauna encontrada para el sitio C1, extraído de Environment Protection Authority, 2022.	82
Tabla 20. Resumen de categorías de condición según distintos índices de infauna, estos son valores guía para la evaluación de todos los sectores menos C1 en el muestreo C, extraído de Environment Protection Authority, 2022.	82



Tabla 21. Resumen de categorías de condición según variables de agua y sedimento para guiar la decisión en el muestreo C, extraído de Environment Protection Authority, 2022.....	82
Tabla 22. Tabla extraída desde “Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters”, categorías según el índice de impacto bentico.....	85
Tabla 23. Tabla extraída desde “Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters”. Ejemplo de MAB en sitios categoría 1.	85
Tabla 24. Límites para el monitoreo ambiental en Escocia, tabla realizada a partir de información de “Seabed environmental standards Demonstrating compliance: Guidance for operators”.....	87
Tabla 25. Niveles de monitoreo en Irlanda según biomasa y velocidad de corriente, extraído de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.	91
Tabla 26. Criterios de aceptabilidad en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Irlanda, tabla extraída de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.	92
Tabla 27. Listado de empresas productoras de salmón que han incorporado mecanismos físicos de remediación de fondo (extraído de los Informes Finales asociados a la res. Ex 1141/2022. PD= Pendiente, NA= No aplica, NT= No termina.....	100
Tabla 28. Resumen de mecanismos físicos de remediación de fondo por centros de cultivo y empresa operadora de remediación.	101
Tabla 29. Empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas entrevistadas.	102
Tabla 30. Tabla resumen de los mecanismos o tecnologías con enfoque preventivo.	104
Tabla 31. Descripción de los mecanismos de prevención, países donde se ha implementado y sus resultados. Una versión extendida de esta imagen se presenta en el anexo 11.....	115
Tabla 32. Resumen de las ventajas y desventajas en la aplicación o uso de cada mecanismo o tecnología.	117
Tabla 33. Ranking de evaluación de los mecanismos y/o tecnologías con enfoque preventivo en relación con la sedimentación de materia orgánica asociada a los fondos aledaños a los centros de cultivo.	119
Tabla 34. Cuadro resumen de las actividades y/o reuniones realizadas en la visita técnica al Centro NORCE, Bergen, Noruega.	121
Tabla 35. Calificación de la AC en Chile (Silva et al., 2022): a. elemento ambiental, b. elemento sanitario, c. elemento productivo y d. nivel de bioseguridad.....	141
Tabla 36. Índices de eutroficación en la columna de agua y sus autores.	148
Tabla 37. Límites de aceptabilidad de evolución ambiental de fondos duros (Categoría 4).....	149
Tabla 38. Casos de estudios de tiempos de descansos.....	151
Tabla 39. Descripción de las modificaciones legales y/o normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura para las propuestas de mejoras.....	156
Tabla 40. Costo estimativo de la implementación de indicador AMBI. HP: Horas Persona.	161
Tabla 41. Contar un índice de eutroficación con todas las variables.	163
Tabla 42. Contar un índice de eutroficación con solo nitrato.	163
Tabla 43. Mediciones actuales y propuestas de mejora para los centros de fondos duros y semiduros.	165
Tabla 44. Costo de toma de muestra en profundidad de oxígeno disuelto.	165
Tabla 45. Precio de los servicios según contratos.....	166



Tabla 46. Costo mejoras ambientales INFA.....	167
Tabla 47. Descripción de los mecanismos de prevención, países donde se ha implementado y sus resultados.	168
Tabla 48. Elementos propios de cada mecanismo de prevención de remediación, sometidos a evaluación.	169
Tabla 49. Criterios de evaluación de los mecanismos preventivos de remediación.	169
Tabla 50. Ranking de evaluación en términos de la prevención de la sedimentación de los fondos aledaños a los centros.....	170
Tabla 51. Asistencia al taller de difusión.....	173

Índice de Figuras

Figura 1. Biblioteca de grupo del gestor bibliográfico Zotero.....	20
Figura 2. Regla para interpretar el Score de oportunidad.	23
Figura 3. Modelo conceptual para la tramitaci3n de una concesi3n de acuicultura: Leyes, reglamentos, normativas aplicables, servicios p3blicos que participan en cada etapa del proceso de evaluaci3n del proyecto. Fuente: Aguirre et al. 2015.	30
Figura 4. Normativa Ambiental Sectorial RAMA.....	31
Figura 5. Bases para la categorizaci3n de los centros de cultivo.	32
Figura 6. Ubicaci3n de 8 transectos en el m3dulo de producci3n en donde se realiza la filmaci3n submarina para las INFAS en centros de categoría 4 en cultivos intensivos.....	37
Figura 7. Esquema que muestra el comportamiento de 4 grupos de bacterias frente a los gradientes de oxígeno y sulfuro.	40
Figura 8. Diagrama de flujo del procedimiento general para la obtenci3n y análisis del eDNA. *Paso que puede o no ser omitido, dependiendo del tipo de análisis a realizar (Metabarcoding o metagen3mica). 40	
Figura 9. Clasificaci3n filogenética de algunas bacterias gigantes oxidantes del sulfuro usando biología molecular. Presentado por Dra. Verena Carvalho- Salman en taller organizado por IFOP denominado “Expert workshop on sulfide-oxidizing bacteria”.	41
Figura 10. Efecto del input de comida que sedimenta en el fondo marino sobre la fauna. Fuente: Keeley, 2016.	43
Figura 11. Esquema del enriquecimiento orgánico, mostrando la curva redox, las fases de desoxigenaci3n y reducci3n de sulfatos. Fuente: Hargrave et al., 2008.	44
Figura 12. Huellas ambientales bent3nicas previstas (arriba) y observadas (abajo) debajo de la Granja E de alto caudal (Recuadro gris: posici3n de los corrales de red y las líneas discontinuas negras: límites de ES3 y ES5). Fuente Keeley et al 2013.	45
Figura 13. Método de extracci3n de agua intersticial de los cores en el monitoreo ambiental para sulfuros.	48
Figura 14. Estados de enriquecimiento orgánico con parámetros químicos y biológicos que definen la calidad del medio (Keeley, 2013).	50
Figura 15. Esquema de cómo se pueden producir el proceso de eutroficaci3n en la columna de agua generado por alteraciones en el sedimento (tomado de BNC: https://www.bcn.cl/portal/).	59
Figura 16. Distribuci3n de la gesti3n de la acuicultura.	61
Figura 17. Legislaci3n y autoridades de la Acuicultura (Solás et al., 2020).....	62
Figura 18. Framework for Aquaculture Risk Management.	65
Figura 19. Vías de efectos para la acuicultura de peces y mariscos.....	67
Figura 20. Diferencias entre los monitoreos de Nueva Escocia y Columbia Británica. Imagen modificada desde Environment Protection Authority (2022).	72
Figura 21. Divisi3n en zonas sanitarias en noruega según nivel de producci3n (Silva et al., 2022).....	76
Figura 22. Mapa ejemplo de la ubicaci3n de las estaciones en un muestreo C, extraído de la norma noruega (NS 9410:2016).	80

Figura 23. Representa las dos posibilidades de margen AZE, en la cual en (a) hay una distancia equidistante de 100m desde el borde de la balsa jaula hasta el fin de la AZE, y en (b) una forma desviada, que debe mantener la equivalencia en área que a). Imágenes extraídas desde: “Seabed mixing zone limit: Compliance assessment methodology”.....	86
Figura 24. Patrón de muestreo en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Escocia, se describen los 4 transectos, los puntos de muestreo y las distancias dónde los círculos azules son las jaulas y el círculo amarillo en la AZE. Figura extraída desde “Seabed environmental standards Demonstrating compliance: Guidance for operators”.....	88
Figura 25. Disposición de los puntos de muestreo en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Irlanda. Extraído de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.....	91
Figura 26. Número de publicaciones por años recopiladas y sistematizadas en ZOTERO.	94
Figura 27. Interfaz de escritorio de Zotero, donde se visualiza parte de las palabras claves que pueden ser seleccionada para las búsquedas y clasificación de trabajos por temas de interés relacionada con este proyecto, por ejemplo: AMBI.	95
Figura 28. Temáticas recurrente en los términos claves seleccionados.....	96
Figura 29. Análisis correlación entre los términos "Sostenibilidad Acuícola", "Gestión Sustentable", "Estado Ambiental", "Innovación Acuícola" y "Producción Limpia".	97
Figura 30. Relación de tamaño entre nanoburbujas (NB), microburbujas (MB) y otras burbujas. (1000 nm=1 µm; 1000 µm=1mm) según definición de Moleær Inc.....	99
Figura 31. Estabilidad de las nanoburbujas en el medio y movimiento Browniano.	109
Figura 32. acentuamiento del proceso de oxigenación del fondo marino por nanoburbujas.	110
Figura 33. Matriz de oportunidad. Se muestra el resultado de la matriz realizada por 1 experto como ejemplo.....	120
Figura 34. Portada de la presentación realizada por la Dra. Tina Kutti (IMR).	123
Figura 35. Mapa de un fiordo con producción acuícola en Noruega.....	123
Figura 36. Resultados de la evaluación de riesgos basada en los cambios en la química de los sedimentos y la infauna. Los resultados son promediados por granjas para las áreas de producción (PO). (Primera columna tabla, 1CT: Zona de producción; 2CT: cambio en la química de los sedimentos y las comunidades bentónicas; 3CT: fuerza del conocimiento; LAV: bajo; MODERAT: moderado; HOY: alto).	124
Figura 37. Resultados de las encuestas de los muestreos tipo B. Porcentaje de centros de cultivo por PO (área de producción) con un estado ambiental pobre.....	124
Figura 38. Resultado de los monitoreos en la zona de producción P03.	125
Figura 39. Resultado de los monitoreos en la zona de producción P04.	125
Figura 40. Reunión sostenida con la Dra. Dorinde Kleinegris en la Facultad de Biología de la Universidad de Bergen.....	126
Figura 41. Desarrollo de una cadena de valor sostenible desde el tanque hasta el producto asociado al Proyecto Slam Dunk.....	127
Figura 42. Biorreactores de microalgas del proyecto Slam Dunk.	127
Figura 43. Esquema del diseño, optimización e integración de nuevas tecnologías que buscan convertir los lodos tratados en biocombustibles o materiales para la construcción, como aditivos para el hormigón. Se	



usan métodos como la digestión anaeróbica, que descompone los lodos y genera biogás, un combustible renovable.....	127
Figura 44. Productos marinos innovadores de acuerdo con el modelo del proyecto INNOAQUA.	128
Figura 45. Esquema de los lineamientos del proyecto UE INNOAQUA.....	129
Figura 46. Reunión sostenida con las investigadoras del MEP-NORCE, Dra. Agnes Weiner y Dra. Miriam Brandt.	130
Figura 47. La imagen muestra el alcance espacial del proyecto MetaBridge.	131
Figura 48. Resumen de la información relacionada a la validación de los enfoques de metabarcoding para el monitoreo béntico marino.....	131
Figura 49. Paquetes de trabajo del Proyecto MetaBridge.	132
Figura 50. Zonas de impacto Modelo MOM.....	133
Figura 51. Producción de salmón del Atlántico en los cinco mayores países productores. (Iversen, et al., 2020).....	139
Figura 52. Alguna de las especies indicadoras de la evaluación de la condición ambiental de fondos blandos con AMBI.	144
Figura 53. Página del gobierno escoces con información de mapas y categorías de sitios. Recuperado de: https://marinescotland.atkinsgeospatial.com/nmpi/default.aspx?layers=530	154
Figura 54. a. Clasificación de cuencas según el nivel de renovación de masas de agua, desde el nivel 1= 0-30 días de retención al nivel y 5= más de 200. b. Clasificación de cuencas según el tonelaje de salmones cultivados. Datos desde 2018-2022. (Soto, D, et al., 2020).	155
Figura 55. Esquema de propuesta de mejoras y modificaciones legales y/o normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura.	159
Figura 56. Invitación del taller.....	171
Figura 57. Programa del taller.....	172
Figura 58. Registro visual Taller de difusión.....	176



Índice de Anexos

Anexo 1. Actas de reuniones de coordinación.	212
Anexo 2. Reuniones con Expertos	222
Anexo 3. Lista de participantes por actividad, en atención a la metodología de trabajo.....	226
Anexo 4. Carta de solicitud colaboración.	228
Anexo 5. Programa de la Conferencia INNAQUA 2023.....	229
Anexo 6. Listado de empresas productoras de salmón que han incorporado mecanismos físicos de remediación de fondo (extraído de los Informes Finales asociados a la res. Ex 1141/2022. PD= Pendiente, NA= No aplica, NT= No termina).....	235
Anexo 7. Informe sobre participación en la conferencia de Innovación Acuícola (INNAQUA) 2023.	236
Anexo 8. Detalles conferencias INNAQUA 2023	240
Anexo 9. Entrevistas a empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas.....	244
Anexo 10. Costos económicos.....	258
Anexo 11. Tabla comparación mecanismos remediación de la acuicultura.	264
Anexo 12. Análisis Multicriterio de Tecnologías para Acuicultura Sostenible.	268
Anexo 13. Material gráfico tecnologías.	285



Glosario

Con el fin de realizar una estandarización de conceptos claves para el análisis del estudio medioambiental en la acuicultura, se realizó un glosario con términos que se utilizarán a lo largo de este informe.

AZE: Por sus siglas Allowable Zone of Effect, corresponde a la zona entre el fin de la balsa jaula y el lugar donde deja de percibirse el efecto eutrófico de la actividad productiva.

FZ: Por sus siglas Farm Zone, corresponde a la zona directamente bajo la balsa jaula.

Fondo blando: Corresponde al fondo donde hay una capa de sedimentos suficiente para extraer muestra para análisis químico/biológico.

Fondo duro: Corresponde al fondo donde no hay una capa de sedimentos suficiente para extraer muestra para análisis químico/biológico.

Barbecho: Temporada de descanso, donde se suspende temporalmente el cultivo.



RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objetivo general actualizar, evaluar y ampliar el conocimiento sobre los modelos y procesos empleados para la evaluación del estado ambiental de los centros de salmonicultura, tanto a nivel nacional como internacional. Además, se busca analizar las tecnologías disponibles para reducir la sedimentación y la acumulación de materia orgánica en los fondos marinos. Entre los objetivos específicos se encuentran: la recopilación y análisis de información nacional e internacional sobre modelos de evaluación ambiental y tecnologías asociadas, la propuesta de mejoras a los modelos y procesos existentes, y la realización de un análisis económico que evalúe la viabilidad de implementar dichas mejoras.

La metodología empleada se basó en una búsqueda bibliográfica exhaustiva de normativas ambientales de países con actividades relevantes de acuicultura de salmón, así como en la recopilación de información sobre modelos de evaluación ambiental. También se incluyó la identificación y análisis de tecnologías orientadas a prevenir y reducir la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos marinos. Asimismo, se definieron estrategias para proponer mejoras a los modelos actuales, complementadas con un análisis económico que evalúa la viabilidad de implementar dichas propuestas tecnológicas y metodológicas.

En cuanto a los resultados, se recopiló información detallada sobre legislaciones ambientales y modelos de evaluación utilizados en distintos países, identificando variables clave y procesos relevantes en cada uno de ellos. Además, se evaluaron tecnologías enfocadas en la prevención, reducción o eliminación de la sedimentación, especificando proveedores, avances técnicos y características funcionales de dichas tecnologías. Como complemento, se elaboró una propuesta económica que incluye estimaciones de costos para la implementación de estas soluciones tecnológicas. Durante el desarrollo del estudio, se realizaron reuniones con expertos del sector para validar las propuestas de mejora, así como para analizar mecanismos tecnológicos que permitan mitigar eficazmente la sedimentación de materia orgánica en los fondos marinos asociados a la salmonicultura.

El estudio concluye destacando el desarrollo de un análisis comparativo integral y la formulación de propuestas específicas para mejorar los modelos de evaluación ambiental y las tecnologías relacionadas, logrando cumplir con los objetivos planteados. Estas propuestas representan una oportunidad significativa para promover una gestión sostenible de los centros de salmonicultura, minimizando impactos ambientales y optimizando las condiciones de los fondos marinos. Todo ello se ha diseñado bajo estrictos criterios de viabilidad técnica, económica y ambiental, consolidando un enfoque que fomente la sostenibilidad a largo plazo en la industria acuícola.



EXECUTIVE SUMMARY

The main objective of this study is to update, evaluate, and expand knowledge on the models and processes used for assessing the environmental status of salmon farming sites, both nationally and internationally. Additionally, it aims to analyze the available technologies for reducing sedimentation and the accumulation of organic matter in the seabed. Specific objectives include gathering and analyzing national and international information on environmental assessment models and related technologies, proposing improvements to existing models and processes, and conducting an economic analysis to assess the feasibility of implementing these improvements.

The methodology was based on an exhaustive bibliographic review of environmental regulations in countries with significant salmon aquaculture activities, as well as the collection of information on environmental assessment models. It also included the identification and analysis of technologies aimed at preventing and reducing sedimentation and organic matter accumulation in the seabed. Strategies were defined to propose improvements to current models, complemented by an economic analysis evaluating the feasibility of implementing these technological and methodological proposals.

Regarding the results, detailed information was gathered on environmental regulations and assessment models used in various countries, identifying key variables and relevant processes in each. Additionally, technologies focused on preventing, reducing, or eliminating sedimentation were evaluated, including details on providers, technical advances, and functional characteristics of these technologies. Complementing this, an economic proposal was developed, including cost estimates for implementing these technological solutions. During the study, meetings were held with industry experts to validate the proposed improvements and to analyze technological mechanisms for effectively mitigating the sedimentation of organic matter in the seabed associated with salmon farming.

The study concludes by highlighting the development of a comprehensive comparative analysis and the formulation of specific proposals to improve environmental assessment models and related technologies, achieving the objectives set forth. These proposals represent a significant opportunity to promote sustainable management of salmon farming sites, minimizing environmental impacts and optimizing seabed conditions. All proposals were designed under strict technical, economic, and environmental feasibility criteria, consolidating an approach that fosters long-term sustainability in the aquaculture industry.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general.

Actualizar, conocer y evaluar el conocimiento sobre modelos o procesos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura o de los espacios que serán destinados para este propósito, a nivel nacional e internacional, así como sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos.

1.2. Objetivos específicos.

- Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.
- Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.
- Proponer mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas

2. ANTECEDENTES

2.1. Modelo de Evaluación Ambiental de la Acuicultura.

En Chile, la acuicultura comercial comenzó en la década de 1980, utilizando diversas técnicas de cultivo y escalas de producción (Vergara, 2003). Esta actividad se ha desarrollado principalmente en zonas rurales, generando un importante crecimiento económico en áreas costeras de las regiones australes, lideradas por la salmonicultura (SUBPESCA, 2003). La acuicultura está orientada principalmente al mercado exportador y ha sido reconocida como una de las actividades económicas de mayor crecimiento en las últimas décadas (Vergara, 2003). Sin embargo, junto con el desarrollo productivo, es imprescindible abordar las necesidades de protección ambiental y los aspectos relacionados con la salud pública, como la contaminación biológica y química de las aguas y los recursos hidrobiológicos. Chile ha suscrito y ratificado diversos convenios internacionales que exigen la protección y preservación del medio marino, lo que ha llevado al desarrollo de políticas y estrategias para la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los recursos hidrobiológicos (SERNAPESCA, 2018). En este contexto, la Política Nacional de Acuicultura establece que el crecimiento económico del sector debe realizarse bajo un marco de sostenibilidad ambiental y equidad en el acceso a la actividad (SUBPESCA, 2003).

La Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), establecida mediante el Decreto Supremo N° 430/1991, ha sido modificada en diversas ocasiones para incluir regulaciones específicas en materia de acuicultura, como la Ley N° 20.434/2010. Esta ley dispone, en su artículo 74, inciso 3°, la mantención de la limpieza y el equilibrio ecológico en las zonas donde se desarrolla la acuicultura. Además, el artículo 87° establece que las actividades acuícolas deben operar en niveles compatibles con la capacidad de carga de los cuerpos de agua, garantizando la vida acuática y previniendo condiciones anaeróbicas en las áreas de impacto de la acuicultura. En este marco legal, se promulgó el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA, D.S. N° 320/2001) y su resolución asociada (Res. Ex. N° 3.612/2009), que fija metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA). La INFA tiene como objetivo principal dar cuenta de la condición ambiental de un centro de cultivo tras un periodo de operación, determinando si se encuentra en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. Si la INFA indica una condición anaeróbica (según los variables de evaluación utilizados), no se permite el ingreso de ejemplares al centro de cultivo, hasta que no se acredite (mediante una INFA) que el centro se encuentre nuevamente en una condición ambiental óptima (aeróbica). Sin embargo, este enfoque reactivo actúa únicamente cuando el sistema ya ha alcanzado un estado de no aceptabilidad ambiental (anaeróbico). Según estimaciones, la producción de lodos alcanza 1.4 toneladas por cada tonelada de salmón producido, lo que representa una amenaza tanto para la eficiencia productiva de la salmonicultura como para la calidad del medio acuático (Salazar y Saldana, 2007). Los desechos orgánicos se extienden desde decenas hasta cientos de metros desde las jaulas, con efectos más severos bajo las mismas y un gradiente decreciente hacia zonas más alejadas (Forrest et al., 2007).

La eutrofización de canales y fiordos patagónicos asociada a las granjas marinas representa un riesgo ambiental significativo. Los sedimentos afectados pueden evaluarse mediante parámetros medidos en las INFAs, índices bióticos como el AMBI (Borja & Dauer, 2008) o técnicas avanzadas como el metabarcoding de foraminíferos (Warwick et al., 2010). En casos extremos de enriquecimiento orgánico y anoxia, se forman mantos blanquecinos bajo las jaulas, dominados por bacterias como *Beggiatoa* (Aranda et al., 2010; Chavez & Obrequé, 2010). El uso de modelos físicos y biogeoquímicos ha permitido estimar tasas y ubicaciones de sedimentación de materia orgánica y nutrientes, identificando áreas críticas de acumulación o resuspensión, procesos que impactan la concentración de oxígeno en la columna de agua

y pueden desencadenar floraciones algales nocivas (Crawford et al., 2021). Para abordar la recuperación de fondos anaeróbicos, se promulgó la Resolución Exenta N° 1141/2022 (SUBPESCA), que autoriza sistemas físicos para sobresaturar de oxígeno la capa más profunda de la columna de agua, creando un ambiente favorable para microorganismos aeróbicos que degradan la materia orgánica y desplazan a los anaeróbicos. Esta normativa señala mecanismos físicos destinados a modificar las condiciones de oxígeno del área de sedimentación y einfoja la propuesta de un área de aplicación, junto con un diseño muestral que permita corroborar la eficacia del sistema y evitar la resuspensión de partículas.

2.2. Tecnología y Mecanismos para Prevenir o Reducir el Impacto Ambiental de la Acuicultura.

A nivel mundial, la acuicultura ha sido la tecnología de producción de alimentos con la tasa de crecimiento más rápida en las últimas décadas (Garlock et al., 2020). Lo que comenzó como una actividad marginal en la década de 1970 ha evolucionado para representar una parte significativa de la producción global de productos marinos en la década de 2010 (Anderson et al., 2019). Este crecimiento se ha sustentado en múltiples innovaciones tecnológicas que han reducido los costos de producción y aumentado la competitividad de los productos acuícolas (Asqueroso, 2008; Kumar y Engle, 2016). La salmonicultura, en particular, ha jugado un rol central en la producción global de alimentos, destacándose como una fuente clave de proteínas saludables y sostenibles, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria. Además, se encuentra profundamente alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU para la Agenda 2030, especialmente en áreas como la erradicación del hambre, la promoción de una vida sana y la sostenibilidad ambiental. Noruega, Chile y Escocia lideran la producción mundial de salmón, enfrentando desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental e impulsando innovaciones tecnológicas para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas marinos (FAO, 2022).

Chile, como el segundo mayor productor de salmón del mundo, ha experimentado un crecimiento exponencial desde los años 80. La salmonicultura chilena comenzó en los años 70 con los primeros programas de reproducción y cría en la región de Los Lagos, alcanzando un hito significativo con la apertura del mercado estadounidense en los años 90, lo que permitió una expansión masiva de la industria. Sin embargo, este crecimiento no ha estado exento de desafíos, como el brote del virus ISA en 2007, que afectó gravemente la producción nacional (Buschmann, 2009). La industria chilena está regulada por normativas como la Ley General de Pesca y Acuicultura, el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) y otras disposiciones específicas relacionadas con el manejo de antibióticos y la biodiversidad. A pesar de estas regulaciones, persisten críticas sobre el impacto ambiental de la salmonicultura, particularmente en relación con la sedimentación de materia orgánica bajo las jaulas de cultivo.

La sedimentación de desechos orgánicos es uno de los mayores desafíos ambientales de la salmonicultura, ya que puede alterar significativamente los ecosistemas bentónicos. En respuesta, se han desarrollado innovaciones tecnológicas, como jaulas de flujo continuo y sistemas de alimentación más eficientes que minimizan el desperdicio de alimento. Además, se han implementado robots submarinos y drones equipados con sensores para monitorear en tiempo real la calidad del agua y los niveles de sedimentación en los fondos marinos (Camus, 2021). Una de las tecnologías más prometedoras es el uso de biofiltración, que permite tratar los desechos orgánicos antes de que lleguen al fondo marino, reduciendo así el impacto ambiental de la actividad. Estas innovaciones están alineadas con las demandas globales de una acuicultura más sustentable y con los compromisos asumidos por la industria salmonicultora para cumplir con los ODS y las normativas internacionales.

Dado este panorama, se ha identificado la necesidad de actualizar y fortalecer el conocimiento que mantiene la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) sobre los modelos de evaluación de la condición ambiental de las instalaciones acuícolas. Asimismo, es crucial incorporar las medidas, metodologías, procesos y tecnologías preventivas implementadas a nivel internacional para minimizar la sedimentación y la acumulación de materia orgánica en los fondos marinos asociados a los cultivos acuícolas.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se detalla la metodología utilizada para el desarrollo del estudio, estructurada según los objetivos específicos planteados. A continuación, se describen los enfoques, conceptos y estrategias que fundamentaron cada etapa del trabajo, asegurando una alineación con los propósitos del proyecto y un enfoque sistemático en el análisis y evaluación. La organización de este capítulo sigue el esquema de los objetivos específicos definidos previamente.

3.1. Metodología objetivo 1 (OE1): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.

3.1.1. Recopilación, revisión y selección de información a partir de bases de datos disponibles en sitios web oficiales de gobiernos de países destacados en la acuicultura de salmón: Noruega, Escocia, Canadá, Irlanda y Chile.

Se recopiló información de las legislaciones ambientales de los principales países acuícolas en el mundo, incluyendo Noruega, con magnitudes cercanas al millón de toneladas anuales (Iversen et al., 2020), siguiendo con países como Escocia, Canadá e Irlanda que a pesar de ser industrias con una producción cercana al 10% de la producción de Chile, son acuiculturas con un crecimiento positivo y constante en los últimos años (Iversen et al., 2020).

A continuación, en la **Tabla 1**, se detallan los sitios web gubernamentales consultados, de los cuales se extrajo la información utilizada para realizar la comparación de los modelos y procesos de evaluación ambiental aplicados a centros de cultivo de salmón. Los términos de búsqueda se enfocaron específicamente en: (i) legislación ambiental, (ii) decretos, resoluciones y normativas asociadas a la evaluación de condiciones ambientales, y (iii) regulación y mitigación de impactos en sedimentos y la columna de agua. De toda la información recopilada, se descartó aquella que estaba fuera del alcance de los objetivos del análisis. Además, se puso énfasis en: (i) las declaraciones de impacto ambiental y los indicadores de evaluación ambiental, (ii) los planes de monitoreo tanto de la columna de agua como de los fondos marinos en las zonas de cultivo y áreas adyacentes, (iii) las variables ambientales utilizadas para la evaluación en agua y sedimentos, (iv) la periodicidad de las evaluaciones, (v) los tipos de ambientes evaluados, y (vi) los tipos de cultivos y sus requerimientos específicos para evaluación.



En el caso particular de Chile, donde el modelo de evaluación ambiental se basa en la identificación de condiciones aeróbicas, se realizó una evaluación especial de las experiencias y resultados de países como Noruega, Escocia y Canadá, que emplean indicadores como los cambios en la oxigenación de la columna de agua y los fondos marinos (condiciones anóxicas/hipóxicas) para la evaluación ambiental. Se identificaron variables ambientales como la presencia de comunidades bacterianas, redox, niveles de pH, concentración de materia orgánica y niveles de oxígeno disuelto, las cuales se utilizaron para determinar la presencia de condiciones anóxicas/hipóxicas. Esto permitió realizar una comparación detallada con los resultados obtenidos en Chile.

Por otra parte, se exploraron alternativas innovadoras para la evaluación de las condiciones ambientales, tales como: (i) indicadores geoquímicos como el sulfuro, indicadores biológicos como la macrofauna y métodos de imágenes de perfiles de sedimento que incluyen índices como el organismo-sedimentos y el índice de calidad del hábitat bentónico (Price y Morris Jr., 2013), y (ii) variables ambientales y métricas relacionadas, por ejemplo, H₂S, nitrógeno total, fósforo total, potencial óxido-reducción, identificación y diversidad de bacterias clave, análisis de macrofauna mediante índices comunitarios e índices bióticos como AMBI, M-AMBI y distribución taxonómica (Cranford et al., 2017; Frühe et al., 2021). Estas alternativas buscan generar un contexto para las posibles mejoras que se pueden implementar en el modelo de evaluación ambiental en Chile.

Toda la información recopilada para cumplir con este objetivo fue sistematizada mediante el software Zotero, lo que facilitó la organización de las citas de los sitios web consultados y permitió su búsqueda por áreas temáticas.

Tabla 1. Sitios web gubernamentales con descripción de la información disponible y los aspectos o temáticas relevantes a profundizar durante la ejecución del proyecto.

Tipo de sitios web	País	Entidad	URL de sitios web	Información disponible
Gubernamentales	Canadá	- Ministerio de Pesca y Océanos - Departamento de Pesca y Océanos	https://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/index-eng.htm	- Licencias, desempeño ambiental, regulaciones, cumplimiento y actividades. - Leyes y políticas que rigen las actividades acuícolas, el cumplimiento, la reforma regulatoria y la investigación. - Investigación y desarrollo específicos y colaborativos, procesos revisados por pares, tecnologías e investigación de especie. - Programa de Investigación para la Regulación de la Acuicultura (PARR).
Gubernamentales	Chile	- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción - Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura - Subsecretaría de pesca y Acuicultura - Comisión Nacional del Medio Ambiente - Comisión Regional de Medio Ambiental - Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)	http://www.sernapesca.cl https://www.subpesca.cl/	- La Ley General de Pesca y Acuicultura - Normativa sanitaria, ambiental y operacional, que rige las actividades de acuicultura, tanto en aguas marítimas como terrestres. - Monitoreo, análisis y la emisión de informes técnicos en aquellas materias relacionadas al desarrollo de las actividades de acuicultura desde el punto de vista sanitario y ambiental. - Información sobre acciones orientadas a propiciar el desarrollo armónico de la actividad. - Investigación y desarrollo específicos y colaborativos, procesos revisados por pares, tecnologías e investigación de especies - Reglamento Ambiental sobre Acuicultura - Informes ambientales (INFA)
Gubernamentales	Noruega	- Ministerio de Pesca y Asuntos Costeros - Ministerio de Clima y Medio Ambiente - Ministerio de Comercio y Pesca - Autoridad Noruega de Control de la Contaminación (NCPA) - Dirección de Medio Ambiente Dirección de Pesca	www.regjeringen.no www.miljodirektoratet.no	- Ley de acuicultura y pesca - Ley de Evaluación Ambiental - Evaluación de Impacto Ambiental - Regulaciones de Evaluación de Impacto Ambiental - Código de buenas prácticas para la acuicultura
Gubernamentales	Escocia	Dirección Marina de Escocia	www.gov.scot www.legislation.gov.uk https://www.sepa.org.uk/regulations/water/aqu	Ley de acuicultura y pesca Ley de Evaluación Ambiental Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental Regulaciones de Evaluación de Impacto Ambiental Código de buenas prácticas para la acuicultura

			aculture/ http://aquaculture.scotland.gov.uk/default.aspx Scotland's Environment Web.	Monitoreo ambiental
Gubernamentales	Irlanda	Departamento de acuicultura, Irlanda.	de gov.ie - Services	<ul style="list-style-type: none"> - Ley de acuicultura y pesca - Ley de Evaluaci3n Ambiental - Evaluaci3n de Impacto Ambiental - Regulaciones de Evaluaci3n de - Impacto Ambiental

3.1.2. Recopilaci3n y Selecci3n de Informaci3n de Bases de Datos Bibliogr3ficas

Se llev3 a cabo una recopilaci3n exhaustiva de trabajos cientificos a nivel nacional e internacional, enfocada en indicadores ambientales utilizados en los modelos de evaluaci3n ambiental de la acuicultura (**Tabla 2**). La b3squeda bibliogr3fica se realiz3 utilizando herramientas en l3nea especializadas en contenidos cientificos y acad3micos revisados por pares, tales como Google Scholar, Web of Science (WOS), ScienceDirect y SCOPUS, entre otros. Toda la informaci3n recopilada fue almacenada y organizada en Zotero, lo que facilit3 su gesti3n y posterior an3lisis. Los datos fueron procesados mediante un an3lisis bibliom3trico y una modelaci3n Model Driven Architecture (MDA), abarcando un total aproximado de 700 publicaciones relacionadas con las tem3ticas objeto de este informe. Un an3lisis estadístico de las publicaciones y palabras clave identificadas muestra una media de 200 art3culos por a3o durante los 3ltimos cinco a3os, lo que evidencia un inter3s y actividad cientifica sostenida en los t3picos analizados. Este enfoque permiti3 identificar tendencias, brechas y oportunidades de mejora en los modelos de evaluaci3n ambiental aplicados a la acuicultura.

Tabla 2. Resumen del an3lisis bibliom3trico, indicando el total de publicaciones analizadas y los a3os considerados.

Resumen Estadístico de Publicaciones	
Descripci3n general de publicaciones y autores	
M3trica	Valor
Total de Publicaciones	742
A3os Cubiertos	1958 -2024
Promedio de Publicaciones por a3o	21.82
A3o con M3s Publicaciones	2023
N3mero de Autores 3nicos	3815
Palabras Clave M3s Com3n	FISH
N3mero Total de Palabras Clave 3nicas	4535

3.1.2.1 Gesti3n y Almacenamiento de Informaci3n Bibliogr3fica

Los art3culos de revistas cientificas, libros, cap3tulos de libros, reportes e informes t3cnicos seleccionados se almacenaron en una base de datos organizada en una biblioteca de grupo llamada FIPA2023, utilizando el gestor bibliogr3fico Zotero (<https://www.zotero.org>). Esta herramienta fue seleccionada por su capacidad de facilitar el acceso, organizaci3n y uso de la informaci3n, tal como se ilustra en la **Figura 1**. La versi3n en l3nea de Zotero permite incluir citas, Digital Object Identifier (DOI), res3menes, palabras clave y enlaces URL asociados a los documentos. Adem3s, la versi3n de escritorio permite el almacenamiento de los

archivos en formato PDF, garantizando un acceso completo a los textos originales. Las bibliotecas de grupo en Zotero se han consolidado como una herramienta altamente eficiente para realizar revisiones de literatura y generar bibliografías para publicaciones científicas y reportes técnicos. Estas anexotecas facilitan:

- El análisis del número de autores y artículos publicados por año.
- La identificación de la distribución geográfica de los primeros autores.
- La categorización de temas de investigación específicos.
- La búsqueda eficiente de documentos mediante palabras clave, incluso cuando se gestiona un gran volumen de información.

La biblioteca de grupo FIPA2023 actualmente opera en modo privado, garantizando un acceso restringido al equipo de trabajo. Sin embargo, Zotero cuenta con la funcionalidad de convertir las bibliotecas en públicas, lo que permitiría la participación de cualquier persona interesada en colaborar o utilizar la información recopilada. Esta flexibilidad ofrece la oportunidad de compartir conocimiento y fomentar la cooperación entre investigadores y profesionales interesados en la temática.



Figura 1. Biblioteca de grupo del gestor bibliográfico Zotero.

3.1.2.2. Gestión Sistemática de Información mediante Modelos LDA

Con el objetivo de organizar y gestionar sistemáticamente la información almacenada en Zotero y estructurarla por temáticas relevantes para la revisión bibliográfica, se implementaron Modelos LDA (Latent Dirichlet Allocation). Este enfoque permite identificar de manera automática temas latentes en grandes colecciones de documentos, sin necesidad de especificarlos previamente, siendo particularmente útil en el análisis exploratorio de tendencias y patrones dentro de datos no estructurados como textos. El modelo LDA es escalable y eficiente, lo que lo hace aplicable a volúmenes masivos de datos textuales, como colecciones que abarcan miles o incluso millones de documentos, manteniendo un rendimiento robusto. Su ventaja principal radica en que asigna probabilísticamente palabras y documentos a múltiples temas. Esto refleja la realidad textual, ya que un documento puede tratar más de un tema, pero en diferentes proporciones.

En este proyecto, el modelo LDA distribuyó documentos entre diferentes temas de manera probabilística. Para interpretar los resultados, se realizó un ajuste en el modelo, asignando nombres a los temas identificados con base en las probabilidades asociadas a las palabras más representativas de cada tema. Por ejemplo, si los términos predominantes en un tema giraban en torno a "sostenibilidad", se le asignó el nombre Sostenibilidad Acuícola.

3.1.2.3. Términos Temáticos Elegidos

Para este análisis, se definieron las siguientes categorías:

Sostenibilidad Acuícola: Relacionada con prácticas sostenibles en acuicultura, enfocadas en minimizar el impacto ambiental y garantizar la productividad a largo plazo.

Gestión Sustentable: Agrupa textos sobre la administración y manejo sostenible de recursos acuícolas, incluyendo normativas, políticas y regulaciones.

Estado Ambiental: Representa información sobre la condición de los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla la acuicultura, abordando indicadores de salud ambiental, calidad del agua y otros factores relevantes.

Innovación Acuícola: Asociada con nuevas tecnologías, técnicas y enfoques en acuicultura destinados a mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Producción Limpia: Incluye textos sobre prácticas productivas orientadas a minimizar residuos y contaminación, como la gestión eficiente de recursos, manejo de residuos y certificaciones ambientales.

Este modelo permitió identificar con precisión los temas dominantes en el conjunto de datos y organizar de manera estructurada la información en Zotero. Además, proporcionó un contexto claro para el análisis de las tendencias y prácticas globales relacionadas con los modelos de evaluación ambiental en acuicultura. La biblioteca FIPA2023 en Zotero, utilizada como repositorio central, ahora permite búsquedas eficientes mediante palabras clave y categorías temáticas, ofreciendo una herramienta de análisis y revisión altamente eficiente. La sistematización mediante LDA facilita además el diseño de estrategias para mejorar los modelos chilenos en base a experiencias internacionales documentadas en la literatura científica.

3.2. Metodología objetivo 2 (OE 2): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.

3.2.1. Recopilación y selección de información sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo

Se realizó una investigación, recopilación y selección a nivel nacional e internacional, mediante búsqueda bibliográfica, páginas web, asistencia a talleres o conferencias de innovación acuícola y a entrevistas con empresas prestadoras de servicios de tecnología acuícola de la zona y el extranjero, entre otros medios. Para la solicitud de información a los prestadores de servicios de mecanismos físicos se les contactó vía email adjuntando la carta de presentación (**ANEXO 4**). Por esta vía se concretaron entrevistas con las siguientes empresas: Kran SPA, Chucao Tech, Casco Antiguo, DVS Tecnología. Con esta última empresa se generó una alianza de colaboración, en donde se nos solicitó la firma de un compromiso de confidencialidad – bajo el principio de “secreto estadístico” – de manera de garantizar a los proveedores y clientes la reserva de información sensible. Se acordó la facilitación de información metodológica orientada a comprender la tecnología, la existencia de patentes, documentación que la describa, centros o lugares donde se está aplicando o donde se podría aplicar, sin entregar información detallada de sus clientes sin previa autorización de estos.

Por otro lado, se generaron contactos con empresas nacionales e internacionales, que ofrecen tecnologías preventivas. Se realizó una entrevista de manera telemática con Biolift, empresa chilena que ofrece un servicio de captación y gestión de residuos orgánicos generados en balsas jaulas a través de un sistema innovador, amistoso con el medio ambiente y que contribuye de manera real a la economía circular. A la reunión asistieron su Gerente General Alex Brown y el director Carlos Carroza. A nivel internacional, se contactó a Yngve Askeland y Nina Hildre de Mørenot Aquaculture AS (Noruega) para la realización de una reunión vía telemática. Esta empresa ha desarrollado tecnologías interesantes para el manejo de residuos y se dedica a ofrecer soluciones avanzadas y sostenibles para la acuicultura, especialmente centradas en el diseño y suministro de equipos de producción para la cría y mantenimiento de peces en jaulas y redes en ambientes marinos. La empresa es una de las principales en el norte de Europa en su sector, con un enfoque en innovaciones que reducen el impacto ambiental y optimizan la durabilidad y seguridad de las redes y otros productos de acuicultura. Entre sus soluciones clave se encuentran sistemas de redes de alta durabilidad y equipos que soportan condiciones marinas severas, protegiendo a los peces y manteniendo condiciones óptimas para el cultivo. Otra vía de información, fue la asistencia al INNAQUA 2023, Conferencia de innovación acuícola, realizada en Puerto Varas (**ANEXO 5**). Lo anterior, permitió recabar información relevante, y establecer contactos con empresas nacionales e internacionales que desarrollan tecnologías acuícolas.

3.2.2. Análisis de la información seleccionada sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.

Una vez recopilada la información de todos los mecanismos o tecnologías disponibles destinadas a disminuir el ingreso de materia orgánica al ecosistema, la información fue evaluada considerando su aplicación, lugares de implementación y resultados de su aplicación. Se generaron tablas resúmenes con la información más relevante de cada mecanismo o tecnología, incluyendo sus ventajas y desventajas de

aplicaci3n. Posteriormente tomando como base dicha informaci3n, se realiz3 un an3lisis de priorizaci3n de los mecanismos y tecnolog3as con el prop3sito de establecer un ranking de recomendaci3n. Para ello, se realiz3 un an3lisis de oportunidad para identificar y medir los beneficios o ventajas potenciales de la aplicaci3n de cada mecanismo o tecnolog3a.

Para realizar el an3lisis se identificaron las posibles ventajas u oportunidades potenciales de aplicaci3n:

- Presencia en el mercado internacional
- Presencia en el mercado nacional
- Factibilidad t3cnica
- Escalabilidad
- Impacto Ambiental
- Eficiencia de la tecnolog3a

Luego se evalu3 la Probabilidad de 3xito (P) de cada mecanismo o tecnolog3a, de acuerdo con lo siguiente:

- Baja (1): Ocurre raramente.
- Media (2): Ocurre ocasionalmente.
- Alta (3): Ocurre frecuentemente

Adem3s, se evalu3 la Magnitud de la oportunidad (M) de acuerdo con la siguiente escala:

- Bajo (1): Impacto m3nimo,
- Medio (2): Impacto significativo,
- Alto (3): Impacto Alto,

Para obtener el Score se aplica la siguiente formula:

$$\text{Score} = ((P_n \times M_n) / P_{\text{max}}) \times 100$$

Para obtener el puntaje o score de oportunidad, se pueden definir rangos para interpretar el score total (100 puntos). Por ejemplo, en la Figura 2.

- Alto (67-100 puntos): La factibilidad de aplicaci3n est3 en condiciones 3ptimas, con pocos o ning3n problema de aplicaci3n.
- Medio (34-66 puntos): La factibilidad de aplicaci3n est3 en buenas condiciones, pero hay 3reas que podr3an mejorarse.
- Bajo (0-33 puntos): La factibilidad de aplicaci3n presenta desaf3os significativos deben abordarse.

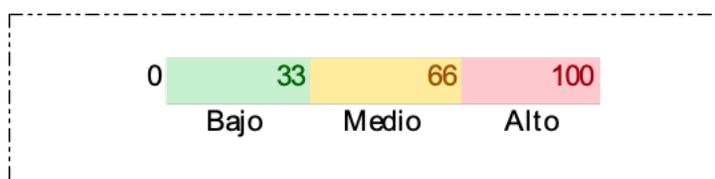


Figura 2. Regla para interpretar el Score de oportunidad.

Esto permiti3 analizar una matriz de oportunidad, la cual ayuda a discriminar entre mecanismos o tecnolog3as y asignarle un puntaje en base a criterios de observaci3n, lo cual, como resultado, es un ranking que tiene como objetivo proponer o recomendar las que resultaren con un puntaje m3s alto.

3.3. Metodología objetivo 3 (OE 3): Proponer mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas.

3.3.1. Visita a centro de investigación

El objetivo principal de la visita técnica a un centro de investigación internacional es recopilar información sobre mecanismos y tecnologías implementadas a nivel global para prevenir la sedimentación de partículas generadas en los centros de cultivo de salmones, las cuales contribuyen al enriquecimiento orgánico de los fondos marinos asociados a estas instalaciones. Justificación y Contexto: Se ha identificado a Noruega como un país de interés prioritario para esta actividad debido a su similitud en la actividad acuícola con Chile, así como su normativa ambiental avanzada y los avances significativos en proyectos de I+D+i relacionados con la sostenibilidad en salmonicultura. Noruega cuenta con una extensa trayectoria en el desarrollo de innovaciones tecnológicas y prácticas reguladoras que abordan los desafíos ambientales de la acuicultura, haciendo que este país sea un candidato idóneo para una visita técnica.

En línea con este objetivo, se asistió a la segunda versión de la Conferencia de Innovación Acuícola INNAQUA realizada en septiembre de 2023 en Puerto Varas, Chile. Este evento, organizado por el Club Innovación Acuícola de Chile, es reconocido como el principal encuentro de innovación en acuicultura del hemisferio sur. La conferencia abordó el tema central de la “Innovación para alcanzar una industria más eficiente y sostenible”, con la participación de expertos internacionales destacados, entre ellos el Dr. Lars Ebbesson, director del Centre for Sustainable Aquaculture Innovations del Norwegian Research Centre (NORCE) y Profesor Adjunto del Departamento de Biología de la Universidad de Bergen, Noruega. Durante la conferencia, se tuvo la oportunidad de conversar directamente con el Dr. Lars Ebbesson acerca de los objetivos del proyecto. El Dr. Ebbesson mostró gran interés en colaborar, facilitando la posibilidad de realizar una visita técnica al centro de investigación NORCE.

Relevancia del Centro de Investigación NORCE

El Centro de Investigación NORCE, con sede en Bergen, Noruega, es uno de los institutos de investigación más grandes del país. Este centro trabaja tanto para el sector público como para el privado, enfocándose en decisiones informadas y sostenibles en áreas como energía, atención médica, clima, medio ambiente, sociedad y tecnología. En el ámbito de la acuicultura y el medio ambiente, NORCE contribuye con investigación y desarrollo en las siguientes áreas clave:

- Uso y gestión sostenible del medio ambiente y recursos naturales.
- Acuicultura sostenible.
- Uso responsable de biotecnología.
- Ecología de agua dulce y gestión del salmón salvaje.
- Experiencia en vigilancia ambiental.
- Estos lineamientos hacen de NORCE un centro ideal para explorar enfoques innovadores en la gestión de impactos ambientales asociados a la salmonicultura.



Los objetivos específicos de la visita incluyen:

- Realizar entrevistas con investigadores y profesionales expertos en mecanismos o modelos de evaluación ambiental relacionados con la salmonicultura.
- Llevar a cabo reuniones con expertos en normativa ambiental aplicada a la acuicultura.
- En la medida de lo posible, sostener reuniones con investigadores que estén desarrollando tecnologías para la remediación o eliminación de materia orgánica asociada a los centros de cultivo.
- Si las condiciones lo permiten, visitar un centro acuícola donde se estén implementando o probando tecnologías innovadoras de remediación o manejo de materia orgánica.

Planificación de la Visita

El Dr. Lars Ebbesson se comprometió a facilitar los contactos necesarios para cumplir con los objetivos planteados. Además, considerando los lineamientos de investigación de NORCE y la experiencia del Dr. Ebbesson, se espera que esta visita permita:

- Acceder a información de primera mano sobre prácticas y tecnologías innovadoras en la salmonicultura sostenible.
- Establecer colaboraciones futuras que fortalezcan la investigación y desarrollo en el ámbito nacional.
- Identificar oportunidades para adaptar tecnologías noruegas al contexto chileno, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de la acuicultura en los ecosistemas locales.

La visita al Centro de Investigación NORCE no solo representa una oportunidad para fortalecer el conocimiento técnico y normativo en el área de la salmonicultura, sino que también constituye un paso estratégico hacia la implementación de soluciones sostenibles que puedan ser replicadas en Chile.

3.3.2 Análisis Económico

El análisis económico se diseñó para evaluar los costos asociados a las mejoras del modelo de evaluación ambiental de la acuicultura y los mecanismos tecnológicos destinados a prevenir o remediar la sedimentación de materia orgánica en los fondos marinos. Este análisis tiene como objetivo proporcionar herramientas que faciliten la toma de decisiones informadas en los sectores público y privado.

Identificación de Costos Relacionados con las Mejoras Propuestas:

- Se recopilaron datos económicos de fuentes confiables, como:
 - I. Proveedores de servicios especializados en acuicultura.
 - II. Proyectos previamente ejecutados por IFOP.
 - III. Informes oficiales de la Subsecretaría de Pesca y del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- Se incluyó el costo promedio de los INFA (Informes Ambientales) y su relación con las mejoras propuestas al modelo.

Análisis Cualitativo y Cuantitativo de los Mecanismos Preventivos:

- Se diseñó un ranking de recomendación, basado en entrevistas realizadas con actores clave de la industria, tales como:
 - I. Representantes de proveedores de tecnologías.
 - II. Profesionales de centros acuícolas.
 - III. Especialistas en normativas ambientales.

- Las entrevistas permitieron recopilar información sobre costos, efectividad y viabilidad de implementación de tecnologías para la prevención de sedimentación y acumulación de materia orgánica.

Uso de Herramientas de Evaluación Económica:

- Se aplicó la Matriz de Oportunidades, una herramienta que compara, pondera y prioriza opciones en base a criterios predefinidos, tales como:
 - I. Relación costo-beneficio.
 - II. Factibilidad técnica.
 - III. Impacto ambiental.
 - IV. Compatibilidad con normativas existentes.

Expresión de Costos en Unidades de Fomento (UF):

Para garantizar la reajustabilidad y estabilidad del análisis en el tiempo, los costos se expresaron en UF, permitiendo su comparación en diferentes escenarios temporales y económicos.

Evaluación de Escenarios y Prioridades:

- Se plantearon escenarios hipotéticos para la implementación de las mejoras, diferenciando entre costos iniciales, costos operativos y beneficios a largo plazo.
- Se priorizaron las opciones más viables en términos económicos y técnicos, considerando las características específicas de los centros de cultivo en Chile.

Organización del Análisis

Toda la información recopilada y procesada fue sistematizada en una base de datos estructurada para facilitar la comparación y análisis de las diferentes alternativas. Esta organización permite identificar oportunidades de optimización y evaluar la factibilidad de implementar las propuestas de mejora tanto en el marco normativo como en escenarios de inversión privada.

3.3.3. Taller de Expertos

Como parte de la metodología, y tras la revisión bibliográfica sobre modelos de evaluación ambiental en la acuicultura y la búsqueda de información relacionada con mecanismos y sistemas tecnológicos para prevenir o reducir la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo, se llevó a cabo un taller de expertos.

Selección de Participantes:

Se seleccionó un grupo de expertos nacionales e internacionales con amplia experiencia en investigación, desarrollo y gestión del sector acuícola, particularmente en áreas relacionadas con la sostenibilidad ambiental y la innovación tecnológica en sistemas de cultivos acuícolas. Este panel incluyó:

- Investigadores enfocados en el monitoreo y evaluación de impactos ambientales en la acuicultura.
- Docentes universitarios especializados en tecnologías de producción acuícola sostenible.
- Profesionales de la industria acuícola con experiencia práctica en la implementación de modelos y tecnologías relacionadas con la gestión de sedimentos y calidad ambiental en centros de cultivo.

Organización y Dinámica del Taller

Presentación de los Resultados Preliminares:

- Durante el taller, se compartieron los hallazgos obtenidos a partir de la revisión bibliográfica y el análisis de información recopilada en este proyecto.
- Se expusieron propuestas preliminares de mejora a los modelos de evaluación ambiental y mecanismos tecnológicos identificados.

Discusión y Retroalimentación:

- Los participantes fueron divididos en grupos temáticos según sus áreas de especialización, facilitando un análisis focalizado en los diferentes aspectos del proyecto.
- Se incentivó el intercambio de experiencias y perspectivas sobre las prácticas implementadas en Chile y en otros países con sistemas de cultivo similares.
- Se identificaron Brechas y Oportunidades: Los expertos contribuyeron a identificar limitaciones en los modelos actuales de evaluación ambiental, así como posibles áreas de mejora en la implementación de tecnologías de mitigación.
- Se discutieron las oportunidades de adaptación de tecnologías internacionales al contexto chileno.

Para garantizar una retroalimentación más completa, algunos expertos que no pudieron participar en el taller fueron invitados a reuniones individuales. En estas instancias, se compartieron los resultados del proyecto y se recogieron sus apreciaciones sobre las propuestas y hallazgos presentados. El taller de expertos tuvo como propósito principal validar las propuestas generadas a lo largo del proyecto, así como enriquecerlas con aportes prácticos y técnicos basados en la experiencia de los participantes. Este proceso también permitió priorizar las recomendaciones en función de su viabilidad técnica, económica y normativa, sentando las bases para la formulación final de las conclusiones y propuestas del proyecto.

Tabla 3. Listas de expertos contactados e invitados al taller.

N.º	Nombre	Institución	Correos	Rol (ej. en qué área participara)	Experto en indicadores específico o Tecnologías	Participación
1	Peter Cranford	Instituto Bedford de Oceanografía	Peter.Cranford@outlook.com	Modelos de evaluación ambiental	Indicador ambiental: Métodos espectrofotométrico para análisis de sulfuro en sedimentos	Se realizó una reunión el día (12/11/2023) donde se discutió sobre los detalles de la metodología de detección y sulfuros por espectrofotometría UV, implementados en sus trabajos Cranford et al., 2017 y 2020. Se acordó que tenía disponibilidad para un encuentro online con el fin de asesorar respecto a monitoreos ambientales.
2	Sandra Marín	Universidad Austral de Chile	smarin@uach.cl	Modelos de evaluación ambiental	Indicadores ambientales: AMBI	Se realizó una reunión preliminar (12/10/2023) donde se presentó la metodología como se llevará a cabo el proyecto FIPA202311. También se acordó la participación de Sandra Marín en la revisión de la propuesta y se acordó compartir información de proyectos liderados por ella y en los cuales ha participado relacionado con los temas de interés del proyecto.
2	Alejandro Buschmann	Universidad de los Lagos	abuschma@ulagos.cl	Acuicultura sustentable	Indicadores ambientales	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
3	Adolfo Albial	Club de Innovación Acuicola	adolfoalbial@gmail.com	Innovación Tecnológica en acuicultura	Tecnología	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
4	Claire Bomkamp	The Good Food Institute	claireb@gfi.org	Ciencia y tecnología en cultivo de Salmon	Tecnología	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

5	Daniel Vega Salinas	DVS Technology	dvega@dvstecnologia.cl	Desarrollo tecnológico en la industria acuícola	Tecnología	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
6	Francisco Bravo	CSIRO	francisco.bravo@csiro.au	Modelador ecológico	Indicadores ambientales	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
7	Linne Falconer	Instituto de Acuicultura de la University of Stirling, Escocia.	lynne.falconer1@stir.ac.uk	Cambio climático en acuicultura	Indicadores ambientales	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
8	Lars Ebbesson	Centro de Investigación de Noruega (NORCE)	laeb@norceresearch	Soluciones sostenibles y digitales para la acuicultura	Tecnología	Contados durante INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio.
9	Paulo Jorquera	Rubro de acuicultura	Paulo_jorquera@hotmail.com	Soluciones sostenibles y digitales para la acuicultura	Tecnología	Taller de expertos
10	Gustavo Rival	Casco Abtiguio	g.rival@cascuantiquo.com	Tecnologías de monitoreo ambiental	Tecnología	Taller de expertos
11	Mauricio Bueno	Kran-nanobubble	mauricio.bueno@krannanobubble.com	Tecnología de remediación	Tecnología	Taller de expertos
12	Alex Brown	BioLift	alex.brown@biolift.c	Tecnología de remediación	Tecnologías	Taller de expertos
13	Doris Sota	Incar	dorsoto@ud.ec.cl	Acuicultura sustentable	Indicadores ambientales	Taller de expertos y reunión individual
14	Fernando Figuera	Moleaer Inc	fernando.r.figueroa@gmail.com	Oxigenación de alta eficiencia para acuicultura	Tecnología	Taller de expertos
15	Claudia Perez	Caleta Bay	cpazt@caletabay.cl			Taller de expertos
16	Geysi Urrutia	Multi X	gurrutia@multi-salmon.com	Departamento Medio Ambiente	Indicadores ambientales	Taller de expertos
17	Felipe Tucca	Intesal	f.tucca@intesal.cl	Acuicultura sustentable	Indicadores ambientales	Taller de expertos
18	Oscar Hofmann	Salmones Austral	oscar.hofmann@salmonesaustral.cl	Acuicultura sustentable	Indicadores ambientales	Taller de expertos
19	Marcelo Vargas	Ventisqueros	mvargas@ventisqueros.cl	Acuicultura sustentable	Indicadores ambientales	Taller de expertos

4. RESULTADOS

4.1. Resultados objetivo 1 (OE 1): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.

4.1.1. Modelo de Evaluación Ambiental en Chile.

Desde el año 2003, Chile implementa una Política Nacional de Acuicultura (PNA), cuyo objetivo es fomentar el desarrollo sustentable de esta actividad, garantizando un crecimiento económico significativo dentro de un marco de sustentabilidad ambiental y equidad en el acceso a los recursos. La acuicultura en Chile se centra principalmente en los cultivos de salmónidos y mitílidos, actividades que requieren el uso de bienes nacionales como porciones de agua, fondo de mar, playas y terrenos de playa, así como, en algunos casos, ríos y lagos navegables. Estas áreas son administradas por el Ministerio de Defensa Nacional bajo normativas específicas como el Decreto con Fuerza de Ley (DFL) N° 340/1960 y el Decreto Supremo (DS) N° 475/1994.

Concesiones de Acuicultura.

Para realizar actividades de acuicultura en Chile, es necesario obtener una concesión, que solo puede ser solicitada en las denominadas Áreas Apropriadas para la Acuicultura (Art. 67 de la Ley General de Pesca y Acuicultura). La Ley N° 20.434/2010 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), detalla en su Título VI los requisitos asociados a las concesiones de acuicultura y establece objetivos específicos enfocados en la protección ambiental (Artículos 74 y 87). Asimismo, el Título XI contempla las causas de caducidad de las concesiones (Artículos 106, 107 y 107 bis).

El proceso de obtención de una concesión incluye la evaluación de diversos criterios:

- Territoriales: Áreas autorizadas para la acuicultura.
- Sectoriales: Proyecto técnico, extensión de superficie, análisis cartográfico, entre otros.
- Legales: Personas jurídicas interesadas deben incluir la acuicultura en su giro.
- Ambientales: Cumplimiento con el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) y el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

El otorgamiento de concesiones es un proceso complejo que involucra a múltiples organismos públicos, lo que asegura una revisión integral desde diferentes perspectivas. Según diversos estudios (Norambuena, 2008; Murillo et al., 2010; Aguirre et al., 2015), este proceso debe cumplir con regulaciones específicas para garantizar un equilibrio entre las actividades productivas y la protección del medio ambiente.

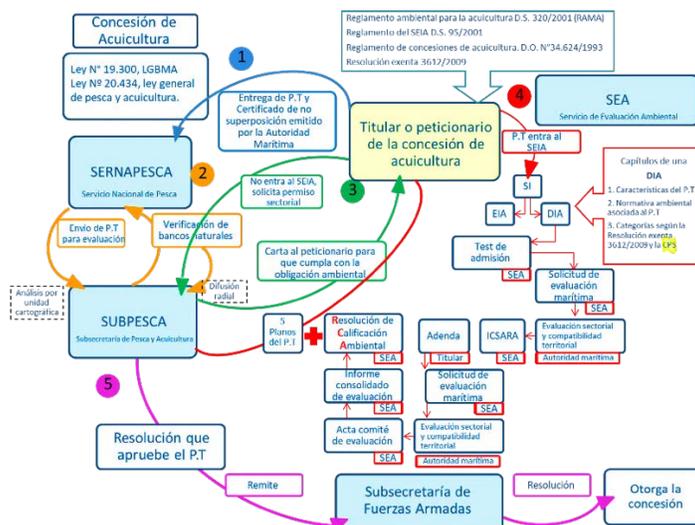
Instrumentos de Evaluación Ambiental.

- El RAMA regula la evaluación ambiental de los centros de cultivo mediante instrumentos para la conservación y evaluación de las capacidades de los cuerpos de agua como:

- I. La Caracterizaci3n Preliminar de Sitio (CPS), informe presentado por los solicitantes o titulares de centros de cultivo que contiene los antecedentes ambientales, topogr3ficos y oceanogr3ficos del 3rea en que se pretende desarrollar o modificar un proyecto de acuicultura para someterse al Sistema de Evaluaci3n de Impacto Ambiental, cuyos requisitos establecer3 el reglamento seg3n el grupo de especies hidrobiol3gicas y el sistema de producci3n (art3culo 3º del RAMA).
- II. Los Informes Ambientales (INFA), Informe de los antecedentes ambientales de un centro de cultivo en un per3odo determinado. El objetivo principal del INFA es determinar si el fondo marino se encuentra en condiciones aer3bicas o anaer3bicas. En caso de que el informe indique condiciones anaer3bicas, se proh3be la operaci3n del centro de cultivo hasta que se demuestre la recuperaci3n del estado aer3bico (art3culo 3º del RAMA).

Marco Regulatorio y Enfoque Ambiental en Chile

La regulaci3n chilena destaca por su enfoque reactivo, donde las medidas se aplican una vez que se detectan condiciones de deterioro ambiental. Esto contrasta con modelos internacionales que adoptan enfoques m3s preventivos, incluyendo el monitoreo continuo de indicadores clave, como ox3geno disuelto, redox y presencia de macrofauna bent3nica, para evitar la acumulaci3n de materia org3nica y la eutrofizaci3n. En la **Figura 3**, se presenta una s3ntesis del proceso de solicitud de conces3n, incluyendo las normativas aplicables y los servicios p3blicos involucrados en cada etapa. Este modelo tiene como base un marco normativo s3lido que regula la sostenibilidad de la acuicultura, promoviendo su coexistencia con la conservaci3n ambiental y el manejo sustentable de los recursos hidrobiol3gicos.



- Etapa 1:** Proceso de iniciaci3n del tr3mite por parte del titular, el proyecto t3cnico es entregado en Sernapesca
- Etapa 2:** Sernapesca env3a la documentaci3n a Subpesca la que solicita la evaluaci3n de bancos naturales en el 3rea solicitada, si no hay bancos naturales, Subpesca env3a al titular una carta donde le solicita que cumpla con las obligaciones ambientales
- Etapa 3:** El titular puede entrar o no al SEIA, si no lo hace solicita a Subpesca un permiso sectorial para su proyecto
- Etapa 4:** El titular se somete al SEIA mediante una DIA con el fin de obtener una Resoluci3n de calificaci3n ambiental (RCA). Adem3s el titular debe adjuntar 5 copias de planos con especificaciones geod3sicas y enviarlos a Subpesca
- Etapa 5:** La Subpesca eval3a el proyecto y si cumple remite a la Subsecretar3a de Fuerzas Armadas la resoluci3n de aprobaci3n del proyecto, finalmente 3sta 3ltima entidad otorga la conces3n al titular.

Figura 3. Modelo conceptual para la tramitaci3n de una conces3n de acuicultura: Leyes, reglamentos, normativas aplicables, servicios p3blicos que participan en cada etapa del proceso de evaluaci3n del proyecto. Fuente: Aguirre et al. 2015.

El artículo 10 de la Ley N° 19.300/1994 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA), junto a sus modificaciones, establece que los proyectos o actividades que puedan generar impactos ambientales significativos en cualquiera de sus fases deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Entre estos, el literal n) contempla específicamente proyectos de explotación intensiva, cultivo y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos. El Reglamento del SEIA (D.S. 40/2012, MMA) detalla en su artículo 3° las actividades que deben someterse al SEIA, incluyendo los volúmenes y superficies mínimas de producción. Este instrumento establece criterios específicos para las diferentes especies susceptibles de cultivo. El proceso culmina con la obtención de una Resolución de Calificación Ambiental (RCA), aprobatoria o no, siendo un requisito indispensable para ejecutar el proyecto. En el caso de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), se debe demostrar que el proyecto no presenta los efectos o características detallados en el artículo 11 de la LBGMA, y que cumple con la normativa ambiental aplicable, incluidos los permisos sectoriales pertinentes.

En el ámbito sectorial, la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, Ley N°18.892/1989) establece responsabilidades ambientales específicas para los concesionarios. Su artículo 74° indica que la limpieza y el equilibrio ecológico en las áreas concesionadas son responsabilidad del concesionario, mientras que el artículo 87° ordena la reglamentación de medidas de protección ambiental para asegurar la compatibilidad de las actividades acuícolas con la capacidad de carga de los cuerpos de agua, evitando condiciones anaeróbicas.

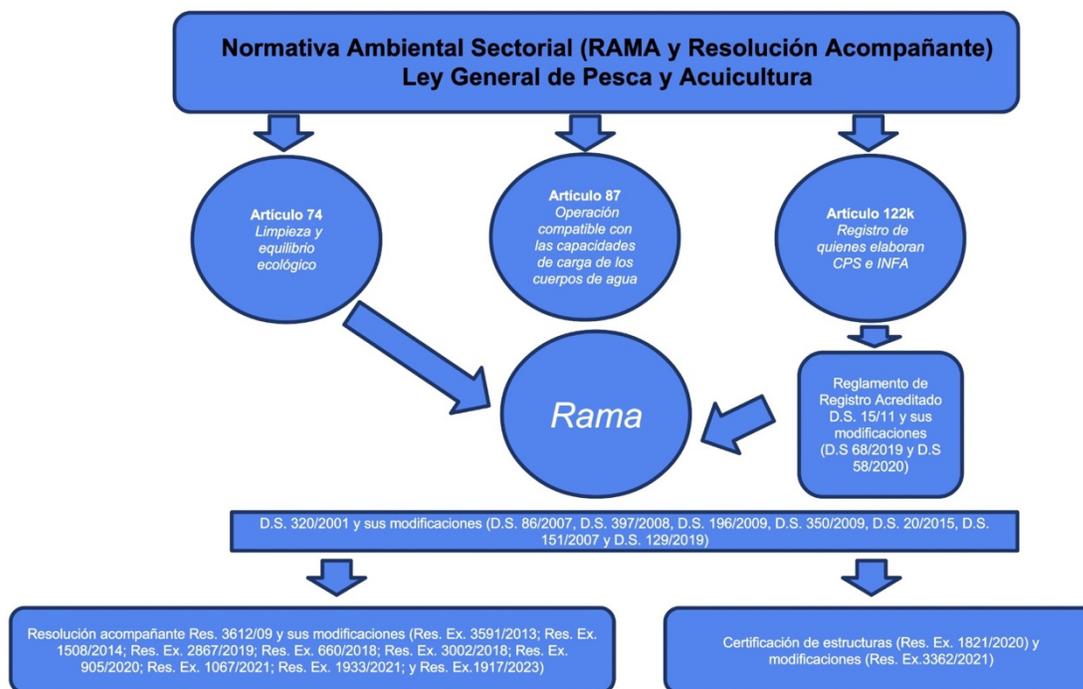


Figura 4. Normativa Ambiental Sectorial RAMA.

El Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA, D.S. N°320/2001; **Figura 4**) unifica los requerimientos ambientales para las actividades acuícolas. Según su artículo 3°, constituyen instrumentos clave la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), estableciendo que un cuerpo de agua excede su capacidad cuando presenta condiciones anaeróbicas en el área de sedimentación o en la columna de agua. En la Resolución Exenta N°3612/2009, junto a sus múltiples

modificaciones, se fija las metodologías para elaborar la CPS y la INFA y se establecen los límites de aceptabilidad que permiten la evaluaci3n o determinaci3n de aerobia o anaerobia de un centro de cultivo, con indicadores como: pH, redox, materia orgánica total y oxígeno disuelto (**Tabla 4**).

Tabla 4. Límites de Aceptabilidad Res. Ex. N°3.612/2009.

Variable	Límite de aceptabilidad
Materia Orgánica	≤ 9%
pH y redox conjunto	pH ≥ 7,1 y Redox > 50 mV
Oxígeno disuelto (1m del fondo) (Zona Sur)	≥ 2,5 mg/L
Registro visual (Filmaci3n submarina)	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de cubiertas de microorganismo visibles y/o burbujas de gas para el caso de la CPS. • N° de transectos igual o menor a 2, con presencia de cubierta de microorganismo visibles y/o burbujas de gas.

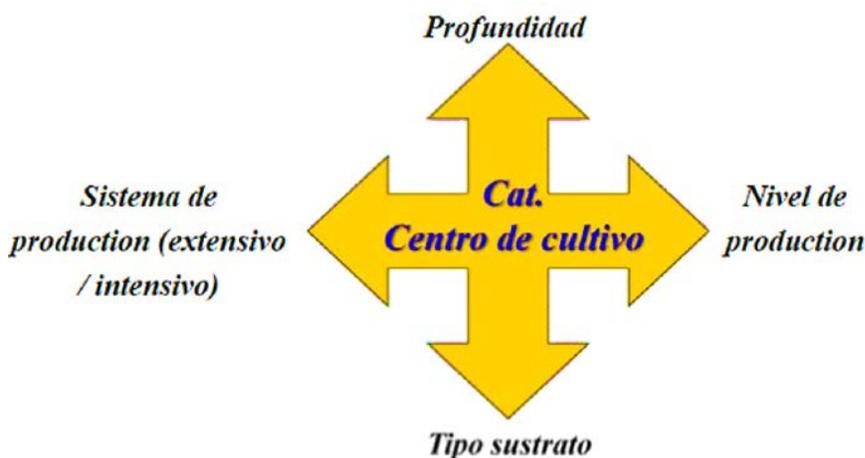


Figura 5. Bases para la categorizaci3n de los centros de cultivo.

Por otra parte, existen requerimientos adicionales (macrofauna bent3nica, granulometría, corrent3metro) que no son utilizados en esta determinaci3n y que debieran ser parte de la evaluaci3n y comparaci3n que se realice. Estos indicadores son esenciales para evaluar la condici3n ambiental de los centros de cultivo segun los requisitos de cada categoría. Estas Categorías fueron establecidas considerando sus sistema de producci3n y sus características oceanográficas y de fondo, así como, por la producci3n autorizada (**Figura 5; Tabla 5**). En **Tabla 6** se presentan los muestreos y análisis se deben realizar, segun categoría. Las metodologías y parámetros establecidos por las resoluciones modificadas, como la Res. Ex. N°3591/2013, Res. Ex. N° 1933/2021 y la más reciente Res. Ex. N° 1917/2023, buscan garantizar una evaluaci3n ambiental precisa y adaptada a las particularidades de cada centro de cultivo.

Tabla 5. Categorías establecidas para los centros de cultivo.

Categoría de centro	Profundidad (m)	Tipo de cultivo	Producción (Ton)	Tipo de fonde
Cat. 0	-----	Macroalgas fondo	-----	-----
	> 60	Extensivo	≤ 1000	Duro o semiduro
		Intensivo	≤ 50	Duro o semiduro
Cat. 1	-----	Macroalgas suspendidas	-----	Blando
	> 60	Extensivo	≤ 300	Blando
Cat. 2	≤ 60	Extensivo	300- 1000	Blando
	≤ 60	Intensivo	≤ 50	Blando
Cat. 3	≤ 60	Extensivo	≥ 1000	Blando
	≤ 60	Intensivo	≥ 50	Blando
Cat. 4	≤ 60	Extensivo	≥ 1000	Duro o semiduro
	≤ 60	Intensivo	≥ 50	Duro o semiduro
Cat. 5	≤ 60	Extensivo	≥ 1000	-----
	≤ 60	Intensivo	≥ 50	-----
Cat. 6	≤ 60	Extensivo (ríos/estuarios)	≥ 1000	Blando
	≤ 60	Extensivo (ríos/estuarios)	≥ 50	Blando
Cat. 7	≤ 60	Extensivo (lagos/lagunas)	≥ 1000	Blando
	≤ 60	Extensivo (lagos/lagunas)	≥ 50	Blando

En el reglamento vigente, se establece que los proyectos de acuicultura, como las concesiones, deben someterse a una evaluación ambiental previa al inicio de operaciones. Esta evaluación incluye la elaboración de una Caracterización Preliminar de Sitio (CPS), que determina las condiciones ambientales iniciales del área donde se proyecta operar. Una vez que el centro de cultivo entra en funcionamiento, se realiza un seguimiento periódico de la condición ambiental del área de influencia mediante la elaboración de una Información Ambiental (INFA) (**Tabla 7**).

Tabla 6. Esquema general de los requisitos ambientales de cada categoría de centros de cultivo, sin la distinción por APE. * Solo para el caso de sustrato blando y profundidades iguales o inferiores a 60 metros. ** Solo en INFA. *** Solo Categoría 4. **** Correntómetro.

Parámetros	Categorías							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Plano batimétrico y de sustrato*; ubicación de los módulos de cultivo**, de las transectas*** y estaciones de muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X
Correntómetro (****)				X	X	X	X	X
Granulometría			X	X			X	X
Materia Orgánica en Sedimento		X	X	X			X	X
Macrofauna bentónica			X	X			X	X
pH, potencia redox y temperatura en sedimentos				X			X	X
Oxígeno disuelto en la columna del agua		X		X	X	X	X	X
T °C y salinidad en la columna del agua		X		X	X	X	X	X
Sulfuro (aun sin implementar)				X				
Registro visual					X			
Caudal							X	

Tanto la CPS como el INFA son herramientas determinantes para la autorización y permitir la continuidad de la operación de los centros de cultivo. Según el reglamento, un centro de cultivo solo puede operar si los resultados de la CPS o del INFA confirman que el área de sedimentación y la columna de agua se encuentran en condiciones compatibles con la capacidad del cuerpo de agua, es decir, en una condición aeróbica. En el caso de que los resultados de la CPS indiquen una condición anaeróbica, el proyecto no puede ejecutarse. Asimismo, si un INFA arroja resultados negativos, se prohíbe el ingreso de nuevos ejemplares al centro de cultivo para el siguiente ciclo productivo, hasta que una nueva evaluación confirme el retorno a la condición aeróbica requerida (**Tabla 7**). La frecuencia con la que se debe realizar el INFA depende del tipo o la etapa de cultivo en desarrollo (**Tabla 8**).

Cabe señalar, que si bien la CPS y la INFA comparten muchas variables y metodologías de medición, según lo establecido en la Resolución Exenta N° 3612/2009, se diferencian fundamentalmente: en su propósito (evaluación condición inicial/línea de base vs. seguimiento operativo/periódico); momento de realización (CPS antes de operar, INFA periodo de máxima Biomasa); el responsable (CPS titular, INFA

Sernapesca en el caso de salmónidos); el área de cobertura (CPS área total solicitada, INFA alrededor de los módulos de cultivo de mayor biomasa/mayor impacto potencial); la lógica de ubicación y número de estaciones de muestreo, con la INFA focalizándose en las áreas de impacto directo de los módulos de cultivo durante el período de máxima actividad.

Tabla 7. Establecimiento de la Condición anaeróbica según Res. Ex. N°3.612/2009.

Instrumento de evaluación	Condición anaeróbica
CPS	Si se incumple los límites de aceptabilidad de cualquiera de las variables en a lo menos 30% de las estaciones
INFA	Si se incumple los límites de aceptabilidad de cualquiera de las variables en 3 de las 8 estaciones de muestreos
CPS/INFA	Oxígeno disuelto: se constatará si se incumple el límite de aceptabilidad ($>=2,5\text{mg/L}$) en a lo menos el 30% de los perfiles

Además, la Resolución Exenta (Subpesca) N° 1141/2022 autoriza el uso de mecanismos físicos para modificar las condiciones de oxígeno en el área de sedimentación de un centro de cultivo. Esta normativa también establece los requisitos y condiciones para su implementación, en cumplimiento con el Artículo 8 BIS del D.S. (Minecon) N° 320/2001. Esta reglamentación refleja la importancia de garantizar condiciones ambientales adecuadas en las áreas de influencia de los centros de cultivo, contribuyendo a la sostenibilidad de la actividad acuícola y a la preservación del equilibrio ecológico de los cuerpos de agua.

Tabla 8. Periodicidad de entrega de la INFA según tipo de cultivo. (*) Existen excepciones a esta definición, ver Res. Ex [Subpesca] N° 3612/2009.

Tipos centro de cultivo	Periodicidad realización INFA	Fecha de muestreo
Extensivos	Cada dos años (*)	Dentro de último año, hasta dos meses antes de su termino
Intensivo: que se alimenta exclusiva y permanentemente de macroalgas	Cada dos años	Dentro de último año, hasta dos meses antes de su termino
Intensivo: Engorda de peces	Por ciclo productivo	Dos meses antes de iniciarse la cosecha
Intensivo: Esmoltificación	Año calendario	Dos meses antes de último la cosecha
Intensivo: Reproductores de peces	Año calendario	En el último trimestre del año calendario

Dentro de los criterios generales de operación establecidos por el reglamento D.S. (Minecon) N°320/2001, se exige a todos los centros de cultivo cumplir con diversas obligaciones para garantizar la sostenibilidad ambiental y operativa. Estas incluyen mantener la limpieza en el área del centro de cultivo y zonas aledañas, gestionar correctamente el acopio, transporte y disposición final de los desechos generados, y mantener una distancia mínima entre las estructuras de cultivo y el fondo marino. Además, los centros deben contar con planes de acción ante contingencias (PAC) individuales y grupales (para las Agrupaciones de Concesiones de Salmones, ACS), con medidas específicas para casos de prealerta y alerta acuícola. También se prohíbe el uso de elementos de flotación que desprendan materiales, y se exige cumplir con especificaciones para la limpieza de las artes de cultivo. El reglamento establece la



obligatoriedad de elaborar instrumentos de evaluaci3n ambiental, como la Caracterizaci3n Preliminar de Sitio (CPS) y la Informaci3n Ambiental (INFA), definiendo criterios de an3lisis y medidas correctivas seg3n los resultados obtenidos (Subpesca, 2019). Asimismo, se estipulan distancias m3nimas entre centros de cultivo y requisitos espec3ficos, como el equipamiento necesario para tratar mortalidades en los centros de salmonicultura. Adem3s, se imponen restricciones para la ampliaci3n de producci3n en dichos centros.

En caso de mortalidades masivas de salmones y ante la imposibilidad de operar los sistemas de extracci3n, desnaturalizaci3n o almacenamiento de la mortalidad diaria, el plan de acci3n deber3 activarse conforme a las condiciones descritas en el art3culo 5c del D.S. (Minecon) N320/2001. La R.E. (Sernapesca) N32968/2019, modificada por la R.E. N3DN-00099/2020, regula no solo las mortalidades masivas, sino cualquier tipo de contingencia, definiendo los contenidos m3nimos de los planes de acci3n que cada Centro de Engorda de Salmones (CES) o agrupaci3n de CES debe implementar. Estos planes deben contemplar el tipo de contingencia, la especie en cultivo, las condiciones del ambiente acu3cola y las posibles consecuencias.

En la actualidad, el Estado ha implementado nuevos reglamentos y modificaciones a los existentes para fortalecer la protecci3n ambiental. En este contexto, la Subsecretar3a de Pesca y Acuicultura (Subpesca) emiti3 la Resoluci3n Exenta N33362/2021, que modifica la Resoluci3n Exenta N31821/2020, estableciendo metodolog3as y especificaciones t3cnicas para las estructuras de cultivo, seg3n lo dispuesto en el art3culo 43, letra e) del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA). Esta normativa exige verificar semestralmente el estado de los m3dulos de cultivo y realizar su mantenci3n cuando sea necesario para restablecer las condiciones de seguridad, debiendo llevar un registro detallado en cada centro. Adem3s, las condiciones de seguridad de los m3dulos y del fondeo de los centros de cultivo intensivo deben certificarse anualmente por un profesional o entidad calificada.

Por otro lado, de acuerdo con el art3culo 87 de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), las Agrupaciones de Concesiones Acu3colas (ACS) deben contar con tecnolog3as que registren y transmitan indicadores ambientales en tiempo real, como conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez. Esta disposici3n est3 regulada por el Decreto Supremo (Minecon) N301/2020, conocido como el "Reglamento de control en l3nea de par3metros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura", que subraya la importancia de contar con datos t3cnico-cient3ficos para monitorear los ecosistemas marinos. Sin embargo, a pesar de la emisi3n de la Resoluci3n Exenta (Subpesca) N33408/2021, que responde al mandato del art3culo 93 del reglamento mencionado, hasta la fecha solo se han instalado 15 estaciones de monitoreo que se encuentran entre las regiones de Los Lagos, Ays3n y Magallanes (Centro de datos: <https://chonos.ifop.cl/acs/start/>). La implementaci3n de estas estaciones adquiere gran relevancia, ya que el art3culo 123 del reglamento establece que, si los centros o agrupaciones no cumplen con las disposiciones, el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) no validar3 el movimiento de peces hacia los centros de cultivo hasta que se subsane la omisi3n. Para maximizar la utilidad de los datos generados por las estaciones de monitoreo, ser3 recomendable establecer l3mites de aceptabilidad para las variables medidas, integr3ndolos en una evaluaci3n ambiental que permita definir capacidades de carga o niveles de riesgo espec3ficos para cada ACS.

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) desempe3a un rol fundamental como garante del cumplimiento de la regulaci3n ambiental. Su responsabilidad incluye la ejecuci3n, organizaci3n y coordinaci3n del seguimiento y fiscalizaci3n de las Resoluciones de Calificaci3n Ambiental (RCA), los Planes de Prevenci3n y/o Descontaminaci3n Ambiental, las Normas de Calidad Ambiental, Normas de Emisi3n y Planes de Manejo, as3 como de otros instrumentos ambientales establecidos por la ley. Adem3s, es responsable de aplicar sanciones en casos de infracci3n, previa instrucci3n de un procedimiento administrativo sancionatorio. En agosto de 2015, se formaliz3 la Red Nacional de Fiscalizaci3n Ambiental



(RENFA) mediante la Resolución Exenta (SMA) N°673/2015, un convenio de colaboración en el que participan la SMA, el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) y la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Directemar). Dentro de este marco, la Resolución Exenta (SMA) N°1488/2022, que modifica la Resolución Exenta (SMA) N°2.662/2021, tiene como objetivo implementar un sistema de monitoreo en línea para los Centros de Engorda de Salmones (CES). Este sistema busca facilitar la detección temprana de desviaciones, irregularidades o impactos ambientales no previstos, promover la adopción oportuna de medidas correctivas y priorizar futuras fiscalizaciones y procedimientos administrativos.

Entre las obligaciones de los titulares de CES, se encuentra la transmisión en tiempo real de parámetros clave de la columna de agua: (i) oxígeno disuelto (mg OD/L), (ii) salinidad (psu) y (iii) temperatura (°C), según lo establecido en la Resolución Exenta (SMA) N°252/2020. Estos parámetros deben ser medidos inicialmente a profundidades de 5 y 10 metros. Además, la SMA tiene la facultad de exigir la transmisión de datos adicionales sobre otros parámetros relevantes o ampliar la medición a distintas profundidades o sectores del CES mediante actos administrativos posteriores. Todos los CES con una RCA vigente deben conectarse en línea con la SMA siguiendo los lineamientos técnicos de la Resolución Exenta (SMA) N°252/2020 o las normativas que la reemplacen. En el caso de CES ubicados en áreas protegidas oficiales (Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Áreas Marinas Costeras Protegidas de Múltiples Usos, entre otros), el Ordinario N°202299102502 (16 de junio de 2022) complementa el Ordinario N° 202199102624 (10 de agosto de 2021) e impone instrucciones específicas para la evaluación ambiental de estos proyectos acuícolas. Este análisis debe considerar la susceptibilidad de afectación de las áreas protegidas, teniendo en cuenta la extensión, magnitud y duración de las acciones del proyecto, así como los impactos previstos en los objetos de protección de dichas áreas.

Evaluación Ambiental en Centros de Fondo Duro.

Centros Categoría 4 (Fondos Duros y Semi-duros)

Los centros de cultivo clasificados como categoría 4, según lo establecido en la Resolución Exenta N°3.612/2009 (Título I, Párrafo II, literal E), se definen bajo los siguientes criterios:

- Centros de producción extensiva (excepto macroalgas), con producciones máximas anuales proyectadas superiores a 1.000 toneladas, siempre que se encuentren en sitios con sustrato duro o semiduro y profundidades iguales o inferiores a 60 metros.
- Centros de producción intensiva, con producciones máximas anuales proyectadas superiores a 50 toneladas, ubicados en sitios con sustrato duro o semiduro y profundidades iguales o inferiores a 60 metros.

La principal característica de los centros de categoría 4 es la naturaleza de su sustrato, el cual puede ser duro o semiduro. Este tipo de sustrato imposibilita la toma de muestras de sedimento para realizar análisis como:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| I. Macrofauna, | III. Granulometría, y |
| II. Materia orgánica, | IV. Potencial redox |

Dichas variables suelen proporcionar información clave sobre la condición ambiental del sedimento. En su lugar, la evaluación ambiental en estos centros se basa en registros visuales complementados con mediciones de oxígeno disuelto, los cuales son los dos parámetros fundamentales para determinar el estado ambiental de los centros de categoría 4 (**Tabla 9**).

Tabla 9. Parámetros a medir de acuerdo a la categoría del centro de cultivo (Res. Ex. N° 3.612/2009, Título III, Párrafo II).

Parámetros	Categorías						
	1	2	3	4	5	6	7
Batimetría	X	X	X	X	X	X	X
Granulometría		X	X			X	X
Materia Orgánica	X	X	X			X	X
Macrofauna		X	X			X	X
pH y potencia redox			X			X	X
Oxígeno disuelto	X		X	X	X	X	X
T°C y salinidad	X		X	X	X	X	X
Registro visual				X			

En el Título VI, numeral 24, se establece que el registro visual en la Información Ambiental (INFA) debe realizarse mediante filmaciones submarinas, ya sea a través de buceo o sistemas remotos. Estas filmaciones deben llevarse a cabo utilizando 8 transectos perpendiculares a los módulos seleccionados en cultivos intensivos (**Figura 6**) y 6 transectos en cultivos extensivos (moluscos y algas).

La grabación debe cumplir con los siguientes requisitos:

- I. Velocidad de arrastre adecuada: Permitir la observación detallada de los distintos componentes del megabentos.
- II. Grabación sin interrupciones: Desde la superficie antes de la inmersión hasta el retorno a la superficie.
- III. Duración mínima: Cada transecto debe incluir al menos 10 minutos de grabación continua del sustrato.
- IV. Entrega del material: Se debe entregar una copia sin edición de la grabación original.

Durante el análisis, el material debe ser evaluado visualmente siguiendo estos pasos:

- I. Identificación del tipo de sustrato: Determinar la composición y características del fondo.
- II. Determinación y cuantificación de megabentos: Identificar los componentes hasta el nivel taxonómico más bajo posible.
- III. Detección de burbujas de gas: Identificar cualquier emanación gaseosa proveniente del sustrato.
- IV. Observación de cubiertas de microorganismos: Registrar la presencia de biofilms u otras formaciones biológicas sobre el fondo.

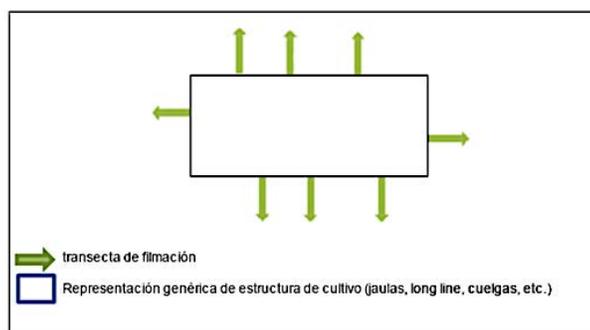


Figura 6. Ubicación de 8 transectos en el módulo de producción en donde se realiza la filmación submarina para las INFAS en centros de categoría 4 en cultivos intensivos.

Las mediciones de las variables de la columna de agua, establecidas en el T3tulo VI, numeral 29, incluyen par3metros como el ox3geno disuelto, las cuales se realizan utilizando equipos multiparam3tricos o CTDO. Estas mediciones abarcan desde la superficie hasta 1 metro por encima del fondo. En el caso de las balsas jaulas (cultivo de peces), cada estaci3n o punto de medici3n se ubica a una distancia m3xima de 5 metros desde la boya que delimita la red lobera. Para el muestreo, se establecen 8 estaciones, distribuidas uniformemente en los m3dulos de cultivo que presentan la m3xima biomasa acumulada durante el periodo evaluado. Los l3mites de aceptabilidad establecidos en el T3tulo VI, numeral 34, para los centros de categor3a 4, se especifican en la **Tabla 10**. Estos incluyen un valor m3nimo de 2,5 mg/L para el ox3geno disuelto y, para el registro visual, la condici3n de “ausencia de cubiertas de microorganismos visibles y/o burbujas de gas”. El incumplimiento de cualquiera de estos l3mites de aceptabilidad implica que el centro de cultivo se clasifique como en condici3n anaer3bica, lo que restringe su operaci3n hasta que se demuestre la recuperaci3n de las condiciones ambientales aceptables.

Tabla 10. L3mites de aceptabilidad para centros de categor3a 4 (INFA).

Variable	L3mite aceptabilidad
Ox3geno disuelto (1 m fondo)	$\geq 2,5$ mg/L
Registro visual	N3 de transectas igual o menor a 2, con presencia de cubierta de microorganismos visibles y/o burbujas de gas.

En ambientes con excedente de materia org3nica, como ocurre en los centros de cultivo acu3colas, los sedimentos tienden a volverse reducidos debido a la acumulaci3n de fecas y alimento no consumido. Esta condici3n favorece la proliferaci3n de microorganismos que prosperan en ambientes an3xicos. En los registros visuales asociados a estos centros, se han observado mantos blanquecinos filamentosos que se consideran indicativos de la presencia de megabacterias sulfuro-oxidantes. Estas bacterias, t3picas de fondos reducidos y ricos en sulfuro, oxidan el sulfuro de hidr3geno y forman gl3bulos intracelulares de azufre elemental, lo que les otorga un caracter3stico color blanquecino (Gallardo et al., 2013).

La contaminaci3n antropog3nica y la eutrofizaci3n generada por piscifactor3as (Aranda et al., 2010) favorecen el desarrollo de estos mantos bacterianos, reemplazando ecosistemas como praderas de algas por sedimentos con alto contenido de sulfuro y enjambres bacterianos. Debido a esto, el registro visual de mantos blanquecinos bacterianos ha sido incorporado en la normativa ambiental como un indicador de la condici3n ambiental en la salmonicultura. Sin embargo, la falta de identificaci3n espec3fica de las especies presentes en estos h3bitats plantea interrogantes sobre la validez de su uso como indicador exclusivo de condiciones an3xicas. Esto genera dudas respecto a si los registros visuales son pruebas concluyentes para caracterizar el estado ambiental de un centro de cultivo, ya que de su interpretaci3n depende la operatividad futura de estas instalaciones. Esta situaci3n adquiere mayor relevancia considerando que aproximadamente un 30% de los centros categorizados como anaer3bicos han sido declarados bajo el criterio de presencia/ausencia de mantos bacterianos evaluados mediante filmaciones. Esto sugiere la necesidad de un an3lisis m3s exhaustivo y de la incorporaci3n de indicadores complementarios para garantizar decisiones m3s precisas y representativas del estado ambiental de los centros de cultivo.

Con el prop3sito de mejorar las metodolog3as utilizadas para evaluar la condici3n ambiental de centros con fondo duro, en 2013 la Subsecretar3a de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) licit3 el proyecto denominado “Revisi3n de las metodolog3as de definici3n de anaerobia en fondos duros (filmaci3n), verificaci3n en terreno”, ejecutado por POCH Ambiental S.A. El principal objetivo de este proyecto fue revisar las metodolog3as establecidas por normativa para determinar la condici3n ambiental de sectores



de fondo duro, identificar mejoras necesarias para optimizar las actividades de terreno actuales y proponer una nueva metodología de muestreo que permita evaluar de manera más precisa la condición ambiental en estos sectores.

Uno de los hallazgos más relevantes del proyecto indicó que la determinación de la condición ambiental mediante imágenes submarinas de los mantos blanquecinos observados en el sedimento presenta limitaciones en su exactitud. En este sentido, se enfatizó la necesidad de complementar las observaciones visuales con análisis microscópicos que confirmen la asociación de estas formaciones con bacterias características de condiciones anóxicas. Este enfoque busca mejorar la precisión en la evaluación de la condición ambiental, garantizando que la presencia de mantos blanquecinos sea efectivamente indicativa de ambientes anaeróbicos (Subpesca, 2017).

De manera complementaria, en junio de 2015 el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), junto con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), organizó una reunión de expertos nacionales e internacionales titulada “Expert workshop on sulfide-oxidizing bacteria”. En este evento participaron destacados especialistas, como el Dr. Andreas Teske (Associate Professor, Department of Marine Science, University of North Carolina at Chapel Hill, USA), la Dra. Verena Carvalho-Salman (Postdoctoral Researcher, Department of Microbiology, Cornell University, USA) y el Dr. Victor Ariel Gallardo (Profesor Titular, Departamento de Oceanografía e Investigador Asociado, Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción). Durante la reunión, se analizaron seis videos proporcionados por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), los cuales mostraban fondos duros cubiertos por mantos blanquecinos. Los expertos coincidieron en que, en algunas de las imágenes, la presencia de una cubierta filamentosa similar al algodón, acompañada de moluscos bivalvos y otros organismos, indicaba con alta probabilidad la presencia de bacterias sulfuro-oxidantes del género *Arcobacter*. Estas bacterias se caracterizan por producir filamentos de azufre extracelular y desarrollarse en la interfase óxica-anóxica, requiriendo tanto sulfuro como oxígeno para su metabolismo (Sievert et al., 2007; Wirsén et al., 2002). No obstante, los expertos enfatizaron la necesidad de realizar muestreos directos para identificar con precisión los organismos presentes. Resaltaron que el análisis del gen 16S rRNA mediante PCR es una técnica confiable para la identificación taxonómica de estas bacterias (Salman et al., 2013, 2011; Teske and Salman, 2014). Además, señalaron que, además del género *Arcobacter*, es posible encontrar otros cuatro grupos de megabacterias en estos entornos: *Candidatus Marithrix*, género *Thiomargarita*, género *Beggiatoa* y *Candidatus Marithioploca* (**Figura 7**). Cada uno de estos grupos presenta diferentes requerimientos de sulfuro y oxígeno, lo que subraya la importancia de su correcta identificación para una evaluación ambiental precisa de los centros de cultivo en condiciones hipóxicas o anóxicas (Teske, comunicación personal). La adecuada identificación de estos organismos resulta fundamental para clasificar correctamente el estado ambiental de los fondos marinos asociados a los centros de cultivo, permitiendo una mejor gestión de las condiciones hipóxicas o anóxicas. Esto, a su vez, contribuye a la toma de decisiones informadas en la regulación y operación de la salmonicultura.

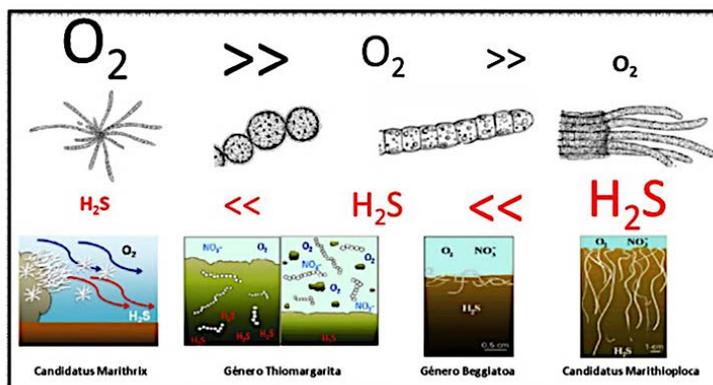


Figura 7. Esquema que muestra el comportamiento de 4 grupos de bacterias frente a los gradientes de oxígeno y sulfuro.

El estudio de la composición y actividad funcional de las comunidades de microorganismos es esencial para comprender el estado y la dinámica de los ecosistemas. Sin embargo, la identificación bacteriana presenta desafíos debido a la complejidad de los análisis morfológicos y al riesgo de errores taxonómicos entre especies similares. Durante el taller con expertos internacionales realizado hace algunos años, se propuso tomar muestras de fondos marinos y realizar la identificación de bacterias mediante análisis microscópicos preliminares y marcadores moleculares, específicamente el gen 16S rRNA. Desde entonces, los avances tecnológicos han revolucionado este campo. Actualmente, uno de los enfoques más avanzados para la identificación de comunidades bacterianas es el análisis de secuencias de ADN extraídas de muestras ambientales, conocido como ADN ambiental (eDNA). Este término se refiere al ADN que se recupera directamente de muestras de suelo, agua o aire, sin necesidad de que el organismo esté físicamente presente. Esta técnica versátil se utiliza en estudios de conservación, taxonomía y reconstrucción filogenética (Chaudhary et al., 2018).

Entre las metodologías más destacadas para trabajar con eDNA se encuentra el metabarcoding, que utiliza la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para amplificar fragmentos específicos de ADN y, posteriormente, secuenciarlos para generar códigos de barras genéticos. También se han desarrollado técnicas de análisis metagenómico, que no requieren amplificación mediante PCR, permitiendo estudiar directamente los ácidos nucleicos presentes en las muestras. Este enfoque reduce los sesgos asociados a la amplificación y proporciona una visión más integral de las comunidades microbianas (Padilla-García et al., 2021) (**Figura 8**). Estas tecnologías representan un avance significativo, permitiendo una identificación más precisa y eficiente de las comunidades microbianas en ambientes marinos.



Figura 8. Diagrama de flujo del procedimiento general para la obtención y análisis del eDNA. *Paso que puede o no ser omitido, dependiendo del tipo de análisis a realizar (Metabarcoding o metagenómica).

La comparación de las secuencias del ARNr 16S, o de los genes que lo codifican, ha permitido establecer relaciones filogenéticas entre organismos procariontes, marcando un hito en la taxonomía bacteriana. Este enfoque ha dado lugar al sistema de clasificación bacteriana actual, proporcionando una herramienta efectiva para la identificación rápida y precisa de bacterias. En el caso de bacterias sulfuro-oxidantes, diversos estudios han empleado análisis filogenéticos basados en secuencias de ARNr 16S, como los trabajos realizados por Salman et al. (2011) y Teske y Salman (2014) (**Figura 9**).

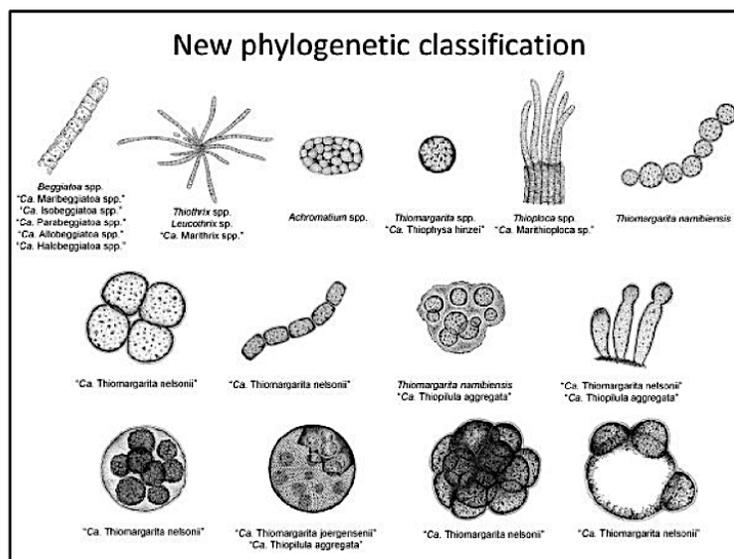


Figura 9. Clasificación filogenética de algunas bacterias gigantes oxidantes del sulfuro usando biología molecular. Presentado por Dra. Verena Carvalho- Salman en taller organizado por IFOP denominado “*Expert workshop on sulfide-oxidizing bacteria*”.

En Chile, se han desarrollado investigaciones relevantes en esta línea. Por ejemplo, en 2020, Miranda et al. llevaron a cabo un estudio sobre taxonomía y diversidad de comunidades bacterianas asociadas a sedimentos marinos de centros de salmonicultura. Actualmente, el Proyecto FIPA 2023-15, titulado “Uso de tecnología de detección de material genético (ADN) de microorganismos visibles o mantos blanquecinos en fondos acuáticos Categoría 4”, está siendo ejecutado por la Universidad de Los Lagos. Este proyecto tiene como objetivo principal evaluar la presencia de microorganismos formadores de mantos blanquecinos en centros categoría 4 asociados a cultivos intensivos de salmónidos, mediante tecnologías de detección de material genético (ADN).

Los objetivos específicos del proyecto incluyen: (1) Desarrollar y proponer metodologías basadas en tecnología de detección de material genético (ADN) para identificar microorganismos visibles (mantos blanquecinos) que se utilizan como indicadores de enriquecimiento orgánico en sedimentos. (2) Evaluar la eficacia de las metodologías propuestas mediante mediciones o muestreos en centros de cultivo categoría 4. (3) Establecer índices o límites para la detección de microorganismos asociados al enriquecimiento orgánico en sedimentos. (4) Realizar un análisis comparativo entre la metodología actual (filmaciones) y las nuevas propuestas, considerando tanto los resultados obtenidos como la valorización económica. Este enfoque busca modernizar y mejorar las herramientas utilizadas para la evaluación ambiental en los centros de cultivo categoría 4, integrando tecnologías moleculares que puedan ofrecer mayor precisión y consistencia frente a los métodos visuales tradicionales.

4.1.2. Técnicas y métodos de evaluación ambiental del fondo marino

Antecedentes enriquecimiento orgánico en relación con la acuicultura

El impacto de la deposición de materia orgánica en el fondo marino como resultado de actividades acuícolas ha sido ampliamente estudiado. Las conclusiones principales indican que, cuando un sistema excede su capacidad natural para mitigar el exceso de materia orgánica, ya sea a través de procesos físicos de dispersión o de degradación aeróbica, se genera un impacto negativo en las comunidades bentónicas, independientemente del medio donde se realice la actividad. La acumulación de materia orgánica favorece inicialmente procesos aeróbicos que consumen el oxígeno disponible en el medio. Una vez que el oxígeno es agotado, se pasa a procesos anaeróbicos que generan subproductos tóxicos, como sulfuros, afectando negativamente a las comunidades bentónicas, disminuyendo su biodiversidad y riqueza hasta que el ecosistema queda degradado. Este gradiente de enriquecimiento orgánico fue descrito inicialmente por Pearson y Rosenberg (1977) y validado posteriormente por múltiples estudios (Nilsson et al., 1991; Diaz y Rosenberg, 1995; Nilsson y Rosenberg, 2000; Gray et al., 2002; Diaz et al., 2004). Además, estas conclusiones han sido corroboradas en el contexto de granjas acuícolas tanto de peces como de bivalvos (Hargrave et al., 2008; Keeley et al., 2012; Cranford et al., 2020).

En la salmonicultura, los desechos orgánicos particulados provienen principalmente del excedente de alimentos (1-5% del alimento utilizado) y de las heces de los peces (12,5% del alimento utilizado) (Brooks y Mahnken, 2003). Por otro lado, los desechos disueltos consisten principalmente en nitrógeno, fósforo y carbono (Wang et al., 2012). En cultivos de moluscos, la carga de materia orgánica resulta del equilibrio entre el consumo, la dispersión y la descarga de material particulado en forma de heces y pseudoheces. Factores como la densidad del cultivo, las tasas de alimentación, la cantidad de alimento disponible en el medio, los regímenes hidrodinámicos, la profundidad del área de cultivo y la capacidad intrínseca del sitio para asimilar desechos afectan este equilibrio (Chamberlain and Stucchi, 2007). Además, la mortalidad de organismos y la caída de ejemplares desde las cuelgas al fondo añaden una carga bentónica adicional. La magnitud del impacto ambiental de estos cultivos depende en gran medida de las características del sitio. En algunos casos, los efectos pueden ser positivos, como el aumento en la disponibilidad de alimento y hábitat para otros organismos. Sin embargo, en otros, los efectos pueden ser negativos, resultando en el deterioro de las condiciones geoquímicas del sedimento y el empobrecimiento de las comunidades bentónicas. Esto resalta la necesidad de evaluar cada sitio de cultivo de manera individual y de implementar prácticas de manejo sostenible que minimicen los impactos negativos en los ecosistemas marinos.

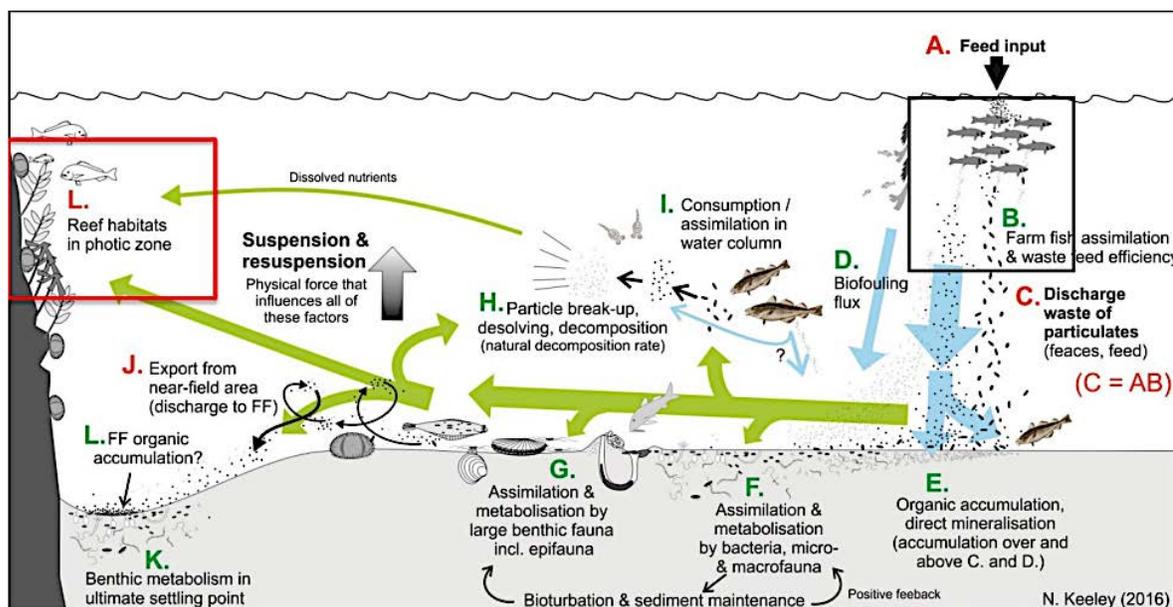


Figura 10. Efecto del input de comida que sedimenta en el fondo marino sobre la fauna. Fuente: Keeley, 2016.

Los efectos de la carga de materia orgánica derivada de la acuicultura no solo alteran la química del sedimento marino, sino que también generan impactos significativos en la macrofauna bentónica (**Figura 10**). Por ejemplo, en fondos mixtos y duros, se han observado cambios en la dieta de macroinvertebrados epibentónicos debido a los desechos provenientes de las balsas jaulas (White et al., 2017; Woodcock et al., 2017 y 2018). En erizos, se han reportado alteraciones en su distribución, abundancia y estructura poblacional, las cuales podrían estar relacionadas con un cambio en la composición de su dieta, lo que afecta negativamente su capacidad reproductiva, longevidad y la supervivencia de sus crías (White et al., 2016, 2018). Un efecto similar ha sido documentado en peces silvestres (Fernández-Jover et al., 2007, 2011; Dempster et al., 2011) y peces cartilaginosos (Gaitán-Espitia et al., 2017; Moreno, 2018), los cuales han incorporado desechos particulados como una fuente adicional de dieta. Este comportamiento también ha sido reportado en otras investigaciones (Fernández-Jover et al., 2007 y 2011; Dempster et al., 2011, 2013; Jansen et al., 2016, 2018). Además, la deposición orgánica ha mostrado tener efectos en las estructuras de las comunidades de algas en arrecifes ubicados a menos de 100 metros de las piscifactorías (Oh et al., 2015).

La eutrofización de la columna de agua es otro efecto relevante asociado a la actividad acuícola. Este fenómeno puede provocar la proliferación de microalgas (Liu et al., 2010; Ménesguen et al., 2010; Bužančić et al., 2016), deteriorando la calidad del agua al aumentar la turbidez (Nobre, 2009) e incluso promoviendo el desarrollo de microalgas tóxicas, conocidas como floraciones algales nocivas (FAN) (Hallegraeff, 1993; Anderson et al., 2008; Heisler et al., 2008; Anderson, 2014). Estudios realizados en regiones como Chile, Escocia, el Mediterráneo y Noruega han demostrado que el riesgo de eutrofización en áreas de emplazamiento de centros de cultivo es bajo cuando existe un alto recambio de agua (Gowen y Ezzi, 1992; Soto y Norambuena, 2004; Pitta et al., 2006; Husa et al., 2014). En estos casos, los aumentos de nutrientes se detectan a distancias cortas (<100 m) de las jaulas (Tsagaraki et al., 2013) y los efectos tienden a revertirse rápidamente durante los períodos de barbecho. Por este motivo, el foco de atención ha recaído en el estado del fondo bentónico, que parece ser más sensible a los impactos acumulativos (Brooks et al., 2004; Macleod et al., 2007; Zhulay et al., 2015; Keeley et al., 2019).

Procesos anaer3bicos en el sedimento.

La acumulaci3n de materia org3nica promueve inicialmente procesos de descomposici3n aer3bica, pero cuando esta se produce en exceso, conduce al agotamiento del ox3geno en el medio. Seg3n los modelos propuestos por Pearson y Rosenberg (1978), un enriquecimiento org3nico moderado puede favorecer la colonizaci3n de taxones tolerantes, ya que incrementa la disponibilidad de alimento en el ambiente. No obstante, estos mismos modelos indican que, a medida que los niveles de ox3geno disminuyen, pasando de condiciones hip3xicas a an3xicas, tanto la abundancia como la biodiversidad de las comunidades bent3nicas se reducen dr3sticamente, ya que el ox3geno necesario para los procesos respiratorios de los organismos se vuelve insuficiente, afectando su supervivencia y funcionalidad.

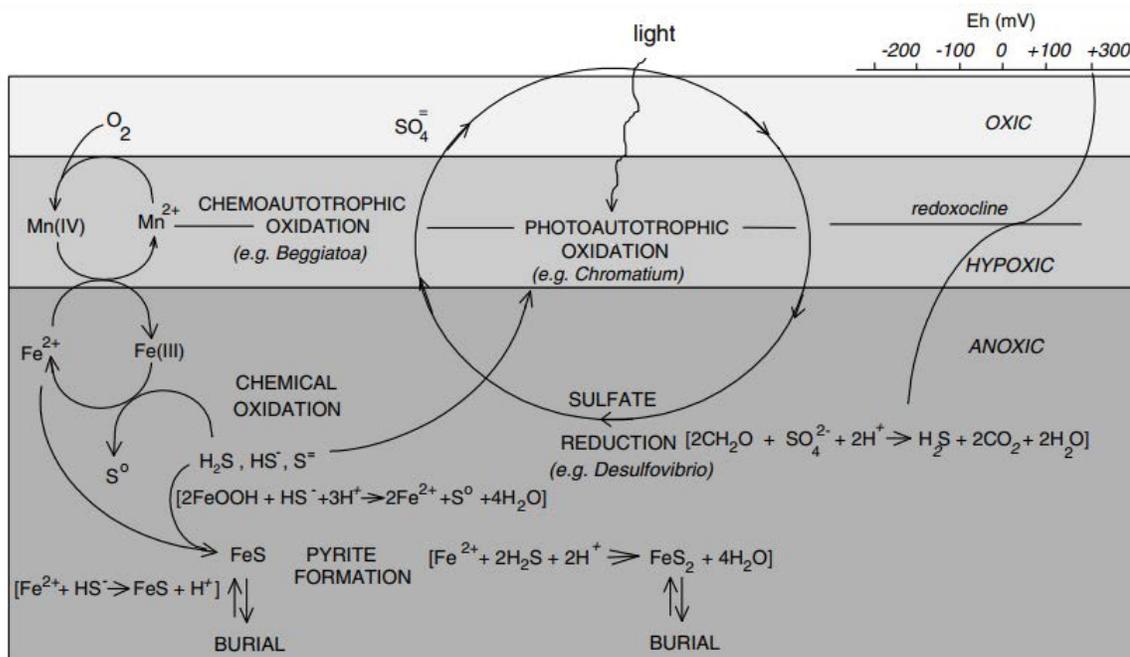


Figura 11. Esquema del enriquecimiento org3nico, mostrando la curva redox, las fases de desoxigenaci3n y reducci3n de sulfatos. Fuente: Hargrave et al., 2008.

En ausencia de ox3geno, se activan una serie de procesos de respiraci3n anaer3bica bien documentados, siendo el m3s relevante en sistemas marinos la reducci3n de sulfatos a sulfuro (Fenchel, 1969; J3rgensen, 1977, 1982; Fenchel y Blackburn, 1979; Chanton et al., 1987; Thode-Andersen y J3rgensen, 1989; Heilskov y Holmer, 2001; Gray et al., 2002; Holmer et al., 2005; Otero et al., 2006; Preisler et al., 2007). Durante este proceso, los sedimentos son utilizados por bacterias reductoras de sulfato, y los sulfuros generados pueden ser eliminados a trav3s de procesos qu3micos oxidativos (Berner, 1971; J3rgensen, 1982; Canfield, 1989; Casa, 2003; Holmer et al., 2005; Preisler et al., 2007). Parte de los sulfuros producidos reacciona con iones met3licos, transform3ndose en compuestos inocuos como FeS y FeS₂ (Howarth, 1979; Aller, 1980; Berner, 1971, 1984; Howarth y J3rgensen, 1984). Sin embargo, otra fracci3n, conocida como sulfuros totales libres (H₂S, HS⁻ y S²⁻), se acumula en las capas sedimentarias en condiciones an3xicas (Thode-Andersen y J3rgensen, 1989; Holmer y Kristensen, 1992, 1996). Estos compuestos son altamente t3xicos para las comunidades bent3nicas. Cuando el sulfato disponible se agota, el sistema da paso a la metanog3nesis como proceso predominante (Grieshaber y V3lkel, 1998;

Gray et al., 2002), indicando una fase avanzada de degradaci3n anaer3bica y una condici3n cr3tica en el ecosistema bent3nico.

Cobertura del espacio impactado, zona de granja (FZ) y zona de efecto permitido (AZE).

Los estudios sobre la dispersi3n e impacto del enriquecimiento org3nico en torno a los cultivos acu3colas presentan resultados diversos. Giles (2008) describi3 que el enriquecimiento org3nico disminuye gradualmente con la distancia y estim3 un radio de impacto de 40 a 70 metros alrededor de los cultivos. Por su parte, Mayor y Solan (2011), en investigaciones realizadas en piscifactor3as de Escocia, observaron un radio de impacto m3s reducido, entre 25 y 50 metros. En contraste, Keeley et al. (2013) reportaron un impacto de enriquecimiento moderado en un rango mayor, entre 80 y 150 metros, en cultivos acu3colas de Nueva Zelanda. Estas diferencias reflejan la variabilidad de los impactos seg3n las caracter3sticas locales de los sitios de cultivo, como la hidrodin3mica, la profundidad y las pr3cticas de manejo.

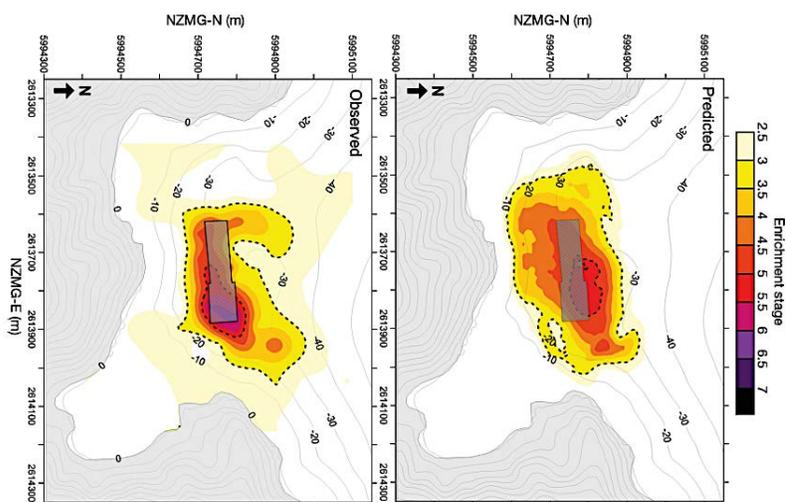


Figura 12. Huellas ambientales bent3nicas previstas (arriba) y observadas (abajo) debajo de la Granja E de alto caudal (Recuadro gris: posici3n de los corrales de red y las l3neas discontinuas negras: l3mites de ES3 y ES5). Fuente Keeley et al 2013.

Lo descrito anteriormente se debe a que la capacidad de dispersi3n y procesamiento de la materia org3nica var3a significativamente entre sitios, dependiendo tanto de las condiciones del fondo marino como de la din3mica de las corrientes (Kalantzi y Karakassis, 2006; Borja et al., 2009). Por ejemplo, se ha observado que los sedimentos arenosos permiten una mayor penetraci3n de ox3geno en comparaci3n con los sedimentos de grano fino y ricos en materia org3nica, como los barros, los cuales tienden a desoxigenarse con mayor facilidad (Andersen y Hilder, 1987). La dispersi3n es un factor clave que influye en la capacidad de un sitio para mitigar los efectos del enriquecimiento org3nico. Los lugares con bajo recambio de agua presentan un mayor riesgo de acumulaci3n de materia org3nica y, por ende, son m3s propensos a sufrir impactos ambientales. Las corrientes no solo determinan la dispersi3n del material particulado, sino que tambi3n afectan la forma en que los desechos se acumulan en el fondo. En condiciones de corrientes uniformes, los desechos pueden formar un halo alrededor del centro de cultivo, mientras que en corrientes m3s direccionadas pueden generar una "sombra" hacia la direcci3n predominante del flujo. Esta din3mica

es crucial para definir estrategias de muestreo fuera de los márgenes de las balsas jaulas (Yang et al., 2008).

Además, los centros de cultivo no descargan materia orgánica de manera uniforme durante todo el ciclo productivo. Las fases de mayor impacto incluyen los períodos de máxima alimentación, mayor biomasa, cosecha y las temporadas de mayor temperatura del agua, cuando los procesos de degradación de los desechos son más intensos. Por ello, el momento en que se mide el impacto de una balsa jaula es determinante para obtener resultados representativos (Chamberlain y Stucchi, 2007). Dado que el impacto de un centro de cultivo no se limita al área directamente bajo las jaulas, sino que se extiende a una huella de sedimentación variable según el sitio, es fundamental evaluar las condiciones del sedimento más allá de los márgenes inmediatos del centro. Diferenciar entre la Zona de Impacto (FZ, por sus siglas en inglés) y la Zona de Efecto Permitido (AZE) es esencial para delimitar el alcance del impacto fuera del margen del cultivo y establecer límites de aceptabilidad específicos para cada área (Holmer et al., 2008). Actualmente, se utilizan modelos de dispersión de partículas para predecir el alcance de los impactos más allá de los márgenes de los centros de cultivo. Sin embargo, aunque estos modelos son herramientas útiles, es importante considerar que los umbrales de deposición que definen un impacto adverso significativo son variables y específicos de cada sitio. Por lo tanto, no es suficiente basarse únicamente en las tasas de deposición para predecir los efectos ambientales, ya que se requiere una evaluación integral de las condiciones locales (Giles, 2008; Keeley et al., 2013; Bravo y Grant, 2018).

Indicadores claves para la evaluación ambiental.

Debido a los problemas ambientales asociados al cultivo acuícola mencionados anteriormente, la evaluación ambiental de los fondos marinos donde se desarrollan estas actividades es fundamental para garantizar que el impacto derivado de la acuicultura sea el menor posible. Por esta razón, los principales países productores de salmónes y mitílicos han implementado legislaciones ambientales que regulan el monitoreo de estas actividades, estableciendo evaluaciones ambientales para determinar el estado de los sectores donde se lleva a cabo la acuicultura. Estas legislaciones definen límites claros para el impacto que la actividad puede generar. La literatura científica sobre los parámetros que deben evaluarse para determinar el nivel de impacto de una zona es extensa. Además, factores del entorno, como la dinámica de corrientes y la morfología del sector, pueden influir significativamente en la susceptibilidad de un área para acumular materia orgánica. Los índices utilizados en estas evaluaciones pueden dividirse principalmente en dos categorías: químicos y biológicos. Los índices químicos evalúan el estado del sedimento, mientras que los índices biológicos se centran en las comunidades bentónicas y su respuesta al impacto. Para evaluar la susceptibilidad de un área, se emplean parámetros físicos, como la intensidad de las corrientes y la profundidad del sector, los cuales son determinantes para comprender la capacidad de dispersión y la acumulación de materia orgánica.

Indicadores abióticos de evaluación ambiental.

Las variables geoquímicas representan una consecuencia directa de los procesos biológicos generados por la degradación de la materia orgánica, y, a su vez, son responsables de causar impactos en las comunidades bentónicas. Estas comunidades se ven afectadas por las condiciones hipóxicas y sulfurosas del sedimento, lo que resulta en una pérdida significativa de biodiversidad y alteraciones en la estructura del ecosistema. Por este motivo, se han considerado indicadores clave como el oxígeno disuelto (OD) y los sulfuros totales libres (S_2) para evaluar el impacto ambiental asociado al enriquecimiento orgánico en la acuicultura. Estos indicadores permiten determinar el grado de deterioro ambiental en el sedimento y la

columna de agua, proporcionando una base para implementar medidas de mitigación y garantizar la sostenibilidad de las actividades acuícolas (Hargrave et al., 2008; Cranford et al., 2017).

El uso de estos parámetros es fundamental para caracterizar el estado ambiental de los fondos marinos afectados por actividades acuícolas, permitiendo identificar áreas críticas donde se deben aplicar estrategias de manejo adaptativo o restauración ecológica.

- **Sulfuros Libres.**

La reducción de sulfuros, como se mencionó anteriormente, es uno de los procesos principales en los sedimentos bajos en oxígeno. Existe una buena correlación entre los sulfuros libres y múltiples índices bióticos, lo que los convierte en un indicador abiótico altamente confiable para la evaluación ambiental de centros de cultivo. Este enfoque ha sido validado en diversos rangos biogeográficos y en actividades acuícolas tanto de peces como de bivalvos (Cranford et al., 2020). No obstante, la metodología estándar para la medición de sulfuros libres (S^{2-}) ha generado ciertas preocupaciones en la literatura científica debido a problemas asociados con los protocolos empleados (p. ej., Brown et al., 2011; Cranford et al., 2017). El protocolo más ampliamente utilizado es el de electrodo selectivo de iones (ISE), que consiste en mezclar la muestra de sedimento con un tampón alcalino para desplazar el equilibrio de los estados oxidativos del azufre hacia S^{2-} . Esta técnica mide los sulfuros mediante un electrodo combinado de plata/sulfuro (Wildish et al., 2001). Si bien este método se ha seleccionado por su bajo costo y aplicabilidad en terreno, presenta limitaciones significativas que afectan su confiabilidad.

Limitaciones del Método de Electrodo Selectivo de Iones (ISE).

- I. Baja robustez analítica: Pequeñas variaciones en los protocolos del operador pueden generar diferencias significativas en los resultados. Esto ocurre debido a la necesidad de preparar reactivos y manipular intensamente las muestras antes de la medición (Brooks y Mahnken, 2003).
- II. Sobrestimación por formas minerales de sulfuro: El tampón altamente alcalino (pH 12) utilizado en este método puede solubilizar formas minerales de sulfuro que no son tóxicas, provocando una sobrestimación de los sulfuros totales (Brown et al., 2011). Este sesgo ha sido corroborado por Cranford et al. (2017), quien también señaló problemas de subestimación en ciertos casos.
- III. Volatilización del S^{2-} : En muestras con bajas concentraciones de sulfuros libres, estos pueden volatilizarse fácilmente al entrar en contacto con el oxígeno ambiental, lo que genera pérdidas durante la manipulación previa al análisis.

Método Alternativo: Espectrofotometría UV Directa

Una metodología alternativa que ha demostrado resultados consistentes y confiables es la espectrofotometría UV directa, descrita por Cranford et al. (2017). Este método presenta varias ventajas respecto al ISE:

- I. No requiere preparación de reactivos ni manipulación intensiva de las muestras.
- II. Se realiza en condiciones de pH moderado (8-9), lo que minimiza la solubilización de formas minerales de sulfuro y reduce el sesgo en los resultados.
- III. Es aplicable a una amplia gama de tipos de fondo (limo, arena, grava y sedimentos de grano mixto) y especies cultivadas (salmónidos y bivalvos).
- IV. Ha sido validada internacionalmente y se considera económica y de fácil manejo.

Además, el Aquaculture Stewardship Council (ASC) ha adoptado esta metodología como un requisito para las certificaciones de salmicultura sostenible, asegurando su alineación con los estándares de

protección ambiental, conservación de la biodiversidad y manejo responsable de recursos hídricos (ASC, 2022). En resumen, el método de espectrofotometría UV directa se perfila como una herramienta más precisa y robusta para la medición de sulfuros libres en el contexto de la evaluación ambiental de centros acuícolas, superando las limitaciones asociadas al uso de electrodos selectivos de iones.



Figura 13. Método de extracción de agua intersticial de los cores en el monitoreo ambiental para sulfuros.

- **Potencial Redox (Eh).**

El potencial redox (Eh) es un indicador clave que permite evaluar la profundidad de penetración del oxígeno en la superficie de los sedimentos (Fenchel, 1969; Fenchel y Riedl, 1970). Este parámetro mide los procesos de oxidación y reducción, los cuales están controlados por el equilibrio entre la penetración y el consumo de oxígeno en los sedimentos (Revesbech et al., 1980; Reimers, 1987; Cai y Sayles, 1996; Preisler et al., 2007). El Eh proporciona información crucial sobre los procesos microbianos dominantes en los sedimentos, los cuales son responsables de la mineralización de la materia orgánica residual. La medición del Eh se realiza mediante un potencial corregido del electrodo de hidrógeno normal. Esto implica que los milivoltios (mV) registrados con un electrodo de platino (Pt) se normalizan para el electrolito en el electrodo de referencia. Este procedimiento permite identificar la presencia o ausencia de oxígeno en el sedimento analizado (Jørgensen, 1977; Berner, 1981; Canfield et al., 1993). La importancia del Eh radica en su capacidad para reflejar las condiciones oxidativas o reductoras de los sedimentos, las cuales están directamente relacionadas con la calidad ambiental de los fondos marinos y el nivel de enriquecimiento orgánico. Valores positivos de Eh generalmente indican condiciones oxigenadas, mientras que valores negativos reflejan condiciones anóxicas, caracterizadas por la dominancia de procesos de reducción, como la reducción de sulfatos a sulfuros. Este parámetro es, por tanto, una herramienta fundamental en el monitoreo ambiental de los sedimentos en zonas de cultivo acuícola.

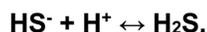
- **pH**

El pH es una variable ampliamente utilizada en programas de monitoreo de la acuicultura debido a su relación con el potencial redox (Eh), lo que permite evaluar y clasificar la magnitud de los impactos ambientales en los centros de cultivo (Hansen et al., 2001; Schaaning y Hansen, 2005). Estudios realizados en centros de cultivo han identificado diferencias significativas en los valores de pH entre áreas con presencia de burbujas de gas y áreas sin ellas. Se concluyó que un pH inferior a **7,1** está asociado con un mayor riesgo de generación de gases tóxicos (Schaaning y Hansen, 2005). Según estos autores, los principales procesos de biodegradación en condiciones anóxicas impulsados por el enriquecimiento orgánico son:

1. Reducci3n de sulfatos:



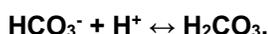
- Durante este proceso, cada mol de H^+ generado es neutralizado por la producci3n de un mol de HS^- . Este equilibrio est1 amortiguado por la reacci3n:



2. Metanog3nesis:



- En este caso, las bacterias productoras de metano pueden protonar los iones bisulfuro (HS^-), lo que reduce el pH. El sistema se estabiliza mediante la reacci3n:



En la primera disociaci3n del 1cido carb3nico, a 10 °C y salinidades de 34, las bacterias productoras de metano pueden protonar los iones bisulfuro (HS^-), lo que puede llevar al pH a niveles de aproximadamente 6,0. En este punto, el sistema se estabiliza debido a la formaci3n de H_2CO_3 .

Indicador de procesos an3xicos: Schaanning y Hansen (2005) propusieron que una disminuci3n del pH por debajo de 7,1 es un indicador claro de procesos an3xicos relacionados con la metanog3nesis. Estas condiciones generan **gasificaci3n t3xica**, como la liberaci3n de H_2S , que agrava a3n m1s el impacto ambiental del 1rea. En este contexto, el monitoreo del pH, junto con otras variables geoqu3micas, se presenta como una herramienta esencial para la evaluaci3n de las condiciones ambientales en los fondos asociados a los centros de acuicultura.

- **Etapas del Enriquecimiento (ES).**

Las etapas de enriquecimiento (ES) constituyen un sistema de clasificaci3n que describe la progresi3n del impacto ambiental en los sedimentos (**Figura 14**), desde condiciones no afectadas ($ES = 1$) hasta altamente impactadas ($ES = 7$). Este sistema es utilizado por diversas entidades, como Nueva Zelanda, como un par1metro clave en la evaluaci3n ambiental. Los grupos ES corresponden a los eco-grupos descritos por Borja et al. (2000), mientras que los descriptores cualitativos de cada categor1a fueron definidos por Keeley et al. (2012b) e ilustrados en Keeley (2013). Este sistema establece una relaci3n entre la oxigenaci3n del sedimento, la concentraci3n de materia org1nica, los niveles de sulfuros, el potencial redox (Eh), la riqueza y abundancia de especies, as1 como el 1ndice de diversidad de Shannon, permitiendo la caracterizaci3n del estado ambiental de los sedimentos en entornos acu3colas.

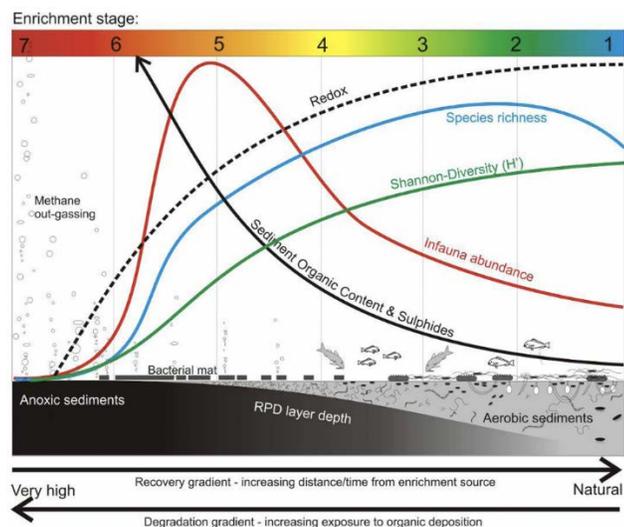


Figura 14. Estados de enriquecimiento orgánico con parámetros químicos y biológicos que definen la calidad del medio (Keeley, 2013).

Parámetros Bi3ticos de Evaluaci3n Ambiental.

Las comunidades de macrofauna han sido ampliamente utilizadas como indicadores de la salud ambiental de los sedimentos debido a su r3pida respuesta a factores de estr3s, ya sean de origen natural o antropog3nico. Su utilidad como indicador radica en varias caracter3sticas: son organismos relativamente sedentarios, incapaces de escapar del deterioro de la calidad de los sedimentos, poseen ciclos de vida relativamente largos, y comprenden especies con distintos niveles de tolerancia al estr3s ambiental. Adem3s, desempeñan un papel crucial en la recirculaci3n de nutrientes y materia en los sedimentos, ya que est3n constantemente expuestos a los dep3sitos de detritos provenientes de la columna de agua. En t3rminos generales, las comunidades de macrofauna son altamente diversas, abarcando una amplia gama de taxa, tamaños corporales, tolerancia al estr3s ambiental y tipos funcionales. Estas comunidades incluyen organismos con modos de alimentaci3n variados, tales como:

1. **Filtradores:** Capturan part3culas directamente desde la columna de agua.
2. **Deposit3voros de superficie:** Consumen material org3nico acumulado en la superficie de los sedimentos.
3. **Deposit3voros sub-superficiales:** Obtienen su alimento excavando en los sedimentos para consumir materia org3nica.
4. **Carn3voros:** Se alimentan de otros componentes de la macrofauna.

Algunas especies presentan plasticidad en su modo de alimentaci3n, ajust3ndose a las condiciones ambientales predominantes. Por esta raz3n, numerosos estudios han buscado establecer c3mo responden estas comunidades a diferentes grados de enriquecimiento org3nico (e.g., Pearson & Rosenberg, 1978; Glemarec y Hily, 1981; Warwick, 1986). La sensibilidad y diversidad funcional de estas comunidades las

convierten en un parámetro esencial para evaluar el impacto de actividades acuícolas sobre los ecosistemas sedimentarios.

- **Índices Bióticos de Evaluación Ambiental.**

Uno de los índices bióticos más simples y ampliamente utilizados es la **riqueza de especies (S)**, que corresponde al número total de especies por área evaluada. Este índice ha demostrado que una mayor riqueza de especies mejora la productividad de las comunidades bentónicas y aumenta su resistencia a perturbaciones. Sin embargo, para realizar un análisis más completo, es importante integrar también la **abundancia de especies (N)** en los cálculos. Dado que el número total de especies puede variar desde cero hasta teóricamente infinito, se han establecido valores máximos de referencia para manejar mejor este parámetro. Por ejemplo, Keeley et al. (2012) propusieron un límite máximo de 80 especies en un área de 100 cm². Estudios han mostrado que la riqueza de especies está inversamente correlacionada con los niveles de sulfuros libres en los sedimentos: a mayor cantidad de sulfuros libres, menor riqueza de especies (Cranford et al., 2020).

Respecto a los **índices clásicos de diversidad**, el **índice de diversidad de Shannon (H')** ha sido empleado en diversos modelos de evaluación ambiental, con límites de aceptabilidad propuestos por Hargrave et al. (2008) y Keeley et al. (2012). Sin embargo, este índice no ha mostrado una buena correlación con indicadores abióticos como los sulfuros libres. Algo similar ocurre con la **dominancia de Simpson (1/D)**, que también presenta un desacople respecto a parámetros abióticos. Este desacople podría explicarse por la falta de estandarización en el área de muestreo o porque estos índices no discriminan entre especies sensibles o tolerantes, lo que puede limitar su aplicabilidad en evaluaciones ambientales (Cranford et al., 2020).

Un índice más reciente y relevante es la **Calidad del Hábitat Bentónico (BHQ)**, desarrollado por Rosenberg et al. (2004). Este índice se basa en observaciones visuales y combina puntuaciones de las estructuras físicas del sedimento superficial con la profundidad de la discontinuidad del potencial redox. Se obtiene a partir de imágenes de perfil de sedimentos (SPI, por sus siglas en inglés). La **riqueza relativa (S50)**, definida como el número de especies identificadas en una muestra aleatoria de 50 individuos, es otro índice útil en la evaluación ambiental. Este índice se calcula siguiendo la fórmula de Hurlbert (1971) y los límites de aceptabilidad se derivan de la relación empírica entre S50 y el potencial redox (Eh) (Hargrave, 2010).

El **Índice Trófico de la Infauna (ITI)** mide la condición trófica general de la comunidad bentónica. Está basado en la presencia y ausencia de cuatro grupos tróficos que exhiben distintas sensibilidades al enriquecimiento orgánico. El ITI clasifica las comunidades como "Normal" (valores entre 100 y 60), "Modificado" (60-30) o "Degradado" (30-0), según los límites establecidos por Ruellet y Dauvin (2007). Sin embargo, estudios han mostrado que el ITI no presenta una correlación sólida con otros indicadores abióticos como los descritos en Hargrave (2010). Por último, el **Índice de Calidad Bentónica (BQI) y su variante basada en familias (fBQI)** son índices multimétricos que integran información sobre riqueza de especies (S y ES50) y abundancia (N). Los límites de aceptabilidad para el BQI fueron definidos por Rosenberg et al. (2004), mientras que para el fBQI los límites fueron establecidos por Dimitriou et al. (2012). Ambos índices son ampliamente utilizados en la evaluación ambiental de sedimentos marinos, ya que permiten una visión más completa al combinar múltiples métricas en una sola herramienta analítica.

La alteración de las comunidades bentónicas en función del estado de enriquecimiento orgánico, descrita inicialmente por Pearson y Rosenberg en 1978, se atribuye principalmente a la capacidad de las diferentes especies para tolerar bajos niveles de oxígeno y altas concentraciones de sulfuros. Dentro de estas comunidades, se identifican especies tolerantes que actúan como indicadoras de condiciones ambientales impactadas. Ejemplos clásicos incluyen algunos taxones específicos de poliquetos, como *Capitella*

capitata, que es ampliamente reconocida por su capacidad para prosperar en ambientes enriquecidos en materia orgánica y pobres en oxígeno (Hargrave et al., 2008; Edgar et al., 2010; Ross et al., 2018). Basándose en estas observaciones, se han desarrollado diversos índices bióticos que emplean la tolerancia de estas especies como un indicador directo de la condición ambiental de los sedimentos. Estos índices permiten evaluar de manera sistemática el impacto del enriquecimiento orgánico en las comunidades bentónicas, ofreciendo herramientas clave para la gestión y monitoreo ambiental de los sistemas acuícolas.

El **índice de grupo V Dominancia de Especies Oportunistas (GrV)** compara la proporción de especies oportunistas de primer orden respecto al resto de la macrofauna. Este índice se basa en un modelo teórico que describe la tolerancia de cinco especies, tal como lo describe Borja et al. (2000). Un índice relacionado es el índice de Poliquetos Bentónicos y Familias Oportunistas de Anfípodos (BPOFA), que mide la relación entre familias de anfípodos y poliquetos oportunistas. Los umbrales para este índice han sido descritos por Dauvin et al. (2016). Ambos indicadores muestran una buena correlación con los niveles de sulfuros libres (Cranford et al., 2020).

El **índice de Especies Indicadoras (ISI)** calcula el promedio de los valores de sensibilidad de las especies presentes en una muestra, según la metodología de Rygg (2002). Este índice utiliza el valor de diversidad ES100 para definir el nivel de estrés tolerado por las especies y se integra en el cálculo del NSI. El ISI tiende a seguir un patrón similar al índice de diversidad de Shannon (H') en relación al estrés ecológico (Rygg, 2002), con límites definidos por Rygg y Norling (2013).

El **índice Bentix** evalúa la abundancia proporcional de tres grupos ecológicos de taxones bentónicos clasificados según su tolerancia al estrés ecológico (Simboura y Zenetou, 2002). Es similar al AMBI, pero utiliza tres grupos de sensibilidad en lugar de cinco. Además, existe una variante conocida como Bentix Familia BQI, que opera a nivel de familia, siendo independiente del tipo de hábitat, el tamaño de la muestra y el esfuerzo taxonómico (Simonini et al., 2009).

Entre los índices compuestos destacan:

Índice de Calidad Infaunal (IQiv.IV): Un índice multimétrico que combina proporciones de taxones sensibles y oportunistas (AMBI), uniformidad de especies (1-D de Simpson) y diversidad taxonómica (S). Fue desarrollado por el Grupo Asesor Técnico de la Directiva Marco del Agua del Reino Unido y se basa en referencias de sitios no impactados (Philips et al., 2012).

Índice de Calidad Noruego (NQI1): Combina valores ponderados de AMBI, abundancia total de fauna (N) y riqueza de especies (S), con límites definidos por Husa et al. (2014).

Índice de Sensibilidad Noruego (NSI): Calcula el valor promedio de sensibilidad de todas las especies en una muestra. A diferencia de AMBI, utiliza una escala continua para asignar valores de sensibilidad. El NSI está bien correlacionado con los valores de AMBI (Rygg y Norling, 2013).

El **Índice Biótico Marino (AMBI)**, desarrollado por AZTI, evalúa la abundancia proporcional de cinco grupos ecológicos de taxones bentónicos predefinidos según su tolerancia al estrés ecológico. Clasifica más de 10.000 especies en cinco grupos, y tanto el software como la lista de especies son de acceso gratuito (Borja et al., 2000). AMBI muestra una buena relación con los niveles de sulfuros libres y con otros índices biológicos como el BPOFA (Cranford et al., 2020). Finalmente, el **Índice Biótico Marino Multivariado (M-AMBI)**, derivado del AMBI, combina datos de AMBI, S y H' a través de análisis factorial y discriminante (Muxika et al., 2007). Este índice también se encuentra disponible en el software AMBI y ha demostrado una buena correlación con los sulfuros libres (Cranford et al., 2020).

Tabla 11. Algunos índices ambientales con sus niveles de oxigenación y sulfuros equivalente (Cranford et al., 2020).

Index: classification scheme	EQS boundary	Value	Eqn.	S ²⁻ (µM)
S%: Hargrave et al. (2008)	Oxic A – Oxic B	60	11	93
	Oxic B – Hypoxic A	50	11	184
	Hypoxic A – Hypoxic B	35	11	363
	Hypoxic B – Anoxic	20	11	642
H': Hargrave et al. (2008)	Oxic A – Oxic B	4	11	–
	Oxic B – Hypoxic A	3	11	–
	Hypoxic A – Hypoxic B	2	11	498
	Hypoxic B – Anoxic	1	11	2231
GrV: Borja et al. (2000)	High - Good	20	7	130
	Good - Moderate	40	7	305
	Moderate - Poor	60	7	579
	Poor - Bad	80	7	1225
BPOFA: Dauvin et al. (2016)	High - Good	0.031	12	40
	Good - Moderate	0.126	12	210
	Moderate - Poor	0.187	12	390
	Poor - Bad	0.237	12	690
AMBI: Borja et al. (2003)	High - Good	1.2	15	–
	Good - Moderate	3.3	15	380
	Moderate - Poor	4.3	15	1050
	Poor - Bad	5.5	15	1800
AMBI: recalibrated (this study)	High - Good	1.2	15	–
	Good - Moderate	3.0	15	275
	Moderate - Poor	3.9	15	555
	Poor - Bad	4.8	15	1250
M-AMBI: Pelletier et al. (2018)	High - Good	0.77	16	44
	Good - Moderate	0.53	16	340
	Moderate - Poor	0.38	16	1210
	Poor - Bad	0.20	16	5566
M-AMBI: recalibrated (this study)	High - Good	0.83	16	35
	Good - Moderate	0.59	16	243
	Moderate - Poor	0.47	16	632
	Poor - Bad	0.35	16	1643

• Índices Bióticos de Macrofauna y el caso del AMBI en Chile.

Se han presentado algunos de los índices bióticos de macrofauna más utilizados, cada uno con sus ventajas y limitaciones según el contexto de aplicación. Por esta razón, se recomienda emplear más de un índice cuando se realicen evaluaciones ambientales, permitiendo una visión más integral del estado del ecosistema. Además, para garantizar resultados consistentes al utilizar índices en paralelo, es esencial estandarizar el área de muestreo y el tamaño de malla utilizado. Los organismos de la macrofauna están estructural y funcionalmente organizados en respuesta a gradientes ambientales. Factores como las características físicas, químicas y la disponibilidad de alimento desempeñan un rol crucial en la composición, distribución y abundancia de las comunidades bentónicas (Hargrave et al., 1997; Lu y Wu, 1998; Karakassis et al., 2000; Hansen et al., 2001; Bybee & Bailey-Brock, 2003; Grizzle et al., 2003). Durante las últimas décadas, se han desarrollado diversos índices basados en la macrofauna como indicadores ecológicos de calidad ambiental, tales como **AMBI**, **BENTIX**, **BOPA**, **H'**, **BQI**, e **ITI**, entre otros. Todos ellos se fundamentan en el modelo de sucesión ecológica relacionado con gradientes de enriquecimiento orgánico y condiciones de anoxia propuesto por Pearson & Rosenberg (1978) (Muxika et al., 2007; Borja et al., 2000; Simboura & Zenetos, 2002; Dauvin y Ruellet, 2007; Vincent et al., 2002; Rosenberg et al., 2004; Dauvin et al., 2007; Mearns y Word, 1982).

Entre estos índices, el **AMBI (AZTI's Marine Biotic Index)**, desarrollado por Borja et al. (2000), se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en diversos hábitats alrededor del mundo para evaluar la calidad bentónica. Su eficacia se ha demostrado especialmente en la evaluación de impactos asociados a enriquecimiento orgánico, incluido aquel generado por la acuicultura. En Chile, este índice ha comenzado a emplearse en estudios relacionados con la evaluación de impactos ambientales en ecosistemas bentónicos vinculados a la acuicultura, particularmente en salmonicultura (Quiroga et al., 2013; Vidal et al., 2013; Borja et al., 2014). Diversos estudios realizados en el país han contribuido



significativamente a cerrar las brechas para la implementación del AMBI en la normativa nacional, evaluando su aplicabilidad en el contexto chileno. Esto representa un avance hacia la incorporación de herramientas científicas que permitan una regulación más precisa y basada en evidencia para monitorear y mitigar los impactos ambientales en los ecosistemas acuáticos.

El Índice **AMBI (AZTI's Marine Biotic Index)** se fundamenta en la respuesta de la macrofauna bentónica a cambios en las condiciones fisicoquímicas del sedimento, principalmente el incremento de materia orgánica y la disminución de oxígeno. Estos cambios afectan la composición específica de las comunidades bentónicas y la abundancia relativa de las especies. Su base teórica se sustenta en el modelo de sucesión ecológica de la macrofauna frente a un gradiente de enriquecimiento orgánico, propuesto por Pearson y Rosenberg (1978).

Clasificación ecológica de especies en el índice AMBI

El AMBI clasifica a la macrofauna bentónica en cinco grupos ecológicos (GI a GV), que reflejan distintos grados de tolerancia al enriquecimiento orgánico y la alteración ambiental:

Grupo I (GI): Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico, predominantes en condiciones no contaminadas (fase inicial). Incluyen suspensivos, carnívoros poco selectivos y detritívoros.

Grupo II (GII): Especies indiferentes al enriquecimiento orgánico, presentes en bajas densidades y sin variaciones significativas a lo largo del tiempo (fase inicial a leve desbalance).

Grupo III (GIII): Especies tolerantes al enriquecimiento orgánico, capaces de habitar en condiciones normales, pero con poblaciones estimuladas por el incremento de materia orgánica (fase levemente desbalanceada). Incluye depositívoros de superficie, como ciertos Spionidos.

Grupo IV (GIV): Especies oportunistas de segundo orden, que proliferan en condiciones de moderado enriquecimiento orgánico hasta estados altamente desbalanceados. Representadas principalmente por poliquetos de pequeño tamaño y depositívoros sub-superficiales como los Cirratúlidos.

Grupo V (GV): Especies oportunistas de primer orden, presentes en condiciones de elevado enriquecimiento orgánico y contaminación severa. Se encuentran en sedimentos reducidos y están representadas por poliquetos de pequeño tamaño altamente resistentes.

Cálculo del índice AMBI

El índice AMBI se calcula a partir de la distribución relativa de estos cinco grupos ecológicos en la muestra de sedimentos, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{AMBI} = ((0 * \%GI) + (1.5 * \%GII) + (3 * \%GIII) + (4.5 * \%GIV) + (6 * \%GV))/100$$

Donde:

%GI, %GII, %GIII, %GIV y %GV representan la proporción relativa de cada grupo ecológico en la muestra analizada.

Para calcular este índice, se emplean los valores de abundancia de las especies identificadas y se procesa mediante el software AMBI (AZTI Marine Biotic Index, Versión 5.0, AZTI-Tecnalia, www.azti.es).

Interpretación de los valores del índice AMBI

La distribución de los cinco grupos ecológicos permite clasificar los ecosistemas en siete niveles de calidad ambiental, según los criterios de Borja et al. (2000). Estos niveles permiten evaluar la salud de los ecosistemas bentónicos y su grado de alteración debido a la actividad antropogénica. La implementación del índice AMBI en estudios de evaluación ambiental ha permitido una mejor comprensión del impacto de la acuicultura y otras actividades en los ecosistemas marinos, siendo una herramienta ampliamente utilizada en diversas regiones del mundo, incluida Chile, donde su aplicación se ha fortalecido en el monitoreo ambiental de la salmonicultura.

Tabla 12. Valores del AMBI y equivalencias con la calidad ambiental (modificado de Borja et al. 2000; 2003).

Nivel de Contaminación	Coefficiente biótico	Índice AMBI	Salud de la comunidad
No contaminado	$0.0 < CB \leq 0.2$	0	Normal
No contaminado	$0.2 < CB \leq 1.2$	1	Empobrecida
Ligeramente contaminado	$1.2 < CB \leq 3.3$	2	Desbalanceada
Moderadamente contaminado	$3.3 < CB \leq 4.3$	3	Transición a contaminado
Moderadamente contaminado	$4.5 < CB \leq 5.0$	4	Contaminado
Altamente contaminado	$5.0 < CB \leq 5.5$	5	Transición a altamente contaminado
Altamente contaminado	$5.5 < CB \leq 6.0$	6	Altamente contaminado
Extremadamente contaminado	Azoico	7	Azoico

En los últimos años, las técnicas moleculares basadas en ADN han ganado relevancia en la evaluación de comunidades de macroinvertebrados bentónicos, ofreciendo una alternativa a los métodos tradicionales de identificación taxonómica. Estas metodologías incluyen:

- I. Código de barras de ADN (DNA barcoding): Consiste en la identificación de especies mediante la secuenciación de un fragmento corto y estandarizado del ADN, generalmente de genes mitocondriales como el COI (citocromo oxidasa I), ampliamente utilizado en la clasificación de invertebrados marinos (Hebert et al., 2003).
- II. Metabarcoding de ADN (DNA metabarcoding): Permite el análisis simultáneo de múltiples especies en una muestra ambiental a través de secuenciación masiva de fragmentos de ADN específicos, facilitando el estudio de la biodiversidad sin necesidad de identificar morfológicamente los organismos.
- III. Metabarcoding de ADN ambiental (eDNA metabarcoding): Se basa en la detección de ADN liberado en el ambiente (agua, sedimentos) por los organismos presentes, permitiendo evaluar la composición de las comunidades sin necesidad de recolectar especímenes.

Si bien estas técnicas ofrecen ventajas en términos de precisión, eficiencia y estandarización, su implementación en programas de monitoreo ambiental aún enfrenta desafíos, principalmente su alto costo y la necesidad de infraestructuras especializadas para el procesamiento y análisis de datos. Esto puede limitar su viabilidad en modelos de monitoreo continuo a gran escala. No obstante, con el avance de la tecnología y la reducción progresiva de costos, estas herramientas podrían convertirse en una opción estándar para la evaluación ambiental en el futuro.

4.1.3 Técnicas y métodos de evaluación de la columna de agua.

Categorías de Centros de Cultivo según Resolución (SUBPESCA) N°3411/2006.

Los centros de cultivo clasificados en las categorías 3, 4, 5 y 6 presentan características que pueden influir en la calidad del agua dentro de los sistemas de producción de salmónidos. Estas condiciones pueden favorecer procesos que afectan la dinámica de nutrientes, el balance de oxígeno y la biodiversidad acuática, impactando tanto la columna de agua como los sedimentos.

1. Centros de Cultivo en Sistemas de Producción Extensiva (Excepto Macroalgas)

a) Centros con Producción Anual Proyectada Superior a 1.000 Toneladas

- Aporte elevado de desechos orgánicos e inorgánicos: La producción masiva de salmónes genera una carga significativa de material particulado y disuelto, incluyendo excedentes de alimento (1-5% del alimento utilizado) y heces (12,5%) (Brooks y Mahnken, 2003).
- Impacto en la columna de agua: Los desechos disueltos incluyen nitrógeno, fósforo y carbono (Wang et al., 2012), lo que puede inducir fenómenos de eutrofización y afectar la calidad del agua.

b) Centros Ubicados en Zonas Profundas (> 60 m de Profundidad)

- Condiciones afóticas: En estas zonas, la penetración de la luz solar es menor al 1%, lo que limita la producción primaria y favorece los procesos de respiración y remineralización en la columna de agua y en el sedimento.
- Acumulación de materia orgánica: La falta de circulación y la menor capacidad de dispersión pueden incrementar la carga de materia orgánica en los fondos marinos, aumentando el riesgo de hipoxia y anoxia.

2. Centros de Cultivo en Ríos y su Desembocadura

- Producción superior a 1.000 toneladas: La producción extensiva de peces en ríos genera altos niveles de desechos orgánicos, que pueden alterar el equilibrio natural del ecosistema fluvial.
- Remineralización acelerada: El ingreso de materia orgánica y nutrientes puede aumentar la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la proliferación de bacterias descomponedoras, lo que altera la calidad del agua y afecta la biodiversidad.
- Interacción con otras fuentes de contaminación: Los ríos reciben nutrientes adicionales de la agricultura, plantas de tratamiento de aguas residuales, escorrentía urbana y deposición atmosférica, lo que agrava el impacto de la acuicultura sobre la calidad del agua.

3. Centros de Cultivo en Lagos y Lagunas

- Falta de recambio de agua: Los lagos y lagunas son sistemas cerrados, lo que impide la renovación eficiente del agua y favorece la acumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos.
- Mayor susceptibilidad a la eutrofización: El aporte de nutrientes y materia orgánica incrementa la productividad primaria en el lago, promoviendo la proliferación de fitoplancton y blooms algales.

- Alteración de procesos biogeoquímicos: El enriquecimiento de la columna de agua puede inducir condiciones hipóxicas en el fondo, generando impactos en la fauna bentónica y reduciendo la calidad del agua.

Las características de los centros de cultivo en **zonas profundas, ríos, lagos y lagunas** influyen en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, generando **impactos directos e indirectos** en la calidad del agua. La gestión eficiente de la carga de nutrientes y el monitoreo de **variables ambientales clave** son esenciales para mitigar los efectos negativos y asegurar la sustentabilidad de la acuicultura.

Parámetros de Evaluación para la Eutrofización en la Columna de Agua.

La zona costera ha experimentado un aumento significativo en la concentración de nutrientes durante las últimas décadas, especialmente en áreas con intensa producción acuícola. El enriquecimiento excesivo de las aguas con fuentes antropogénicas de nutrientes, en particular nitrógeno y fósforo, provoca la transformación de cuerpos de agua oligotróficos en mesotróficos, eutróficos e hipertróficos. Los estados mesotrófico y eutrófico presentan niveles intermedios y elevados de nutrientes, respectivamente, lo que conlleva a problemas graves de calidad del agua, como la eutrofización (Khan & Mohamed, 2014). Al igual que el cambio climático, la eutrofización es un problema global que afecta a las regiones costeras debido al aumento de la descarga de nutrientes (Galloway et al., 2014). Entre las respuestas ecológicas adversas bien documentadas al enriquecimiento de nutrientes en ecosistemas marinos y costeros se incluyen:

- I. Incremento en la frecuencia e intensidad de floraciones Fitoplanctónicas, incluyendo la proliferación de floraciones de algas nocivas (FAN), muchas de ellas productoras de toxinas (Hudnell, 2008; Gilbert & Burford, 2017).
- II. Alteraciones en la composición y dominancia de especies de algas, desplazando a plantas bentónicas como praderas marinas y promoviendo el crecimiento descontrolado de macroalgas verdes (Lapointe et al., 2018, 2019).
- III. Hipoxia y formación de zonas muertas, debido al agotamiento del oxígeno disuelto causado por la descomposición de grandes volúmenes de biomasa algal (Díaz & Rosenberg, 2008).
- IV. Degradación del hábitat y alteraciones en las redes tróficas acuáticas, afectando desde microorganismos hasta niveles superiores de la cadena alimentaria (Carpenter et al., 1998; Gross & Hagy, 2017; Devlin & Brodie, 2023).

Indicadores Claves para la Evaluación de la Eutrofización.

Para evaluar la eutrofización en la columna de agua, se emplean diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten determinar la magnitud y el impacto del enriquecimiento de nutrientes:

- I. Concentraciones de nutrientes (N y P): Se mide la concentración de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y fósforo total (P), que son los principales responsables del enriquecimiento de las aguas (Devlin et al., 2021).
- II. Clorofila-a: Indicador de biomasa fitoplanctónica, utilizado para estimar la producción primaria y evaluar el grado de eutrofización (Ferreira et al., 2011).

- III. Oxígeno disuelto (OD): Una disminución en los niveles de oxígeno disuelto, especialmente en la capa inferior de la columna de agua, indica el efecto de la descomposición de materia orgánica (Díaz & Rosenberg, 2008).
- IV. Relación N:P: El balance entre nitrógeno y fósforo permite determinar si el crecimiento del fitoplancton está limitado por alguno de estos nutrientes y predecir el tipo de organismos dominantes en la comunidad (Lapointe et al., 2019).
- V. Transparencia del agua (Secchi Disk): Reducciones en la penetración de luz están asociadas con altas concentraciones de fitoplancton y materia orgánica particulada (Devlin & Brodie, 2023).
- VI. Proliferación de algas nocivas (FAN): Se monitorea la presencia de especies tóxicas que pueden generar impactos negativos en ecosistemas y en actividades económicas como la acuicultura y el turismo (Hudnell, 2008).
- VII. Biodiversidad del fitoplancton y zooplancton: Cambios en la composición de la comunidad pueden indicar alteraciones en la cadena trófica debido a la eutrofización (Galloway et al., 2014).

El monitoreo y la evaluación de estos parámetros permiten detectar a tiempo los efectos de la eutrofización y proponer medidas de mitigación. En sistemas de acuicultura intensiva, la gestión de la carga de nutrientes y la implementación de tecnologías para reducir la liberación de residuos orgánicos son estrategias clave para minimizar los impactos en los ecosistemas acuáticos.

Impactos Potenciales de Altos Niveles de Nutrientes en la Calidad del Agua.

El aumento excesivo de nutrientes en los ecosistemas acuáticos puede desencadenar múltiples efectos negativos, afectando la biodiversidad, la calidad del agua y la funcionalidad ecológica. A continuación, se detallan los principales impactos asociados:

1. Eutrofización: El enriquecimiento de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), favorece un crecimiento acelerado de la productividad primaria, estimulando el desarrollo descontrolado de algas fitoplanctónicas y macrófitas. Este fenómeno degrada la calidad del agua al generar fluctuaciones extremas en el oxígeno disuelto (OD), alteraciones en la biodiversidad y cambios en la dinámica trófica del ecosistema.

2. Pérdida de Biodiversidad: El crecimiento excesivo de algas nocivas y fitoplancton genera blooms algales, que pueden llevar a una reducción significativa del oxígeno en la columna de agua. Durante la degradación del material orgánico, el consumo de oxígeno genera condiciones hipóxicas o anóxicas, afectando a peces e invertebrados y provocando eventos de mortalidad masiva. Especies sensibles pueden verse desplazadas, favoreciendo la proliferación de organismos más resistentes a condiciones de baja oxigenación.

3. Pérdida de Hábitat Acuático: El aumento de nutrientes no solo afecta la columna de agua, sino que también impacta el sustrato y los ecosistemas bentónicos. La acumulación de materia orgánica en los fondos marinos o lacustres genera un ambiente reduccionista, promoviendo la formación de sulfuros tóxicos y desplazando especies bentónicas que dependen de condiciones aeróbicas. Además, las praderas marinas y macroalgas pueden verse afectadas por el exceso de algas epífitas que limitan la penetración de la luz y reducen la fotosíntesis.

4. Aumento de la Turbidez y Reducción de la Visibilidad: El aumento de la biomasa fitoplanctónica y la presencia de partículas orgánicas en suspensión reducen la transparencia del agua, disminuyendo la penetración de la luz y afectando los ecosistemas que dependen de la fotosíntesis. Esto puede tener efectos negativos sobre:

- La capacidad de depredadores visuales para cazar, alterando la dinámca tr3fica.
- La percepci3n de organismos filtradores, afectando la captura de partículas alimenticias.
- Actividades recreativas y turísticas, como el buceo y la pesca deportiva.

El control y monitoreo de los niveles de nutrientes en cuerpos de agua es esencial para evitar los impactos adversos de la eutrofización. Estrategias como la gesti3n sostenible de residuos acuícolas, la restauraci3n de hábitats y el monitoreo continuo de la calidad del agua son clave para prevenir la degradaci3n de los ecosistemas acuáticos y mantener la funcionalidad ecol3gica de estos ambientes.

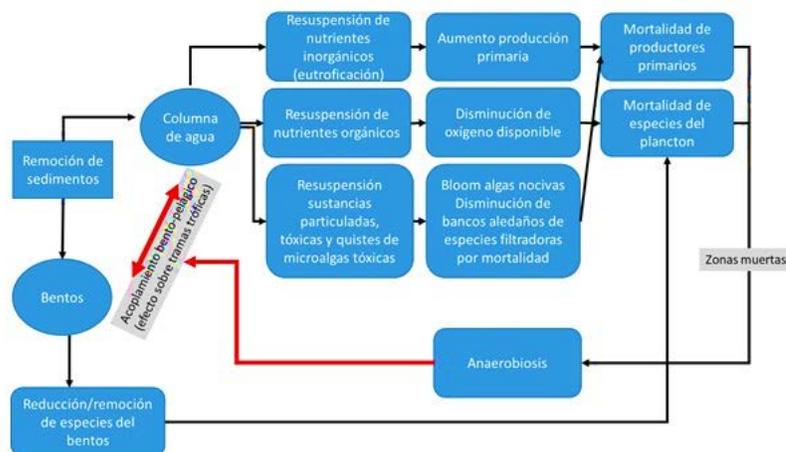


Figura 15. Esquema de cómo se pueden producir el proceso de eutrofización en la columna de agua generado por alteraciones en el sedimento (tomado de BNC: <https://www.bcn.cl/portal/>).

4.1.4 Recopilación, Revisión y Selección de Información de legislaciones ambientales internacionales.

A continuación, se presenta un resumen de los aspectos relevantes de los modelos de evaluación ambiental utilizados en los principales países productores de salmón:

Modelos de gestión Canadá.

En Canadá, la gestión de la acuicultura es una responsabilidad compartida entre los gobiernos federal, provincial y territorial (**Figura 16**). Cada jurisdicción establece requisitos regulatorios específicos, medidas de mitigación y tolerancias de riesgo según su legislación y normativas particulares.

Marco Regulatorio Federal

A nivel federal, la producción acuícola está regulada por el Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO), junto con otras entidades como:

- | | |
|--|--|
| I. Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá | III. Transporte de Canadá |
| II. Salud de Canadá | IV. Agencia Canadiense de Inspección Alimentaria |

Cuatro leyes federales clave regulan la pesca y la acuicultura:

- I. Ley de Pesca: Protege los hábitats acuáticos y regula las actividades pesqueras
- II. Ley de Protección de la Pesca Costera: Garantiza la conservación de los ecosistemas costeros
- III. Ley de Océanos: Proporciona un marco para la gestión sostenible de los océanos de Canadá
- IV. Ley de Especies en Riesgo: Protege la biodiversidad y los hábitats críticos

El mandato de la DFO incluye la protección de la biodiversidad del ecosistema, así como la conservación del hábitat y la productividad de las especies de peces.



Figura 16. Distribución de la gestión de la acuicultura.

Responsabilidad de los Gobiernos Provinciales y Territoriales

En la mayoría de las provincias, los gobiernos provinciales son los principales reguladores y responsables de la concesión de licencias para la acuicultura (Figura 17). Sin embargo, existen excepciones: En Columbia Británica y la Isla del Príncipe Eduardo, el gobierno federal es el principal responsable de la regulación acuícola. A nivel nacional, el gobierno federal mantiene la jurisdicción sobre la navegación, la prevención de enfermedades que afectan el comercio internacional y la protección ambiental, en virtud de la Ley de Pesca y la Ley de Salud Animal. El modelo canadiense de regulación acuícola se basa en un enfoque integral y coordinado, donde el gobierno federal y los gobiernos provinciales/territoriales trabajan en conjunto para garantizar la sostenibilidad del sector. Este modelo busca proteger los ecosistemas acuáticos, asegurar el cumplimiento de estándares ambientales estrictos y fomentar una acuicultura responsable y sostenible.

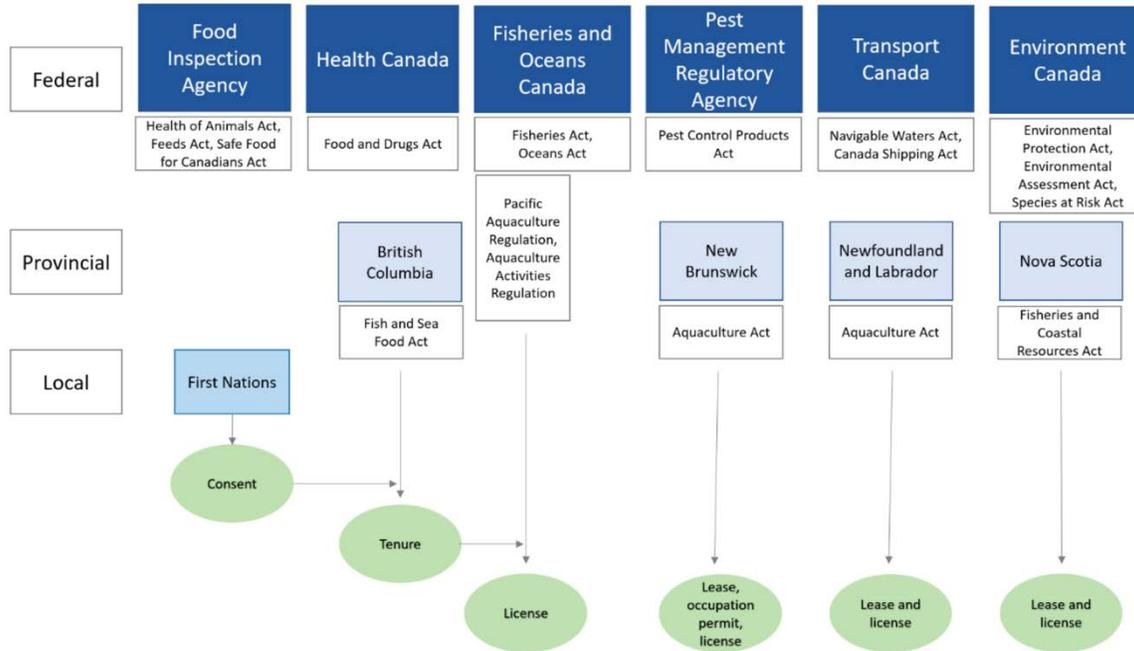


Figura 17. Legislación y autoridades de la Acuicultura (Solàs et al., 2020).

El **Reglamento de Actividades de Acuicultura (AAR)**, implementado el 26 de junio de 2015 en Canadá, se desarrolló bajo las facultades ministeriales establecidas en la Ley de Pesca. Este reglamento tiene como objetivo minimizar los impactos ambientales de las actividades acuícolas mediante restricciones claras, medidas de mitigación y requisitos de monitoreo ambiental. Con este marco, se busca garantizar la sostenibilidad de la industria acuícola y aumentar la transparencia en la gestión de los ecosistemas marinos afectados por estas actividades. El AAR establece obligaciones específicas para los operadores de granjas de salmones, quienes deben implementar medidas de mitigación para reducir los daños a los peces y a sus hábitats, relacionados con el uso de pesticidas, medicamentos y la liberación de desechos orgánicos. Asimismo, los operadores deben informar al Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) sobre incidentes relacionados con la mortalidad de peces silvestres durante tratamientos químicos, así como presentar informes anuales que detallen las cantidades de sustancias utilizadas, las medidas preventivas adoptadas y los resultados de los monitoreos ambientales realizados. Estas disposiciones permiten una supervisión más rigurosa de la industria y promueven la coherencia en la regulación a nivel nacional.

El impacto de las instalaciones acuícolas sobre los ecosistemas bentónicos es monitoreado utilizando diferentes enfoques según el tipo de fondo marino. En sedimentos blandos, se mide la concentración de sulfuros libres, que actúa como un indicador de la disponibilidad de oxígeno y la biodiversidad del área. Para los sitios con fondos duros, donde no es posible realizar análisis de sedimentos, se utilizan observaciones visuales para detectar la presencia de bacterias del género *Beggiatoa* o de gusanos marinos como indicadores del impacto ambiental. Estas mediciones deben realizarse 30 días antes o después del periodo de mayor biomasa o del pico de uso de alimento en las instalaciones. En caso de que los valores excedan los umbrales establecidos, los operadores deben notificar al DFO en un plazo de 14 días y suspender la repoblación de los centros hasta que se restablezcan las condiciones aceptables. La regulación también fomenta el desarrollo de



investigaciones científicas para comprender mejor los impactos de los desechos orgánicos en los ecosistemas marinos, así como para mejorar los protocolos de monitoreo y desarrollar nuevos indicadores del estado de los sedimentos y la biodiversidad. Estas investigaciones son fundamentales para adaptar el marco regulatorio a las necesidades emergentes y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las actividades acuícolas. El Reglamento de Actividades de Acuicultura en Canadá representa un enfoque integral basado en la evaluación de riesgos, con normas estrictas y monitoreo continuo. Este marco busca equilibrar la producción acuícola con la conservación de los ecosistemas marinos, ofreciendo una guía clara para la industria y un mayor nivel de transparencia para las comunidades y el gobierno.

La Norma de Monitoreo, establecida en las secciones 8, 9, 10 y 11 del AAR, requiere que los operadores de acuicultura presenten informes anuales sobre sus actividades a la Oficina Regional de Gestión de Acuicultura (RAMO), entidad provincial que actúa como intermediaria con la industria. Para asegurar que la normativa se mantenga actualizada, el AAR cuenta con un documento de orientación que se revisa periódicamente en función de nuevos avances científicos y tecnológicos. Como parte de este proceso, se lleva a cabo un ciclo de revisión científica trienal dirigido por el Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) junto con socios federales, lo que permite adaptar la normativa a nuevas evidencias científicas y garantizar su evolución.

Reglamento de Acuicultura del Pacífico

Este reglamento entró en vigor el 19 de diciembre de 2010 y establece un régimen regulatorio específico para la acuicultura en Columbia Británica y sus aguas adyacentes. Su objetivo principal es garantizar una gestión sostenible de la acuicultura, minimizando los impactos sobre los peces silvestres y sus hábitats a través de mecanismos de protección y conservación. Basado en el artículo 43 de la Ley de Pesca, este reglamento exige la obtención de una licencia de acuicultura, la cual está sujeta a una serie de condiciones que buscan reducir los impactos ambientales. Entre ellas se incluyen medidas para minimizar escapes, prevenir la introducción y transferencia de especies invasoras, controlar depredadores y enfermedades, así como establecer requisitos de monitoreo, informes y mantenimiento de registros. Además, se implementan estrategias para reducir la carga de materia orgánica e inorgánica liberada en el medio ambiente.

Reglamento (General) de Pesca

Vigente desde febrero de 1993, este reglamento regula la pesca y actividades relacionadas en aguas canadienses. Su propósito es garantizar el manejo sostenible de los recursos pesqueros, incluyendo la acuicultura en Columbia Británica, en conjunto con las Reglamentaciones de Acuicultura del Pacífico. Asimismo, trabaja en coordinación con el Reglamento de Salud Animal, estableciendo controles para mitigar riesgos de enfermedades asociadas con el movimiento de organismos acuáticos vivos.

Reglamento de Gestión de Pesquerías Contaminadas

Implementado en septiembre de 2006, este reglamento afecta tanto a la pesca silvestre como a la acuicultura, estableciendo los criterios bajo los cuales se puede recolectar pescado contaminado. Define como “pescado contaminado” a aquellos organismos que presentan niveles peligrosos de bacterias, toxinas, compuestos químicos u otras sustancias que podrían representar un riesgo para la salud pública.



Marco de Pesca Sostenible

El Marco de Pesca Sostenible incluye políticas de conservación y uso sustentable, promoviendo un enfoque precautorio y ecosistémico en la gestión de la pesca y la acuicultura. Su implementación busca tres objetivos clave:

- I. Mantener poblaciones de peces saludables.
- II. Proteger la biodiversidad y los hábitats pesqueros.
- III. Garantizar la productividad sostenible de la pesca.

Este marco tiene un alcance nacional y otorga directrices claras para los gestores de acuicultura en el cumplimiento de las regulaciones ambientales y de sostenibilidad.

Marco para la Gestión de Riesgos en la Acuicultura de Canadá (FARM).

El 10 de diciembre de 2018, el ministro de Pesca, Océanos y Guardia Costera de Canadá anunció una nueva estrategia para la acuicultura en el país. Esta visión incorpora un enfoque basado en áreas, complementado por un marco de toma de decisiones basado en riesgos, lo que permite evaluar y gestionar de manera eficiente los posibles impactos de la acuicultura. Estas herramientas buscan reforzar la aplicación del enfoque precautorio, asegurando que las decisiones del DFO sobre acuicultura sean fundamentadas en evidencia científica y principios de sostenibilidad.

El **Marco para la Gestión de Riesgos en la Acuicultura de Canadá (FARM: Figura 18)** tiene como objetivo principal crear las condiciones para una industria acuícola sostenible en todo el país, garantizando al mismo tiempo la protección de los ecosistemas acuáticos y las poblaciones de peces silvestres. Para ello, considera una serie de factores clave, entre los que se incluyen las condiciones medioambientales locales, el estado de las poblaciones de peces, la escala e intensidad de la actividad acuícola y los efectos previstos sobre los hábitats esenciales. En este sentido, se presta especial atención a zonas de cría, desove y alimentación, las cuales desempeñan un papel crucial en la conservación de especies. El FARM establece un marco de actuación claro y uniforme que rige las responsabilidades del Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) bajo normativas clave como la **Ley de Pesca, la Ley de Protección de Pesquerías Costeras, la Ley de Especies en Riesgo y la Ley de Océanos**. Su propósito es garantizar que las decisiones regulatorias relacionadas con la acuicultura se tomen de manera coherente, basada en evidencia científica y principios de sostenibilidad. Además, este marco proporciona un proceso estandarizado y predecible para la evaluación de riesgos y la identificación de medidas de prevención, mitigación y gestión. De esta manera, se busca reducir los impactos potenciales de la acuicultura en el medio ambiente y en las poblaciones de peces silvestres, asegurando que las actividades se desarrollen dentro de límites ecológicos sostenibles.

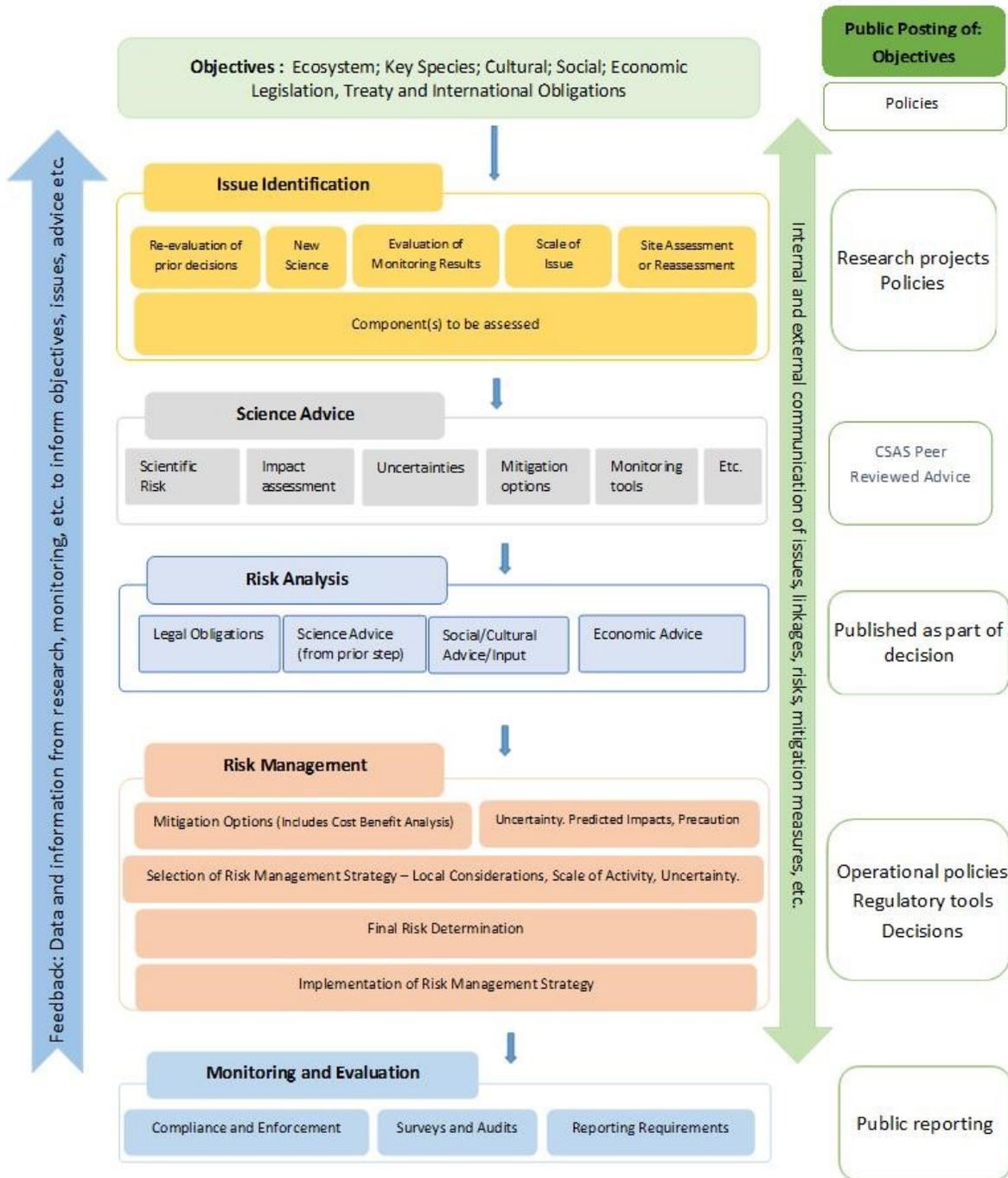


Figura 18. Framework for Aquaculture Risk Management.

El enfoque del Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) para la gestión de los riesgos ambientales asociados con la acuicultura se basa en seis elementos clave:



Definición de objetivos: Los objetivos de gestión de riesgos están determinados por la legislación, acuerdos intergubernamentales e internacionales. También consideran el conocimiento ecológico, los valores culturales y sociales, los objetivos económicos y el conocimiento indígena y local.

Identificación de problemas: Se analizan las actividades acuícolas, los factores de estrés involucrados y los efectos potenciales, basándose en las Vías de Efectos de la Acuicultura (PoE), las cuales han sido revisadas científicamente. Además, los problemas emergentes se identifican a partir de investigaciones científicas, cambios ambientales como el cambio climático y la participación pública. En Columbia Británica, los Planes de Gestión Integrada de la Acuicultura facilitan la participación de las partes interesadas en la identificación de problemas relacionados con la acuicultura.

Asesoramiento científico y evaluación de riesgos: Se proporciona asesoramiento científico revisado por expertos sobre la escala y los efectos potenciales de la acuicultura en los ecosistemas. Se realizan evaluaciones de riesgo, caracterizando la probabilidad y las consecuencias de las actividades acuícolas sobre los peces y su hábitat. Además, se identifican áreas de incertidumbre y se integran conocimientos científicos actualizados.

Análisis de riesgos: Se evalúa una amplia gama de información social, cultural, jurídica, económica y científica, en función de los requisitos legales y los objetivos de gestión. Este análisis permite fundamentar los enfoques de gestión de riesgos y garantizar la toma de decisiones basada en múltiples factores.

Gestión de riesgos: Se seleccionan y evalúan medidas de prevención, mitigación u otras estrategias de manejo, aplicando el enfoque precautorio en casos de incertidumbre científica. Se lleva a cabo una evaluación de riesgos residuales y se implementan estrategias para minimizar los impactos ambientales.

Monitoreo y evaluación de la actividad: Se supervisa el cumplimiento de la normativa, se realiza seguimiento ambiental y se llevan a cabo actividades de fiscalización. La información recolectada es clave para la gestión adaptativa, permitiendo ajustar y mejorar las estrategias de mitigación y reevaluar los riesgos asociados con la acuicultura.

Aplicación del modelo de Vías de Efectos de la Acuicultura en la toma de decisiones.

El modelo de Vías de Efectos (PoE, Pathways of Effects) es una herramienta clave utilizada por el DFO para evaluar los impactos de la acuicultura. Este modelo permite visualizar las interacciones entre las actividades humanas, los factores de estrés ambientales y los efectos resultantes en el ecosistema. Su propósito es identificar los posibles impactos de la acuicultura y diseñar estrategias para mitigar los efectos negativos.

En el marco del FARM, las Vías de Efectos de la Acuicultura permiten:

- Identificar problemas que requieren evaluación científica.
- Respalda las decisiones de gestión de riesgos mediante la selección de estrategias de mitigación.
- Determinar riesgos residuales tras la implementación de medidas de mitigación.

El modelo de Vías de Efectos de la Acuicultura fue desarrollado en colaboración con reguladores provinciales y territoriales, y es respaldado por la Secretaría Canadiense de Asesoramiento Científico (CSAS). Se basa en una clasificación de factores de estrés ambientales asociados a la acuicultura,

los impactos derivados de estos factores y sus efectos sobre el ecosistema. Este enfoque es dinámico y adaptable, ya que se actualiza constantemente con datos provenientes del monitoreo ambiental en centros de acuicultura y resultados de nuevas investigaciones científicas. A medida que se obtiene más información, se revisa la duración, escala e intensidad de los impactos, asegurando que la gestión de la acuicultura en Canadá evolucione con base en el conocimiento científico más reciente.

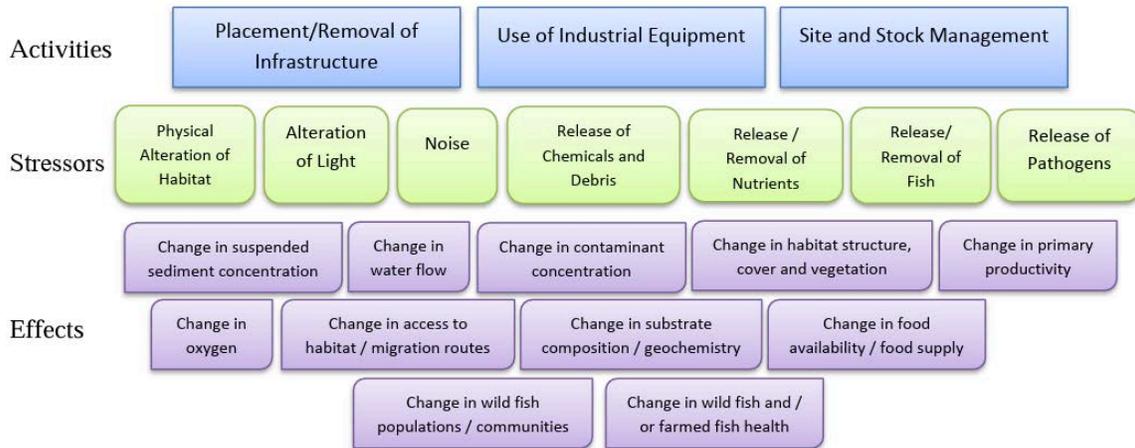


Figura 19. Vías de efectos para la acuicultura de peces y mariscos.

Descripciones de los factores de estrés:

- I. *Las alteraciones físicas* del hábitat se producen durante la colocación o remoción de la infraestructura física. La extensión y el impacto de las alteraciones físicas previstas del hábitat se consideran principalmente durante la etapa preoperativa (por ejemplo, aplicación en el sitio), que incluye una evaluación del tipo de hábitat bentónico en el área que se propone para la acuicultura.
- II. *La liberación de sustancias químicas y desechos* ocurre principalmente con actividades asociadas con la gestión del sitio y de las poblaciones, y el uso de equipos operativos donde pueden liberarse sustancias químicas y desechos. Health Canada evalúa el efecto del uso de pesticidas, medicamentos y antiincrustantes en el entorno receptor, incluidos los organismos no objetivos. El DFO y sus socios reguladores (HC y ECCC) están trabajando en colaboración para desarrollar una herramienta de evaluación para determinar el seguimiento posterior al depósito de medicamentos o pesticidas
- III. *La liberación de materia orgánica y relacionada* se produce como resultado de las actividades de gestión de existencias (por ejemplo, la alimentación y el cultivo de peces, la eliminación o el desprendimiento natural de organismos bioincrustantes de la infraestructura física) que tienen un componente orgánico o relacionado (por ejemplo, nutrientes). La extensión prevista de la deposición orgánica en el fondo marino circundante se evalúa en la etapa preoperativa. Como parte del cumplimiento operativo continuo según el **Reglamento de Actividades de Acuicultura**, las operaciones de acuicultura de peces marinos deben cumplir un requisito reglamentario basado en el desempeño relacionado con la liberación de materia orgánica.



- IV. *La eliminación de nutrientes y materia orgánica* se produce como resultado de las actividades de gestión de las poblaciones, en las que algunas especies cultivadas (por ejemplo, los bivalvos) eliminan partículas, nutrientes y oxígeno de la columna de agua.
- V. *La liberación o eliminación de peces* se produce principalmente como resultado de las actividades de gestión de las poblaciones. La eliminación de peces se considera y gestiona en virtud de la política de captura incidental del DFO.
- VI. *La liberación de patógenos y plagas* está asociada con el sitio y la gestión de las poblaciones. El aumento de la biomasa de peces dentro de un área debido a un sitio de acuicultura puede influir en la presencia o abundancia de patógenos de peces (por ejemplo, bacterias, virus) y plagas (por ejemplo, piojos de mar y tunicados). La introducción de patógenos o plagas se evalúa en la etapa operativa, principalmente por los Comités de Introducciones y Transferencias (ITC).

Monitoreo Ambiental Canadá.

- **Legislación:** Aquaculture Activities Regulations (AAR)
- **Cita:** Fisheries and Ocean Canada (2015) Aquaculture Activities Regulations guidance document (AAR).
- **Página Web:** [DFO/CANADA](https://www.dfo-mpo.gc.ca/canada)
- **Acceso legislación:** Abierto.

El monitoreo ambiental de la acuicultura en Canadá está regulado principalmente por la Ley de Pesca, que aunque originalmente no fue diseñada para regular esta industria, ha servido de base para la administración y control de la pesca, incluyendo la acuicultura (Silva & Soto, 2022). En julio de 2015, el Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) introdujo las **Regulaciones de Actividades de Acuicultura (AAR)**, estableciendo requisitos federales de monitoreo ambiental que los operadores deben cumplir, además de los requisitos provinciales.

Marco Regulatorio y Enfoque de Monitoreo.

Dado que Canadá es un país con un sistema federal, las regulaciones sobre acuicultura varían según la provincia en la que se realice la actividad. Las principales normativas que regulan la acuicultura incluyen:

- Ley Federal de Pesca
- Ley de Protección de la Navegación
- Ley de Salud de los Animales
- Reglamento Nacional de Actividades Acuícolas (AAR)

Para operar un centro de cultivo marino, es necesario contar con autorizaciones tanto provinciales como federales (Silva & Soto, 2022). En este contexto, el AAR regula el monitoreo ambiental de la acuicultura, utilizando principalmente la medición de sulfuros totales libres (S^{2-}) mediante el método de electrodo selectivo ISE. También se mide el potencial redox (Eh), aunque este parámetro no es considerado en la toma de decisiones regulatorias.



La evaluación del impacto ambiental de la acuicultura en Canadá se basa en la oxigenación del sedimento, dividiendo los fondos en dos estados: óxico y no óxico. A nivel federal, el marco regulador establece criterios comunes, como la evaluación de la oxigenación de los sedimentos utilizando sulfuros como indicador clave. También se emplean monitoreos visuales con videograbaciones en fondos duros, estrategia que es aplicada de manera transversal en todas las provincias. Sin embargo, existen diferencias en frecuencia y metodología de muestreo entre provincias, siendo las más notorias entre la costa este (Nueva Escocia) y la costa oeste (Columbia Británica).

Requisitos federales de Monitoreo y Evaluación.

A pesar de existir estándares federales, cada provincia establece requisitos específicos de monitoreo, evaluación y capacidades de cultivo. En todas las regiones se requiere:

- Toma de muestras bentónicas y observaciones visuales en el centro y en cada esquina del área arrendada para acuicultura.
- Límites de producción regulados, definidos usualmente a nivel provincial, en términos de biomasa máxima permitida (MAB) o número de smolts por ciclo.

Los límites de biomasa varían entre provincias:

Cada provincia define internamente las cifras para las licencias de acuicultura, lo que ha generado desafíos en términos de regulación ambiental. Desde 2002, cuando se implementaron medidas de protección ambiental, la situación ha mejorado (Backman et al., 2009). Sin embargo, algunos investigadores consideran que una normativa fragmentada por provincias dificulta un enfoque integrado para la gestión ambiental de la acuicultura en Canadá (Milewski & Smith, 2019).

Columbia Británica: El MAB es específico para cada instalación con licencia de acuicultura. Los centros más pequeños tienen licencias para 2.200 toneladas, mientras que las instalaciones más grandes pueden producir hasta 5.000 toneladas por ciclo.

Terranova y Nuevo Brunswick: Se manejan licencias para 600.000 a 1.000.000 smolts por ciclo en Terranova y entre 250.000 a 600.000 smolts por ciclo en New Brunswick.

Nueva Escocia

- **Tipo de muestreos.**

En Nueva Escocia, el monitoreo ambiental varía según el tipo de fondo:

1. Monitoreo en fondos blandos
 - Se realizan muestreos dentro de la zona de impacto (FZ) con un mínimo de 6 estaciones en centros de hasta 200.000 peces.
 - Se incrementan 3 estaciones por cada 100.000 peces adicionales a la biomasa basal.
2. Monitoreo en fondos duros
 - Se utilizan videograbaciones submarinas con un mínimo de 2 estaciones dentro de la FZ en cultivos de hasta 200.000 peces.
 - Se agregan 2 estaciones por cada 100.000 peces adicionales a la biomasa basal.



- o Los mantos de *Beggiatoa* (o bacterias similares), lombrices marinas o sustrato est3ril no deben superar el 70% de cobertura.

En caso de que los l3mites establecidos sean superados, se deben aumentar los puntos de muestreo, realizar una reevaluaci3n de los m3rgenes de la FZ y tomar medidas correctivas seg3n evaluaci3n experta.

Tabla 13. Resumen n3mero de estaciones en fondo duro y blando en el muestreo nivel 1 de Nueva Escocia.

Farm zone (FZ) nivel 1:		
Biomasa m3xima	Fondo duro video	Fondo blando
≤200.000 peces	2 estaciones	6 estaciones
≥200.000 peces	1 estaci3n adicional cada 100.000 peces	3 estaci3nes adicionales cada 100.000 peces

- **Niveles y Par3metros Evaluados.**

En **Nueva Escocia**, el monitoreo ambiental de los centros de cultivo acu3cola se estructura en tres niveles, dependiendo del grado de impacto ambiental detectado en el sitio. Este sistema permite una evaluaci3n progresiva y adaptativa, con monitoreos adicionales en casos donde los indicadores ambientales reflejan condiciones cr3ticas.

1. **Monitoreo Anual en Per3odo de Biomasa M3xima (Nivel I)**
Este monitoreo se lleva a cabo en el periodo de **biomasa m3xima**, es decir, cuando el centro de cultivo tiene la mayor cantidad de peces. Su prop3sito es evaluar el estado general del sitio y determinar si es necesario realizar monitoreos adicionales.
2. **Monitoreo Adicional en Caso de Condiciones Hip3xicas o An3xicas (Nivel II)**
Si el monitoreo anual **clasifica el arrendamiento como Hip3xico B o An3xico**, o si ha fallado en la clasificaci3n de fondo **mixto o duro**, se activa un segundo monitoreo para obtener una evaluaci3n m3s precisa del impacto ambiental.
3. **Monitoreo en Caso de Incumplimiento Continuo o Condiciones Cr3ticas (Nivel III)**
Se implementa cuando un centro de cultivo no cumple de manera consistente con los est3ndares ambientales o cuando los resultados del monitoreo Nivel I lo clasifican como an3xico o gravemente afectado. Tambi3n puede ser activado a discreci3n del Departamento de Pesca y Acuicultura de Nueva Escocia (NSDFA).

- **Umbrales y M3todos de Evaluaci3n**

El par3metro clave para la evaluaci3n ambiental en fondos blandos es la concentraci3n de sulfuros libres (S^{2-}) en los sedimentos, con un umbral 3nico de 3.000 μM . Para determinar si un centro cumple con la normativa, se utiliza una prueba estadística t, la cual eval3a si los valores de sulfuro obtenidos en cada estaci3n de muestreo son significativamente diferentes del umbral establecido.

Adicionalmente, se evalúan otros indicadores ambientales en estaciones de fondo blando para validar los resultados de sulfuro en los sedimentos, incluyendo:

- **Potencial de oxidación-reducción (Eh):** Indica la capacidad del sedimento para oxidar o reducir compuestos químicos, reflejando así la oxigenación del sustrato.
- **Porosidad del sedimento:** Determina la capacidad del sustrato para retener agua y permitir el intercambio de gases.
- **Prevalencia de materia orgánica:** Evalúa la acumulación de restos orgánicos provenientes de alimento no consumido y desechos metabólicos.

Estos parámetros se integran en el **Índice de Enriquecimiento Bentónico (BEI)**, el cual proporciona una medida multivariada del grado de enriquecimiento orgánico en los sedimentos marinos. Este índice, propuesto por Hargrave (2009), permite una evaluación más detallada y confiable del impacto ambiental de los centros de cultivo sobre el ecosistema bentónico.

Tabla 14. Respuestas del sitio Oxico, se considera que los sitios clasificados como Oxico u Oxico B tienen bajos efectos ambientales, continuará el monitoreo anual de Nivel I. Si un sitio permanece 100% óptimo durante dos ciclos de producción, pueden solicitar.

Measurement	Sediment Classification		
	Oxic	Hypoxic	Anoxic
Sediment colour	Tan to depth > 0.5 cm	Tan to < 0.5 cm with some black sediments at surface	Surface sediments black
Microbial presence	No <i>Beggiatoa</i> -like bacteria present	Patchy <i>Beggiatoa</i> -like bacteria	Widespread <i>Beggiatoa</i> -like bacterial mats
Macrofaunal Assemblage	Wide array of infauna and epifauna	Mixed group of mostly small infauna	Small infauna only
Sulfide, μM	≤ 749 (A) 750 to 1499 (B)	1500 to 2999 (A) 3000 to 5999 (B)	≥ 6000
Redox (Eh), mV _{NHE}	>100 (A) 100 to -50 (B)	-50 to -100 (A) -100 to -150 (B)	< -150
Organic matter, %	\leq reference*	1.5 to 2X ref.	> 2X reference
Porosity, %	\leq reference*	1 to 10X ref.	> 10X reference

Modified from the *Design of the Environmental Monitoring Program for the Marine Aquaculture Industry in Nova Scotia* (Smith et al 2002) and *Towards a Classification of Organic Enrichment in Marine Aquaculture* (Hargrave et al. 2008a)

En los casos de sitios clasificados como Hipóxico A, con una concentración media de sulfuro entre 1.500 y 2.999 μM , se considera que estos pueden estar causando efectos ambientales adversos moderados. En este escenario, además del monitoreo continuo, se exige al operador la presentación de un plan de mitigación, que debe detallar acciones específicas para reducir el impacto ambiental generado por el sitio.

Para los sitios clasificados como Hipóxico B, con una concentración media de sulfuro entre 3.000 y 5.999 μM , es más probable que estén generando efectos ambientales adversos significativos. Ante esta situación, el operador está obligado a realizar un monitoreo de Nivel II, mantener el monitoreo regular y presentar un plan de mitigación. Además, deberá proporcionar una justificación sólida si planea mantener o aumentar los niveles de producción, ya que se reconoce que el nivel actual de sulfuro indica un impacto ambiental considerable.

Por otro lado, los sitios clasificados como Anóxicos, con concentraciones medias de sulfuro iguales o superiores a 6.000 μM , son considerados altamente impactados, y es probable que grandes áreas del sitio estén afectadas debido a la acumulación excesiva de materia orgánica. En estos casos, el operador debe realizar monitoreos de Nivel II y Nivel III y trabajar estrechamente con los reguladores para abordar la situación. También se exige la presentación de un plan de mitigación actualizado, el cual debe ser implementado dentro de un plazo establecido por el ministro, priorizando acciones inmediatas para reducir los impactos negativos y recuperar el equilibrio ambiental del sitio.

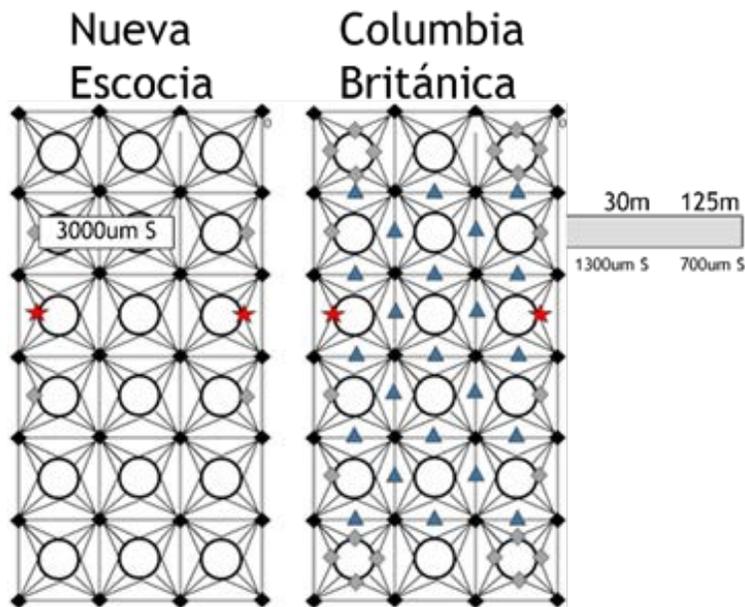


Figura 20. Diferencias entre los monitoreos de Nueva Escocia y Columbia Británica. Imagen modificada desde Environment Protection Authority (2022).

Responsables del monitoreo y de los costos

Los operadores de granjas de peces y mariscos marinos son responsables de adherirse de coordinar el monitoreo según las instrucciones del Environmental Monitoring Program (EMP) y proporcionar los resultados a Nova Scotia Department of Fisheries and Aquaculture (NSDFA) según sea necesario (Government of Canada, 2021).

Los monitoreos son realizados por terceros autorizados y costeados por los operarios, cada provincia tiene profesionales aprobados para estas funciones. La fiscalización la realiza El NSDFA, quienes pueden realizar auditorías aleatorias o revisiones de sitios, según directrices del EMP donde se revisan los datos y establece pautas de monitoreo.



Algunos datos ambientales (como solicitudes de sitios e informes de evaluación) están disponibles en el sitio web de NS Aquaculture.

Consecuencias del incumplimiento en el monitorio

Ante incumplimientos en el monitorio se puede declarar suspensión o cancelación de arrendamientos o licencias.

Respecto al deterioro ambiental, los bajos niveles de deterioro ambiental desencadenan un monitoreo ambiental adicional/más intensivo. El aumento de la degradación ambiental conduce a más acciones/respuestas de gestión, incluyendo la revisión de las prácticas agrícolas del sitio, la modificación de la programación de cosecha/granja y la auditoría de terceros. Cuando ocurre un deterioro extremo del medio ambiente, se requiere que las granjas colaboren estrechamente con los reguladores ambientales para desarrollar estrategias de mitigación para resolver el bajo desempeño ambiental. La falta de seguimiento puede dar lugar a moratorias a la expansión.

Muestras de referencia

Se requiere la toma de muestras bentónicas y observaciones visuales en el centro y en cada esquina del límite del arrendamiento la recolección de muestras adicionales se realiza entre 100 y 300 m del borde del límite del arrendamiento, en la dirección de la corriente dominante.

Se exige una declaración de Impacto Ambiental (DIA) y Evaluaciones de Idoneidad del Sitio de conformidad con las Regulaciones de Acuicultura de Nueva Escocia. Que incluye un muestreo de referencia del fondo marino, calidad del agua, modelado de riesgo de enfermedades y consulta pública.

Columbia Británica.

- **Niveles y Parámetros Evaluados.**

En Columbia Británica, el monitoreo ambiental incorpora un enfoque basado en transectos, los cuales se realizan siguiendo la corriente predominante del sector. Se llevan a cabo mediciones a distancias de 0, 30 y 125 metros desde los límites de la Zona de Sedimentación Permitida (FZ) hacia el exterior. Los umbrales establecidos para estas distancias son 1.300 μM a 30 metros y 700 μM a 125 metros, y están diseñados para evaluar la dispersión del impacto ambiental generado por el centro de cultivo. Si se exceden estos límites, se considera que los efectos ambientales se están extendiendo más allá de la zona permitida, lo que desencadena acciones correctivas y ajustes en las operaciones del sitio. Este enfoque en Columbia Británica permite evaluar de manera precisa el impacto de los centros de cultivo sobre los ecosistemas circundantes, garantizando que los efectos adversos sean monitoreados y gestionados de manera adecuada.

En el caso del monitoreo en fondos duros, se implementa un sistema de transectos de video para evaluar la presencia de indicadores biológicos de impacto ambiental. Estos transectos se extienden hasta los 140 metros desde el margen delimitado de la Zona de Sedimentación Permitida (FZ) hacia el exterior, permitiendo una evaluación gradual de la dispersión del impacto orgánico en el área circundante.

Criterios de evaluación y límites de aceptabilidad

- Entre 100 y 124 metros: La cobertura de mantos de *Beggiatoa*, bacterias o gusanos bentónicos no debe superar el 10% de la superficie evaluada. Además, no se pueden detectar más de cuatro segmentos con presencia de estos organismos dentro de la totalidad del sector monitoreado.
- Entre 125 y 140 metros: Se mantiene el límite de 10% de cobertura de estos organismos, pero el umbral de aceptabilidad es más estricto: no deben registrarse más de dos segmentos con presencia de estos indicadores de impacto.

Tabla 15. Diferencias entre los monitoreos de Costa Este y Costa Oeste, En fondo blando y duro. Imagen modificada desde Environment Protection Authority (2022).

	Fono blando	Fondo duro
Nueva Escocia	Sulfuro(μM): <3.000	<i>Beggiatoa</i> o bacterias similares, lombrices marinas o sustrato estéril: <70%
Columbia Británica	Sulfuro (μM): <ul style="list-style-type: none"> • A 30 m, 1300μM y • a 125 m 700 μM. 	<i>Beggiatoa</i> o bacterias similares, lombrices marinas o sustrato estéril: <ul style="list-style-type: none"> • <10% de cualquiera de los cuatro segmentos entre los 100 m a 124 m de la FZ. • <10% de al menos 2 segmentos entre los 116 m a 140 m de la FZ.

Responsables del monitoreo y de los costos

Los operadores de granjas de peces y mariscos marinos son responsables de adherirse de coordinar el monitoreo y proporcionar los resultados a Fisheries and Oceans Canada (DFO) bajo las Regulaciones de Actividades Acuícolas y se pueden encontrar en línea (Government of Canada, 2019).

Los monitoreos son realizados por terceros autorizados. La fiscalización la realiza la DFO quien es el principal regulador de la acuicultura de peces marinos en Columbia Británica, este puede realizar auditorías independientes o controles aleatorios según el reglamento Aquaculture Activities Regulations (AAR). El DFO exige informes detallados de seguimiento ambiental.

Los datos son de divulgación pública en el sitio web Government of Canada.

Consecuencias del incumplimiento en el monitorio

Ante el incumplimiento en el monitorio hay sanciones monetarias administrativas (MNA) en virtud del Reglamento de Actividades de Acuicultura y acciones correctivas obligatorias; posible suspensión de la licencia del sitio de acuicultura.

Respecto al deterioro ambiental para Columbia Británica y otras ubicaciones en la costa este de Canadá, si las condiciones ambientales exceden los niveles de activación apropiados, el re muestreo y el posible barbecho de las ubicaciones hasta que las condiciones sean apropiadas para la repoblación serían las principales respuestas/acciones de gestión.

Muestreos de referencia

En Columbia Británica, el muestreo bentónico y las observaciones visuales solo se realizan en un mínimo de dos estaciones (a 30 y 125 m del borde del límite del arrendamiento) a lo largo de dos transectos alineados con el área de mayor impacto previsto y con las direcciones de las corrientes dominante y subdominante. Por cada incremento de 200 m en la longitud de la estructura de cultivo, se requieren transectos adicionales para el muestreo en estaciones de 30 y 125 m.

Se exige una evaluación de Impacto Ambiental bajo el Pacific Aquaculture Regulations y el Reglamento Federal de Actividades Acuícolas. Estudios de referencia bentónicos, hidrografía y consulta a las los pueblos originarios (primeras naciones).

Monitoreo Ambiental en Noruega.

- **Legislación: NS-9410:2016**
- **Fuente:** Norwegian Standards (2016) – *Environmental monitoring of benthic impact from marine fish farm.*
- **Acceso:** De pago
- **Página Web:** STANDAR/NORUEGA

La regulación ambiental en Noruega está enfocada en minimizar los impactos de la acuicultura, protegiendo tanto el entorno marino como la sanidad de los salmones en cultivo y sus poblaciones silvestres. La norma NS-9410:2016 establece directrices para el monitoreo del impacto bentónico derivado de la acuicultura marina, con el fin de garantizar que las áreas de producción acuícola mantengan una calidad ambiental aceptable.

Monitoreo ambiental en Noruega: Límites de Biomasa y Sistema de Control por Semáforo.

A diferencia de otros países, en Noruega la biomasa máxima permitida (MAB, Maximum Allowable Biomass) no se ha establecido en función del impacto ambiental, sino debido a preocupaciones sanitarias, particularmente por el piojo de mar (*Lepeophtheirus salmonis*), un parásito que afecta tanto a los salmones en cultivo como a los silvestres (Hersoug, 2021).

Para abordar este problema, se implementó un sistema de gestión zonal basado en estudios hidrodinámicos, donde el territorio se divide en regiones según el nivel de infectividad del piojo de mar. En la mayoría de los condados, las licencias de acuicultura establecen un MAB de 780 o 945 toneladas, el cual puede aumentarse, mantenerse o reducirse dependiendo del estado sanitario del área, determinado por un régimen de semáforo:

- **Luz roja:** Si el riesgo de mortalidad por piojo de mar supera el 30%, se reduce la producción al menos un 6%.
- **Luz amarilla:** Si el riesgo de mortalidad está entre 10% y 30%, no se permite el crecimiento de la producción.
- **Luz verde:** Si el riesgo de mortalidad es inferior al 10%, se permite un aumento de producción de hasta un 6%.

Este modelo ha demostrado ser una estrategia efectiva para controlar la propagación del piojo de mar y ha contribuido al desarrollo sostenible de la industria acuícola noruega (Zhang et al., 2023).

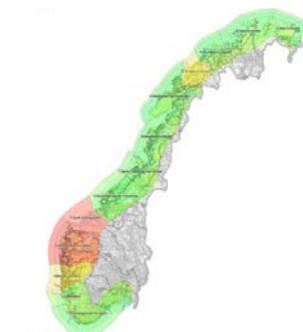


Figura 21. División en zonas sanitarias en noruega según nivel de producción (Silva et al., 2022).

Monitoreo ambiental en Noruega: Tipos de monitoreos.

En el marco del monitoreo ambiental en Noruega, existen dos tipos principales de muestreos, denominados Muestreo B y Muestreo C, que forman parte del sistema de evaluación de impacto ambiental basado en la norma NS-9410:2016. A continuación, se detalla el enfoque específico del Muestreo B.

Muestreo B

El **Muestreo B** se realiza directamente bajo las jaulas de cultivo y evalúa parámetros biológicos, químicos y sensoriales del sedimento marino, categorizados en los siguientes grupos:

- **Grupo I: Parámetros biológicos**
 - Evaluación de la **macrofauna bentónica**, excluyendo a los invertebrados oportunistas. Este análisis permite determinar la biodiversidad y la composición de especies sensibles o tolerantes presentes en el área impactada.
- **Grupo II: Parámetros químicos**
 - **pH**: Indicador de la acidez o alcalinidad del sedimento, relacionado con los procesos de degradación orgánica.
 - **Potencial Redox (Rh)**: Indicador del equilibrio entre los procesos de oxidación y reducción en el sedimento, reflejando las condiciones de oxigenación.
- **Grupo III: Parámetros sensoriales**
 - **Burbujas de gas**: Identificación de burbujas que podrían indicar procesos anóxicos y producción de gases como H_2S o CH_4 .
 - **Color**: Cambios en el color del sedimento, que pueden indicar la acumulación de materia orgánica o sulfuros.
 - **Olor**: Presencia de olores fuertes y desagradables asociados a la descomposición de materia orgánica.
 - **Consistencia**: Textura y compactación del sedimento.

- **Volumen de sedimento:** Cantidad acumulada bajo la jaula.
- **Espesor de los residuos orgánicos:** Medición de la capa de material orgánico depositado.

Sistema de Puntuación.

Cada uno de los parámetros evaluados en los Grupos II y III recibe una puntuación asociada, que refleja el estado ambiental del sitio. Estas puntuaciones se promedian para obtener una evaluación final, mientras que los resultados del Grupo I (macrofauna) no se incluyen en el cálculo final del puntaje, pero sí se analizan como un indicador adicional de la salud del ecosistema.

La tabla de puntuación, que clasifica los parámetros de acuerdo con su condición, asigna valores más bajos a los sedimentos en mejores condiciones. Un ejemplo ilustrativo de la tabla de puntuación se presenta en la **Tabla 16**, extraído de Environment Protection Authority, 2022.

Entre menor sea el puntaje promedio, mejor será la condición ambiental del sitio monitoreado, lo que indica un menor impacto ambiental generado por la actividad acuícola.

Esta metodología de monitoreo asegura un análisis integral de las condiciones del sedimento y constituye una herramienta fundamental para evaluar y mitigar los impactos de las piscifactorías en el fondo marino.

Tabla 16. Tabla de puntuación para la evaluación de sitio según la norma noruega, ejemplo extraído de Environment Protection Authority, 2022.

Gr	Parameters	Scoring system	Sample number									Index	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Bottom type: S (Soft) H (Hard)			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
1	Animals	Yes = 0, No = 1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
	pH	Measured value	6.52	6.52	7.33	6.31	7.35	6.60	7.72	6.41	6.14		
	E.	Measured value	-143	-105	57	-1.38	-3	-143	-113	-78	-143		
		+ ref. value	217	217	217	217	217	217	217	217	217		
	pH/E.	From Fig. x	5	5	1	5	2	5	2	5	5	3.89	
Condition sample			4	4	1	4	2	4	2	4	4		
Condition group 2			4										
			Buffer temp: 9.2 °C			Seawater temp: 8.3 °C			Sediment temp: 8.3 °C				
			pH seawater: 7.52			E. Seawater: 413 mV			Ref. electrode: 217 mV				
3	Gas bubbles	Yes = 4	4			4					4		
		No = 0		0	0		0	0	0	0			
	Colour	Light/grey = 0			1		0						
		Brown/black = 2	2	2		2		2	2	2	2		
	Smell	None = 0			0		0		0				
		Some = 2	3	2		2		2		2		3	
		Strong = 4											
	Consistency	Compact = 0			1								
		Soft = 2	3	2		3	2	2	2	2		3	
		Loose = 4											
	Grab volume	< 1/4 = 0											
		1/4 – 3/4 = 1		1	1		1	1	1	1	1		
		> 3/4 = 2	2			2							
	Thickness of organic waste	0 cm – 2 cm = 0	0	0		0	0	0	0		0		
	2 cm – 8 cm = 1	1			1				1				
	> 8 cm = 2												
SUM			15	7	3	14	3	7	5	8	13		
Corrected total (x 0.22)			3.3	1.54	0.66	3.08	0.66	1.54	1.1	1.76	2.86	1.83	
Condition test			4	2	1	3	1	2	2	4	4		
Condition group 3			2										
Average group 2 and 3			4.15	3.27	0.83	4.04	1.33	3.27	1.33	3.38	3.93	2.86	
Average condition			4	4	1	4	2	4	2	4	4		
	pH/E.	Corrected total											
	Index	Average value											
	< 1.1	1: Very good											
	1.1 - < 2.1	2: Good											
	2.1 - < 3.1	3: Moderate											
	≥ 3.1	4: Poor											
											Lease condition	3	

Frecuencia y Condiciones del Monitoreo B en Noruega.

En Noruega, cada centro de cultivo debe realizar el Muestreo B en un n3mero m3nimo de 8 sitios cuando la producci3n es de 780 toneladas (t). A medida que la producci3n aumenta, se agrega un sitio de monitoreo por cada 500 t adicionales. La ubicaci3n de los sitios de monitoreo se define considerando los siguientes criterios:

- Deben ubicarse en los contornos de las jaulas de cultivo.
- En caso de sistemas de cultivos contiguos, se deben incluir puntos de monitoreo entre las jaulas, para evaluar los efectos acumulativos en el fondo marino.

Frecuencia del Monitoreo B seg3n Evaluaci3n Ambiental.

El Muestreo B se realiza de forma est3ndar una vez por ciclo productivo, coincidiendo con la 3poca de biomasa m3xima. Sin embargo, la frecuencia de monitoreo puede aumentar dependiendo de los resultados de la 3ltima evaluaci3n ambiental. Estos resultados se dividen en cuatro niveles:

1. Muy bueno (Nivel 1)

- No se requieren medidas adicionales.
- Se permite continuar con el siguiente ciclo productivo sin restricciones adicionales.

2. Bueno (Nivel 2)

- Se realiza un segundo muestreo antes de la nueva cosecha, para verificar la evoluci3n de las condiciones ambientales.

3. Pobre (Nivel 3)

- Se requiere un tercer muestreo a mitad del siguiente ciclo productivo.
- El operador debe presentar un plan de acci3n con medidas correctivas para mejorar las condiciones ambientales del fondo marino.

4. Muy pobre (Nivel 4)

- **No se permite un nuevo ciclo productivo** hasta que se compruebe una mejora en las condiciones ambientales.
- Las **autoridades deciden** las acciones a seguir con respecto al centro de cultivo, lo que puede incluir la suspensi3n o clausura del sitio.

Un resumen de la frecuencia del Muestreo B seg3n la clasificaci3n ambiental se presenta en la **Tabla 17**, la cual detalla los requisitos de monitoreo adicionales y las medidas correctivas necesarias en cada caso.

Tabla 17. Resumen de la frecuencia del monitoreo B seg3n la 3ltima evaluaci3n ambiental, extra3da de Environment Protection Authority, 2022. Fuente: Environment Protection Authority (2022).

Location condition	Monitoring frequency
1 – Excellent	With the next maximum load (i.e., peak production)
2 – Good	Pre-stocking and the next maximum load (i.e., peak production)
3 – Poor	Pre-stocking, if pre-stocking investigation gives: <ul style="list-style-type: none"> • condition 1 – Monitor at next maximum load (i.e., peak production) • condition 2 – Monitor at next half maximum load and at maximum load, or • condition 3 – Monitor at next half maximum load and at maximum load. Production plans modified before next production. If some of the investigations show location condition 4, it is overloaded.
4 – Very Poor	Overloaded, no stocking allowed until conditions reach condition 3, production plans modified before next production.

Monitoreo C en Noruega: Evaluación de la Zona Periférica del Cultivo.

El Monitoreo C en Noruega es un procedimiento más amplio en comparación con el Monitoreo B, ya que se realiza cada tercer ciclo productivo y se enfoca en evaluar el impacto ambiental en la zona circundante al centro de cultivo, más allá del área de producción inmediata.

- **Ubicación y Distribución de los Sitios de Muestreo.**

El número de sitios de muestreo en el Monitoreo C varía según la biomasa del centro de cultivo. Se establecen entre 3 y 6 sitios, incrementando la distancia del punto más externo de muestreo a medida que aumenta la biomasa del cultivo.

Estos sitios se organizan en tres categorías principales:

1. **C1:**

- Se ubica en el borde entre la Zona de Producción (FZ) y el Área de Impacto Permitido (AZE).
- Se aplican los mismos análisis que en el Monitoreo B, incluyendo parámetros biológicos, químicos y sensoriales del sedimento.

2. **C2:**

- Se sitúa en el extremo exterior de la AZE, es decir, en el límite donde se espera que los efectos del cultivo sean mínimos o nulos.
- Su objetivo es evaluar si el impacto del cultivo se extiende más allá de los límites permitidos.

3. **C3, C4, C5 y C6 (opcional):**

- Se ubican entre C1 y C2, con distancias progresivas según la biomasa del centro de cultivo.
- Su propósito es mapear la dispersión del impacto ambiental, proporcionando información detallada sobre la transición de condiciones desde la FZ hasta áreas más alejadas.

Un esquema de referencia de la distribución de los sitios de muestreo se presenta en la **Figura 22**, mostrando la progresión desde el centro del cultivo hasta la periferia del área evaluada.

- **Importancia del Monitoreo C.**

El Monitoreo C permite una evaluación más precisa del impacto ambiental a largo plazo, asegurando que los efectos de la actividad acuícola no se extiendan más allá de lo permitido y proporcionando datos clave para la gestión sostenible de los centros de cultivo.

Tabla 18. Resumen de la distancia máxima y la cantidad de estaciones en el muestreo C según la biomasa del cultivo. Fuente: Environment Protection Authority (2022).

MAB at the farming location (tonnes)	Recommended distance from cage edge to the outermost AZE monitoring station (metres)	Recommended number of monitoring stations for AZE
≤ 1999	300	3
2000 to 3599	400	4
3600 to 5999	500	5
≥ 6000	500	6

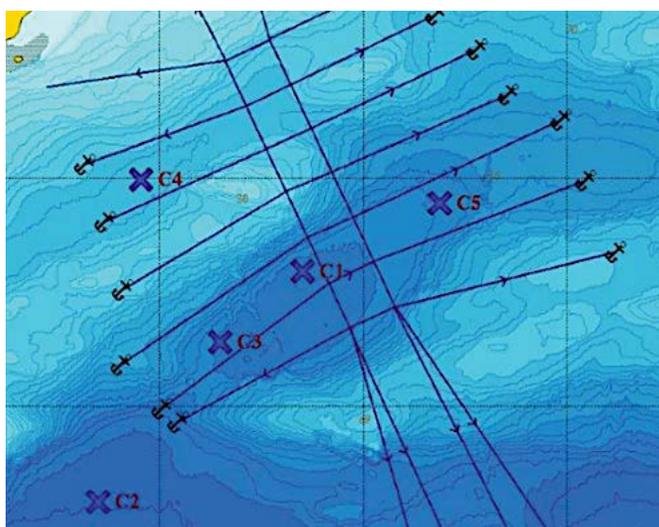


Figura 22. Mapa ejemplo de la ubicación de las estaciones en un muestreo C, extraído de la norma noruega (NS 9410:2016).

- **Variables de Evaluación en el Monitoreo C en Noruega.**

El Monitoreo C en Noruega incluye una serie de variables fisicoquímicas y biológicas para evaluar el impacto ambiental en las áreas circundantes a los centros de cultivo. Estas variables permiten determinar la calidad del ecosistema y garantizar que la actividad acuícola no supere los límites de impacto permitidos.



Variables Medidas en el Monitoreo C

1. Macrofauna bentónica:

- Es el principal criterio de evaluación en la toma de decisiones regulatorias.
- Se analiza únicamente en la estación **C1** (colindante con la Zona de Producción, FZ).
- Los límites para este parámetro se presentan en la **Tabla 21**.

2. Perfil hidrológico:

- **Salinidad, temperatura y oxígeno disuelto** a lo largo de la columna de agua.
- Estos parámetros ayudan a interpretar la dinámica de los procesos de sedimentación y remineralización.

3. Composición química del sedimento:

- **Materia orgánica total (MOT)**
- **Carbono orgánico total (COT)**
- **Nitrógeno total (NT)**
- **Cobre (Cu)** en la estación más cercana al centro de cultivo, ya que este metal se usa en algunas pinturas antifouling y puede acumularse en el sedimento.

4. Variables opcionales (a petición de las autoridades):

- **Fósforo total (PT)**
- **Zinc (Zn)**
- **Trazas de ácidos grasos**
- **Isótopos estables** para evaluar fuentes de materia orgánica y su impacto en la red trófica.

Criterios de Evaluación y Uso de Variables

- Solo la macrofauna es utilizada como criterio determinante en la toma de decisiones regulatorias y únicamente en la estación C1.
- El resto de las estaciones (C2, C3, C4, etc.) se evalúan de acuerdo con los estándares nacionales vigentes.
- Las variables químicas e hidrológicas no son utilizadas como criterios de decisión, pero deben ser informadas y respaldan las evaluaciones ambientales.
- Las autoridades pueden considerar estos valores en evaluaciones complementarias, según sea necesario.

Los valores estándar y los límites de aceptabilidad para cada una de estas variables se encuentran detallados en las **Tablas 19, 20 y 21**.

Tabla 19. Estados de condición según la infauna encontrada para el sitio C1, extraído de Environment Protection Authority, 2022.

Environmental condition	Requirements
1 - Very good	≥ 20 species of macrofauna (> 1 mm) excluding nematodes in a sample area of 0.2 m ² . None of the species should dominate more than 65% of the total abundance.
2 - Good	5-19 species of macrofauna (> 1 mm) excluding nematodes in a sample area of 0.2 m ² . > 20 individuals excluding nematodes in a sample area of 0.2 m ² . None of the species should dominate more than 90% of the total abundance.
3 - Poor	1 to 4 species of macrofauna (> 1 mm) excluding nematodes in a sample area of 0.2 m ² .
4 - Very poor	No macrofauna (> 1 mm) excluding nematodes in a sample area of 0.2 m ² .

Tabla 20. Resumen de categorías de condición según distintos índices de infauna, estos son valores guía para la evaluación de todos los sectores menos C1 en el muestreo C, extraído de Environment Protection Authority, 2022.

Index	Environmental 'condition categories'				
	I	II	III	IV	V
	Very good	Good	Moderate	Poor	Very Poor
NQII	0.82 - 0.90	0.63 - 0.82	0.49 - 0.63	0.31 - 0.49	0 - 0.31
H'	4.8 - 5.7	3.0 - 4.8	1.9 - 3.0	0.9 - 1.9	0 - 0.9
ES ₁₀₀	34 - 50	17 - 34	10 - 17	5 - 10	0 - 5
ISI	9.6 - 13	7.5 - 9.6	6.2 - 7.5	4.5 - 6.1	0 - 4.5
NSI	25 - 31	20 - 25	15 - 20	10 - 15	0 - 10
nEQR	0.8	0.6	0.4	0.2	0

Note: NQII – Norwegian quality index; H' – Shannon-Wiener index; ES₁₀₀ – Hulberts diversity index; ISI – Indicator species index; NSI – Norwegian sensitivity index; nEQR – total fauna index

Tabla 21. Resumen de categorías de condición según variables de agua y sedimento para guiar la decisión en el muestreo C, extraído de Environment Protection Authority, 2022.

Source	Parameter	Unit of measure	Environmental 'condition categories'				
			I	II	III	IV	V
			Very good	Good	Moderate	Poor	Very poor
Deep water	O ₂ concentration	mg O ₂ /L	> 6.39	6.39-4.97	4.97-3.55	3.55-2.13	< 2.13
	O ₂ saturation	%	> 65	65-50	50-35	35-20	< 20
Sediment	TOC	mg/g	< 20	20-27	27-34	34-41	> 41
	Copper	mg/kg	< 20	20-84	20-84	85-147	> 147
	Zinc	mg/kg	0-90	91-139	140-750	751-6690	> 6690

Si alguna de las estaciones presenta una condición moderada o peor, se deben realizar estudios adicionales fuera del margen de la Zona de Aceptación de Efectos (AZE) para determinar si el impacto ambiental es consecuencia directa del centro de cultivo o responde a condiciones naturales del sitio. Además, se deberán llevar a cabo análisis complementarios y aumentar la frecuencia del monitoreo a cada segundo ciclo productivo. Toda la información recopilada deberá presentarse en un informe detallado, el cual será evaluado por las autoridades competentes para definir las medidas a implementar, que pueden incluir desde la aplicación de estrategias de mitigación hasta la restricción o suspensión temporal de la actividad acuícola.



Responsables del monitoreo y de los costos

En Noruega, según la Norma Noruega para el Monitoreo Ambiental de Granjas Marinas de Peces (NS 9410), la empresa acuícola (el operador de la piscifactoría) es responsable del monitoreo ambiental (Government of Norway, 2016).

Los monitoreos son realizados por terceros autorizados y costeados por los operarios, cada provincia tiene profesionales aprobados para estas funciones. La fiscalización la realiza The Norwegian Food Safety Authority (Mattilsynet) y Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet) revisan los informes y pueden realizar auditorías aleatorias y muestreos de verificación para comparar los datos de los operadores con datos independientes.

Miljødirektoratet proporcionan mapas interactivos con el estado ambiental, recuentos de piojo y datos de vertido.

Consecuencias del incumplimiento en el monitorio

Ante incumplimientos en el monitorio las sanciones van desde Multas o pérdida de capacidad de producción en el marco del sistema de semáforo (Trafikklyssystemet), seguimiento regulatorio y reducción coercitiva de biomasa permitida. El incumplimiento puede influir en la futura asignación de licencias.

Respecto al deterioro ambiental las infracciones graves pueden dar lugar a sanciones, suspensión de licencias o prohibiciones a operadores o consultores. La frecuencia de monitoreo está determinada por el sistema MOM (Modelado-Engorde de piscifactorías-Monitoreo) según la norma NS 9410.

Si se identifican problemas ambientales, el gobernador del condado puede ordenar acciones correctivas, imponer restricciones o, en casos graves, revocar licencias

Ante el empeoramiento de las condiciones ambientales (condiciones 2-3) identificadas mediante la encuesta de monitoreo B la medida de gestión habitual consiste en aumentar la frecuencia del monitoreo. Cuando las condiciones ambientales se mantienen en malas condiciones, se modifican los planes de producción antes del siguiente ciclo de producción. Si las condiciones ambientales se encuentran en el Nivel 4 (es decir, (muy deficiente), la respuesta de la administración es no permitir la repoblación hasta que las condiciones ambientales alcancen el Nivel 3 (es decir, deficientes), y los planes de producción deben modificarse para reducir los impactos ambientales. Si durante ciclos de producción sucesivos los estudios ambientales continúan mostrando condiciones ambientales inaceptables, la Dirección de Pesca, en consulta con el departamento ambiental del gobernador del condado, puede decidir dismantelar el sitio. Para el monitoreo de Tendencia-C, si los estudios ambientales identifican condiciones deficientes a escala AZE, se requiere un monitoreo intensivo adicional del fondo marino para identificar la atribución.

De ~500 investigaciones anuales de la carga orgánica local bajo las piscifactorías, solo el 2% de ellas mostró condiciones inaceptables en 2013. El riesgo de eutrofización y carga orgánica más allá del área de producción de la piscifactoría se considera bajo (Lasse Taranger et al., 2015).



Muestras de referencia

En Noruega, los estudios de referencia son obligatorios antes del establecimiento de una instalación de acuicultura dentro de un contrato de arrendamiento. Área (NS-9410:2016). Se realizan estudios de referencia tanto en la Zona Agrícola como en la Zona de Producción Agropecuaria (AZE).

Estas estaciones deben ubicarse al menos a 1 km de la granja, en una zona con un tipo y estado de fondo similar al área cubierta por el estudio de referencia (NS-9410:2016). Las estaciones de referencia se utilizan para evaluar si la AZE se ve significativamente afectada por la actividad de acuicultura marina. Los estudios de referencia también pueden incluir el mapeo de valores naturales (es decir, el mapeo de la zona litoral) y el mapeo de hábitats sensibles o vulnerables mediante vehículos operados a distancia o videograbación remolcada (NS-9410:2016). Se solicita Una evaluación de Impacto Ambiental para fincas nuevas o ampliadas, especialmente en zonas sensibles o de alto riesgo, mediciones de corriente, perfiles de profundidad y estudios de línea base bentónica y modelado hidrodinámico de la dispersión de residuos y propagación de piojos.

Monitoreo Ambiental en Escocia.

- **Legislación:** Performance standard macs-ffa-ps-01; Aquaculture modelling.
- **Cita:** SEPA (2019) Baseline survey & seabed and water quality monitoring plan design. Interim Performance Standard MACS-FFA-01, Version 1; SEPA (2019C) Regulatory modelling process and reporting guidance for the aquaculture sector. Versión 1.
- **Página Web:** [SEPA/ESCOCIA](#)
- **Acceso legislación:** Abierto

La regulación ambiental en Escocia otorga una gran importancia a la evaluación previa del estado ecológico de sus cuerpos de agua antes de autorizar cualquier actividad productiva en ellos. Este proceso tiene como objetivo determinar la salud ecológica de las masas de agua en términos de biodiversidad, fauna y flora acuática, conforme a lo establecido en el Environmental Protection. The Scotland River Basin District (Standards) Directions 2014. La evaluación es exhaustiva e incluye el análisis de invertebrados bentónicos, fauna íctica, macrófitos acuáticos y fitobentos, además del cálculo de la ratio de calidad ecológica. Para ello, se emplean normativas complementarias basadas en estándares del Reino Unido, ya que The Crown Estate administra el fondo marino hasta las 12 millas náuticas desde la costa y regula cualquier actividad productiva en estas aguas. Entre las normas que rigen la evaluación ambiental de los cuerpos de agua se encuentran: River Assessment Method (Benthic Invertebrate Fauna), Fisheries Classification Scheme 2 (FCS2), UKTAG River Assessment Method (Macrophytes and Phytobenthos), y Lake Acidification Macroinvertebrate, entre otras.

La Scottish Environment Protection Agency (SEPA) es la entidad encargada de gestionar el monitoreo ambiental en el país. En el sector acuícola, Escocia ha implementado un sistema de monitoreo autónomo, en el que los propios operadores de los centros de cultivo realizan sus evaluaciones ambientales. Para garantizar la fiabilidad de estos datos, los operadores deben seguir manuales técnicos desarrollados por Measurement Assurance and Certification Scotland (MACS) y obtener su certificación. Solo después de ser validados por esta entidad, los datos pueden ser utilizados por SEPA en sus procesos de regulación y toma de decisiones.

Desde 2019, Escocia ha trabajado en la reestructuración de su sistema de evaluación ambiental con el objetivo de hacerlo más precautorio con el medio ambiente, eficiente en costos y ágil en los procesos de evaluación. Actualmente, conviven metodologías antiguas con nuevas estrategias en proceso de implementación, lo que busca una transición progresiva hacia un sistema más efectivo.

En cuanto a la regulación de la producción acuícola, Escocia emplea un sistema de capacidad de carga para determinar la biomasa máxima permitida (MAB) en cada sitio. Este cálculo se basa en datos obtenidos mediante mediciones directas y modelos predictivos, utilizando herramientas como AutoDEPOMOD. Los detalles del trabajo de modelación se encuentran en el documento *Scottish Executive Locational Guidelines for Fish Farming: Predicted Levels of Nutrient Enhancement and Benthic Impact*. Asimismo, el listado de MAB autorizado para cada sitio es de acceso público y está disponible en la página web de SEPA bajo el título *Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters*, con actualizaciones periódicas, incluyendo la versión de 2024.

Tabla 22. Tabla extraída desde “Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters”, categorías según el índice de impacto bentico.

Combined nutrient enhancement and benthic indices	Category
7 - 10	1
5 - 6	2
0 - 4	3

Tabla 23. Tabla extraída desde “Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters”. Ejemplo de MAB en sitios categoría 1.

Category 1 areas

Loch	Maximum biomass (tonnes)†	Total biomass (tonnes)‡	'Nutrient enhancement' index	'Benthic impact' index	'Combined' index
1 Loch Airdbhair (inc Loch na Droigniche)	375	375	3	4	7
2 Calbha Bay	1080	1080	4	3	7
3 Loch Meanervagh	433	433	4	4	8
4 Northra Voe	500	500	4	3	7
5 Sandsound Voe	5136	5136	4	3	7
6 Loch Sheilavaig	1211	2111	4	4	8
7 Stromness Voe	1650	1650	4	3	7
8 Vala Sound	3595	3595	4	3	7
9 Vidlin Voe	2846	2846	4	3	7
10 Weisdale Voe	3952	3952	4	3	7

† Biomass as consented by SEPA at time of modelling, taking into consideration grouped and rotational sites.

‡ Biomass as consented by SEPA at the time of modelling on a site by site basis.

El objetivo de este enfoque regulatorio es establecer un estándar ambiental que garantice la protección del ecosistema de base, de manera que el monitoreo posterior se enfoque en asegurar que las condiciones ambientales se mantengan en un estado óptimo. Para la instalación de una nueva concesión o la expansión de la biomasa en un centro de cultivo existente, los operadores

deben demostrar que dicho aumento no generará impactos negativos en la fauna bentónica. Esto se evalúa a través de un análisis preliminar de las características del fondo marino y su biodiversidad, además de comprobar que el Área de Efecto Permitido (AZE) no supere los límites establecidos.

En cuanto a los monitoreos regulares, en 2019 se introdujeron en el marco regulatorio las "Depositional Zone Rules", las cuales establecen las normas que deben seguir las piscifactorías en relación con la extensión de su huella de sedimentación. Según estas reglas, el AZE no puede superar los 100 metros en todas las direcciones alrededor del centro de cultivo. Sin embargo, si los operadores pueden justificar mediante estudios hidrodinámicos que las corrientes desplazan la huella de sedimentación de manera asimétrica, pueden solicitar un ajuste en su forma, siempre y cuando el área total del AZE no exceda la superficie equivalente a un radio de 100 metros en todas las direcciones. A pesar de este margen máximo, cada centro debe presentar, mediante modelos predictivos, una estimación de su AZE. Si el modelo indica que su impacto es menor a los 100 metros, este valor debe respetarse en los monitoreos ambientales posteriores. Los detalles metodológicos para la determinación de las AZE y su cumplimiento pueden revisarse en el documento "Seabed Mixing Zone Limit: Compliance Assessment Methodology" (2022).

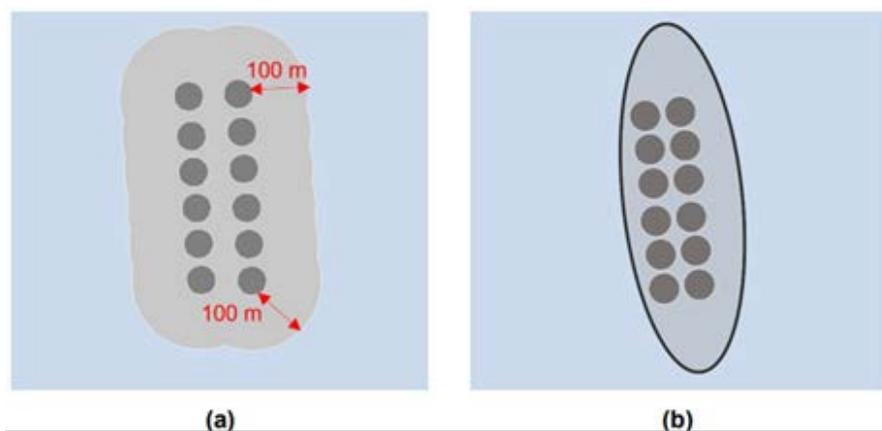


Figura 23. Representa las dos posibilidades de margen AZE, en la cual en (a) hay una distancia equidistante de 100m desde el borde de la balsa jaula hasta el fin de la AZE, y en (b) una forma desviada, que debe mantener la equivalencia en área que a). Imágenes extraídas desde: "Seabed mixing zone limit: Compliance assessment methodology".

Los monitoreos se realizan en cada ciclo productivo, durante el período en el que se espera el mayor impacto del arrendamiento. Este período puede variar según las características del sitio, pero en un ciclo normal corresponde a la fase en la que la biomasa se ha reducido en un 75%. Si los monitoreos han mostrado resultados consistentemente positivos durante varios períodos, es posible solicitar una reducción en la frecuencia de las evaluaciones. En cambio, si los resultados son negativos, SEPA puede requerir un aumento en la frecuencia del monitoreo en coordinación con el operador. Para la ejecución de los monitoreos, se establecen cuatro transectos que parten desde los bordes del corral y deben extenderse al menos 50 metros más allá del Área de Efecto Permitido (AZE), o un mínimo de 150 metros desde los límites del corral. A lo largo de estos transectos, se deben establecer un mínimo de siete estaciones de muestreo, con una separación mínima de 10 metros entre ellas.

Los principales indicadores evaluados incluyen la presencia de invertebrados bentónicos, residuos químicos, análisis del tamaño de partículas y carbono orgánico total. En cuanto a los invertebrados bentónicos y residuos químicos, los límites de aceptabilidad están definidos y pueden consultarse

en la tabla correspondiente. Sin embargo, para el tamaño de partículas y el carbono orgánico total, no existen criterios preestablecidos. En estos casos, SEPA se reserva el derecho de realizar una evaluación interna de los datos para determinar la condición del sitio. Esto también aplica a sustratos duros, donde la evaluación visual es realizada conforme a los criterios internos de SEPA. Cada licencia evaluada recibe una de seis clasificaciones: Excelente, Buena, Cumple ampliamente, En riesgo, Deficiente y Muy deficiente. Los detalles específicos del proceso de monitoreo pueden consultarse en el documento “Seabed Environmental Standards Demonstrating Compliance: Guidance for Operators” de 2022.

Tabla 24. Límites para el monitoreo ambiental en Escocia, tabla realizada a partir de información de “Seabed environmental standards Demonstrating compliance: Guidance for operators”.

Lugar	Criterio	Método	Estándar
Limite AZE	Invertebrados bentónicos	Infaunal Quality index	<0,64 IQI
	Benzoato de Amamectina	ng/kg de peso seco	271 ng/kg
AZE	Invertebrados bentónicos	Poliquetos del grupo V AMBI 1; Ophrytrocha; Especies de Boudemos	>2 especies con una abundancia combinada de más de 1.000 individuos por m ²
	Benzoato de Amamectina	Ng/kg de peso seco	2720 ng/kg

Para nuevas concesiones, se requiere un proceso de modelado para determinar el Área de Efecto Permitido (AZE), además de una caracterización detallada del fondo marino dentro y alrededor del área concesionada. Este análisis debe incluir la identificación de hábitats o especies protegidas en la zona, una evaluación ambiental que considere los impactos preexistentes y cualquier posible riesgo en áreas colindantes. La evaluación inicial se realiza de manera visual mediante imágenes y cuadrículas que permiten identificar los hábitats potenciales presentes. Posteriormente, cada uno de estos hábitats debe ser muestreado y descrito de forma detallada, con un mínimo de cinco muestras representativas. En el caso de sedimentos blandos, se lleva a cabo un análisis de invertebrados bentónicos, el tamaño de partículas y el carbono orgánico total. Para fondos duros, se requiere una evaluación visual más detallada, así como consultas adicionales con SEPA.

Si durante la evaluación se detectan posibles sumideros o puntos críticos de deposición, es posible que se soliciten muestreos adicionales para evaluar su impacto. Los detalles específicos sobre el proceso de evaluación para nuevas concesiones pueden consultarse en el documento “Baseline Survey Design” (2022).

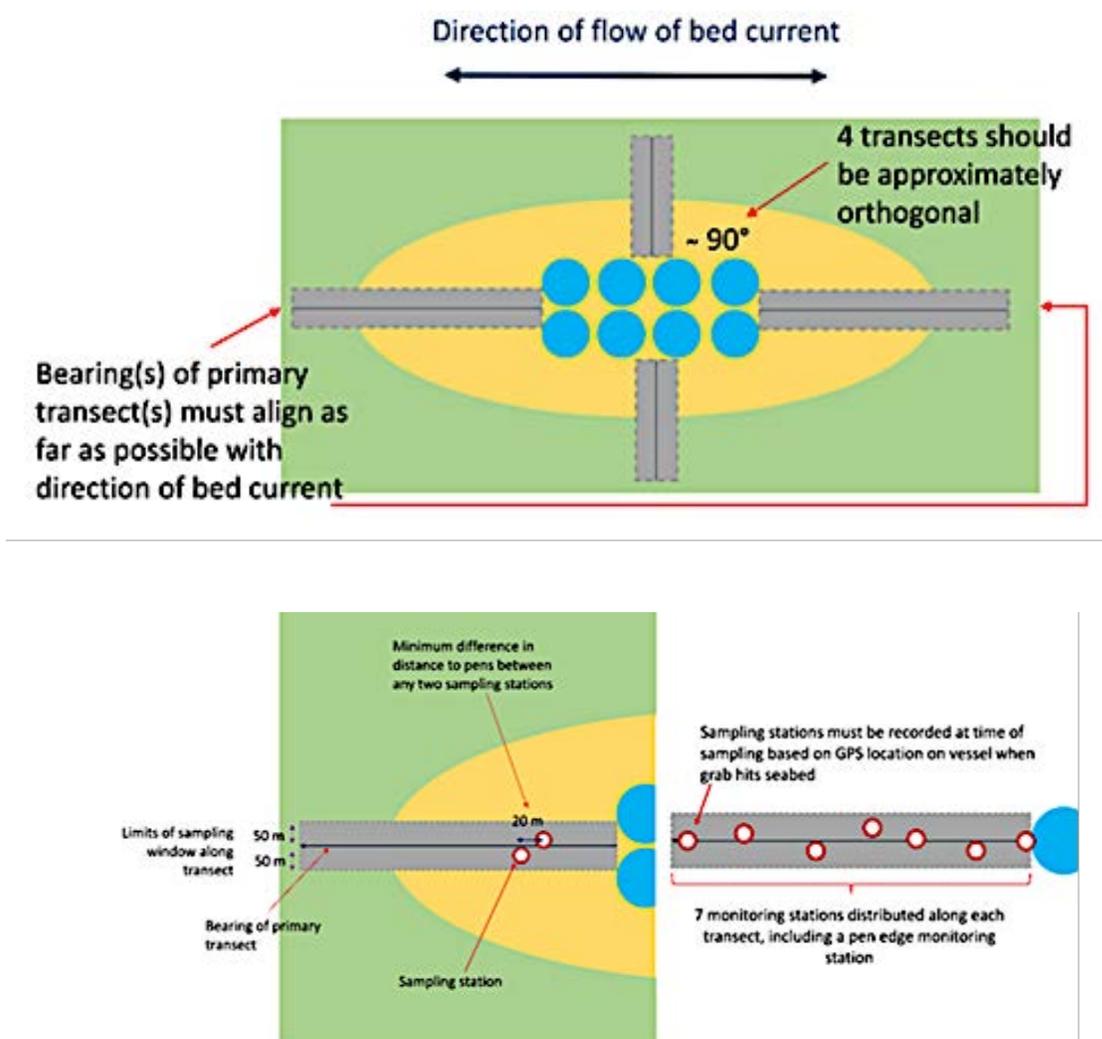


Figura 24. Patr3n de muestreo en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Escocia, se describen los 4 transectos, los puntos de muestreo y las distancias d3nde los c3rculos azules son las jaulas y el c3rculo amarillo en la AZE. Figura extra3da desde “Seabed environmental standards Demonstrating compliance: Guidance for operators”.

Responsables del monitoreo y de los costos

Los operadores deben demostrar el cumplimiento de estas normas ambientales mediante la realizaci3n de un seguimiento de los fondos marinos y la presentaci3n de informes sobre los resultados de dicho seguimiento (Scottish Environment Protection Agency, 2022).

Los monitoreos son realizados por los operadores o terceros autorizados y costeados por los operarios. La fiscalizaci3n la realiza Scottish Environment Protection Agency (SEPA), quienes pueden realizar auditor3as o controles aleatorios. SEPA mantiene un r3gimen de inspecci3n activo y puede realizar muestreos independientes para garantizar el cumplimiento de las normas ambientales.



SEPA tiene herramientas interactivas muestran los consentimientos de descarga, los niveles de biomasa y los resultados de la inspección.

Consecuencias del incumplimiento en el monitorio

Ante incumplimientos en el monitorio las sanciones monetarias fijas, avisos de cumplimiento o revocación de licencias de Controlled Activity Regulations (CAR).

Respecto al deterioro ambiental, se reforzará la actuación de SEPA implementará un programa de garantía de calidad que incluirá la auditoría de la recolección, el análisis y la presentación de informes sobre las muestras ambientales. Además, se auditará el desempeño ambiental a escala de corral y los efectos acumulativos en el medio ambiente en general. Entre las medidas están la reconfiguración de los límites de los permisos, la reducción del tamaño de la explotación o la presentación de un informe al fiscal.

En Escocia, se registraron dos tipos de incumplimientos ambientales (intensidad y extensión), y estos se gestionaron de forma diferente. En el caso de los incumplimientos de intensidad, esto significó que la biomasa de los peces de cultivo superó la capacidad de carga del entorno local cercano (es decir, fallo en el borde de la jaula). Un fallo a este nivel implica automáticamente una reducción de la biomasa y un monitoreo adicional. En el caso de un segundo fallo de intensidad en la misma ubicación, el peor escenario posible habría sido que se hubiera tomado una medida de gestión para suspender la licencia de cultivo hasta que las condiciones justificaran una mayor actividad en el contrato de arrendamiento.

En el caso de fallos de extensión, esto significó que se excedieron los desencadenantes ambientales establecidos en la extensión del AZE. Este tipo de fallo implicó automáticamente un monitoreo adicional, y es probable que las autoridades soliciten planes de mitigación. Sin embargo, fallos de extensión sucesivos resultaron en una medida de gestión de reducción de biomasa y el inicio de una auditoría ambiental, mientras que se esperaba que se realizara un monitoreo operativo adicional.

Muestreos de referencia

Los estudios de referencia deben caracterizar el lecho marino dentro y alrededor del área de impacto prevista de una granja, identificar cualquier hábitat o especie protegida dentro de esa área, proporcionar una evaluación del estado ambiental actual del fondo marino, incluidos los impactos existentes y abordar cualquier riesgo potencial identificado en el área más amplia.

Para nuevas ubicaciones, se requiere un estudio de referencia para inspeccionar el área que extiende la AZE en sus ejes mayor y menor en 50 m en todas las direcciones, o hasta una distancia de 150 m desde el borde del corral, la que sea mayor, y que encierra esta área extendida. Dentro del área de estudio identificada, se debe realizar una evaluación visual inicial del lecho marino antes de cualquier estudio de referencia detallado. Se debe aplicar una cuadrícula de muestreo a lo largo del área de estudio. El alcance de la evaluación debe ser suficiente para identificar los tipos generales de hábitat presentes en el área de estudio. Los datos de hábitat existentes, cuando estén disponibles, pueden utilizarse para determinar el espaciado de cuadrícula que se aplicará. Todos los datos visuales requieren georreferenciación.

Para los hábitats de sedimentos blandos identificados, se debe distribuir aleatoriamente un número suficiente de estaciones de monitoreo (mínimo 5) dentro de esa área. Para los hábitats de sedimentos blandos, se deben realizar muestreos aleatorios para mediciones de invertebrados bentónicos, análisis del tamaño de partículas y carbono orgánico total. Cuando las evaluaciones del



fondo marino hayan identificado áreas que no se pueden muestrear (por ejemplo, sustrato duro o características marinas prioritarias de valor para la conservación), estas áreas deben someterse a un estudio visual más detallado, cuyos requisitos se determinarán en consulta con SEPA. Para determinar la ubicación de las estaciones de monitoreo dentro de un hábitat, se debe aplicar un enfoque de muestreo semiprobabilístico. Si se ha utilizado previamente medicamentos en el alimento dentro del cuerpo de agua y el área más amplia donde se ubicará la granja propuesta, también se deben recolectar y analizar muestras de residuos químicos.

Además, cuando la batimetría local o los resultados de modelos identifican posibles sumideros o puntos críticos de deposición, puede requerirse un muestreo adicional fuera del área de estudio identificada.

Para la modificación de sitios existentes, los titulares de licencias deben realizar un estudio de referencia para evaluar la capacidad del entorno para adaptarse a una expansión o modificación. El diseño de este estudio puede determinarse utilizando datos de hábitat existentes.

Se exige un Informe de Evaluación de Impacto Ambiental Estudios bentónicos, modelado hidrodinámico, análisis del impacto de peces salvajes, impacto visual y consulta pública.

Monitoreo Ambiental en Irlanda.

- **Legislación:** Department of Agriculture, Fisheries and Foods Monitoring Protocol No. 1 for offshore finfish Farms.
- **Cita:** Department of agriculture, food and marine Ireland (2008) Monitoring Protocol No. 1 for Offshore Finfish Farms – Benthic Monitoring.
- **Página Web:** GOV/IRLANDA
- **Acceso legislación:** Abierto

En Irlanda, la evaluación ambiental de la acuicultura está a cargo del *Department of Agriculture, Fisheries and Food* (DAFF). La regulación establece límites de densidad para cada centro de cultivo, oscilando entre 10 y 20 kg/m³. Además, la evaluación ambiental varía en función de la biomasa total cultivada y las corrientes del sector, lo que permite una adaptación específica a las condiciones de cada sitio. Como miembro de la Unión Europea (UE), Irlanda ha incorporado un gran número de normativas comunitarias en su legislación acuícola, lo que ha contribuido al crecimiento y desarrollo sostenible del sector, con buenas perspectivas para el futuro (FAO, 2024).

El monitoreo bentónico se realiza anualmente y su alcance se define en función de la biomasa cultivada y la velocidad de las corrientes. Existen dos niveles de monitoreo, descritos en la **Tabla 25**:

- **Monitoreo Nivel 1:** Consiste en evaluaciones mediante video y muestreos aleatorios de carbono orgánico total y potencial redox del sedimento.
- **Monitoreo Nivel 2:** Incluye todos los parámetros del Nivel 1, con la adición de un análisis detallado de macrofauna bentónica, lo que permite una caracterización más precisa del impacto ambiental del centro de cultivo.

Tabla 25. Niveles de monitoreo en Irlanda según biomasa y velocidad de corriente, extraído de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.

	< 5 cm/sec	5-10 cm/sec	>10 cm/sec
0 – 499 tonnes	Level 1	Level 1	Level 1
500 – 999 tonnes	Level 2	Level 1	Level 1
> 1000 tonnes	Level 2	Level 2	Level 1

Los sectores de muestreo deben incluir al menos dos puntos bajo la jaula, en el borde de al menos dos jaulas, y dos transectos perpendiculares entre sí, con estaciones de muestreo ubicadas a 10, 20, 50 y 100 metros de distancia. Además, se debe establecer una estación de control situada a al menos 500 metros del centro de cultivo. Un esquema de esta distribución puede verse en la Figura 25. El monitoreo se lleva a cabo anualmente, durante el período de mayor biomasa. En un monitoreo regular, se realiza una evaluación visual que considera la acumulación de pellets, la presencia de mantos bacterianos, el potencial redox y el carbono orgánico total. Estos parámetros cuentan con diferentes rangos de aceptabilidad, dependiendo de si se encuentran dentro o fuera del Área de Efecto Permitido (AZE).

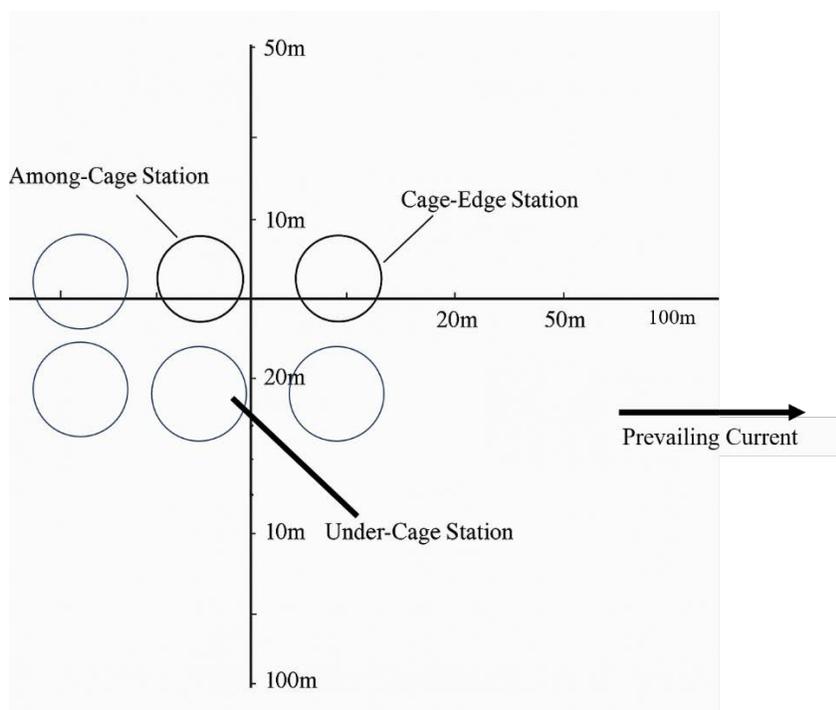


Figura 25. Disposición de los puntos de muestreo en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Irlanda. Extraído de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.

En el Monitoreo Nivel 2, además de los parámetros mencionados, se incorpora el análisis de macrofauna bentónica, utilizando índices específicos para su evaluación. La interpretación de los resultados queda a cargo del *Department of Agriculture, Fisheries and Food* (DAFF).

El AZE se define en conjunto con el operador, considerando el flujo de las corrientes, el tamaño de la concesión, y, en caso de estar disponible, el uso de modelaciones de dispersión de partículas para respaldar la delimitación del área de influencia del centro de cultivo.

Tabla 26. Criterios de aceptabilidad en el monitoreo ambiental de la acuicultura en Irlanda, tabla extraída de: “Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring”.

Criterio	Action levels within AZE*	Action levels outside AZE* to edge of sampling point
Visual observation	Accumulated feed pellets	Feed pellets present
Bacterial Mat	Extensive mats present (>50%) values lower than -150mV (as a depth average profile) or	Patches present
Redox	Values lower than – 125 mV (in Surface sediments 0 – 3cm)	Control values
Organic carbon	100% above control value (average within zone)	Control + 25% (averaged within zone)

Responsables del monitoreo y de los costos

Los operadores de granjas de peces y mariscos marinos son responsables de adherirse de coordinar el monitoreo de conformidad con el protocolo que se establece a continuación (Department of agriculture, Fisheries and Food, 2008).

Los monitoreos son realizados por terceros autorizados y costeados por los operarios. La fiscalización la realiza el Department of Agriculture, Food and the Marine (DAFM). Irlanda utiliza el sistema AQUAMONITOR para rastrear las condiciones ambientales. Las auditorías e inspecciones regulatorias son realizadas por múltiples organismos, El Instituto Marino realiza auditorías internas anualmente para cumplir con los requisitos de la norma ISO 17025, realizando aproximadamente 40 auditorías cada año.

Además, National Accreditation Board (INAB) y la National Standards Authority of Ireland (NSAI) realizan auditorías externas para mantener los estándares de acreditación.

Los datos resumidos y las evaluaciones están disponibles a través de los portales ambientales estatales.

Consecuencias del incumplimiento en el monitorio

Ante incumplimientos en el monitorio las sanciones van desde multas en virtud de la Ley de Pesca (Enmienda), pérdida de derechos de renovación o ampliación de licencia y en casos graves, los operadores pueden enfrentarse a procesos judiciales.

Respecto al deterioro ambiental se exige que los titulares de licencias de pesca de aleta presenten un Plan de Mejora Bentónica en un plazo de 30 días tras la notificación de un incumplimiento de los criterios de calidad de los sedimentos. El objetivo del Plan de Mejora Bentónica es alcanzar un nivel bentónico aceptable en la zona autorizada lo antes posible.



Los planes pueden incluir de control de residuos de alimento jaula por jaula, con seguimiento. Si las condiciones bentónicas no mejoran, se requerirán reducciones adicionales en el aporte de alimento hasta que un informe ambiental de seguimiento indique condiciones aceptables.

También puede incluirse el traslado de todas las jaulas de producción, junto con una reducción del 5 % en el tonelaje de producción durante el siguiente ciclo de producción. Cuando se trasladen las jaulas de producción, el área afectada del sitio reportado deberá continuar siendo monitoreada anualmente hasta que un informe ambiental posterior indique condiciones aceptables.

Además de estas condiciones, el DAFM se reserva el derecho de prescribir medidas correctivas específicas en cada caso particular a la luz del informe de seguimiento bentónico pertinente.

Muestreos de referencia

Se exige una Declaraciones de Impacto Ambiental conforme al Reglamento de Planificación y Desarrollo, una Evaluación Apropriada para sitios, datos bentónicos e hidrográficos de referencia.

4.1.5. Recopilación y Selección de Información en Bases de Datos Bibliográficas.

La evolución de la producción científica en el ámbito de la acuicultura ha experimentado un crecimiento sostenido en la última década, con un incremento particularmente notable en los últimos tres años. Este aumento se ha focalizado en estudios relacionados con la evaluación ambiental de la actividad acuícola y en el desarrollo de mecanismos y tecnologías que permitan mitigar su impacto. Esta tendencia sugiere una creciente preocupación por la sostenibilidad de la industria acuícola y la búsqueda de soluciones innovadoras para minimizar sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos.

El análisis de publicaciones por año revela un interés creciente en la sostenibilidad y la innovación tecnológica dentro del sector acuícola. La identificación de los autores más productivos en este campo muestra que un grupo reducido de investigadores es responsable de una cantidad significativa de las publicaciones, lo que evidencia su liderazgo y contribución al avance del conocimiento. Asimismo, se observa una tendencia hacia la interdisciplinariedad y la colaboración internacional, lo que sugiere que la investigación en acuicultura está adquiriendo un enfoque cada vez más global y multidisciplinario.

Entre los principales investigadores que han centrado sus estudios en la evaluación ambiental de la acuicultura destacan:

- **Dr. Rubén Esteban Avendaño Herrera**, Presidente del Comité Científico Técnico de Acuicultura Sanitario de SUBPESCA, cuyo trabajo se enfoca principalmente en la sanidad acuícola, con especial atención en el uso de antimicrobianos y el desarrollo de vacunas para la industria del salmón.
- **Dr. Cristian Gallardo Escárte**, Subdirector del Centro INCAR e Investigador Principal de la línea de "Genómica Acuícola", quien trabaja en biotecnología marina, salud y genómica aplicada a la acuicultura.

- **Dr. José Manuel Yáñez**, Decano de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, con investigaciones enfocadas en el mejoramiento genético aplicado a la industria salmonera.

Estos investigadores han generado aportes significativos en el desarrollo de estrategias de mitigación de impactos ambientales y en la implementación de tecnologías innovadoras para mejorar la sostenibilidad del sector acuícola. La combinación de enfoques sanitarios, biotecnológicos y genéticos en sus estudios permite abordar los desafíos ambientales de la acuicultura desde una perspectiva integral, promoviendo prácticas más responsables y eficientes dentro de la industria.

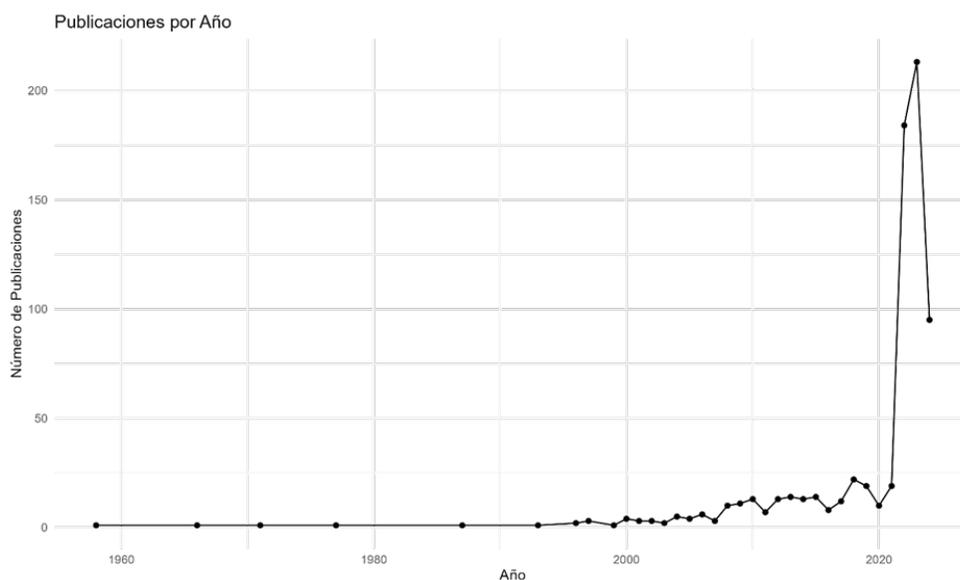


Figura 26. Número de publicaciones por años recopiladas y sistematizadas en ZOTERO.

Tendencias Emergentes en la Evaluación Ambiental de la Acuicultura

En la presente revisión bibliográfica, se han identificado varios temas emergentes a través del análisis de palabras clave y tendencias en los títulos de los artículos recopilados en Zotero. Entre los conceptos más destacados se encuentran la "acuicultura de precisión", la "biotecnología marina" y el "impacto del cambio climático en la acuicultura".

Estos temas reflejan la evolución de la industria acuícola hacia un enfoque más tecnológico, sostenible y resiliente frente a los desafíos ambientales. La acuicultura de precisión, por ejemplo, implica el uso de sensores, inteligencia artificial y modelos predictivos para optimizar la gestión de los cultivos acuícolas, reduciendo el desperdicio de recursos y minimizando el impacto ecológico. La biotecnología marina, por su parte, está permitiendo avances en la mejora genética, la sanidad acuícola y el desarrollo de materiales biodegradables para estructuras de cultivo. Finalmente, el impacto del cambio climático en la acuicultura está cobrando relevancia en la literatura, dada la necesidad de evaluar la resiliencia de las especies cultivadas ante cambios en la temperatura, la acidificación oceánica y la disponibilidad de oxígeno.

Zotero ha sido una herramienta clave para la identificación de estos temas emergentes, al permitir la sistematización y análisis de palabras clave dentro de la literatura científica revisada. A partir de esta información, se pueden definir futuras líneas de investigación y generar estrategias para la mejora de los modelos de evaluación ambiental en la acuicultura. Un ejemplo de este análisis temático se presenta en la **Figura 27**.

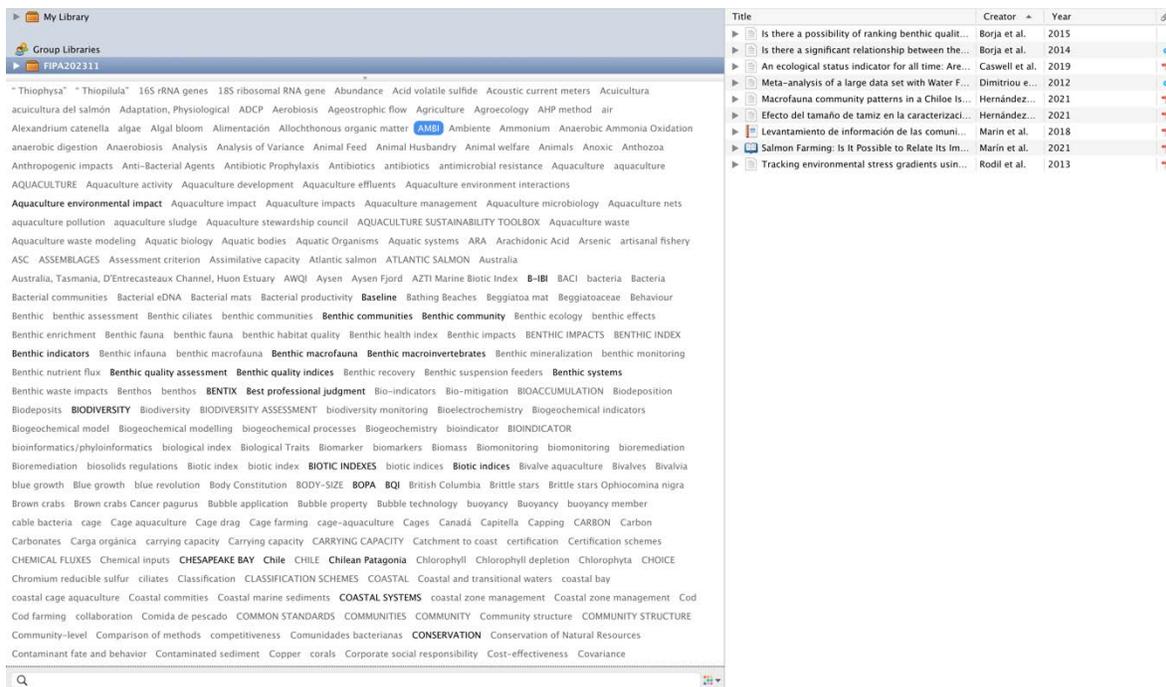


Figura 27. Interfaz de escritorio de Zotero, donde se visualiza parte de las palabras claves que pueden ser seleccionada para las búsquedas y clasificación de trabajos por temas de interés relacionada con este proyecto, por ejemplo: AMBI.

Análisis Temático mediante el Modelo LDA en la Evaluación Ambiental de la Acuicultura

El ajuste del modelo Latent Dirichlet Allocation (LDA) con cinco temas ha permitido identificar los términos más representativos dentro de la investigación en acuicultura. Los temas emergentes incluyen "Sostenibilidad Acuícola", "Gestión Sustentable", "Estado Ambiental", "Innovación Acuícola" y "Producción Limpia", proporcionando una visión estructurada de los principales enfoques de estudio en el área.

Dentro de este análisis, los resultados indican una alta probabilidad de ocurrencia en investigaciones relacionadas con áreas bentónicas en zonas de emplazamiento de la acuicultura, lo que resalta la relevancia de estudiar los efectos de los centros de cultivo sobre los ecosistemas del fondo marino. Asimismo, la capacidad de carga de los cuerpos de agua donde se desarrolla la acuicultura es un aspecto recurrente en la literatura, lo que indica una creciente preocupación por los límites ecológicos de las actividades acuícolas y la necesidad de modelos de monitoreo más precisos.

Además, el análisis ha identificado una fuerte presencia de estudios relacionados con índices bióticos, como el AMBI (AZTI Marine Biotic Índice), utilizado para evaluar el impacto ambiental en sedimentos marinos. Este índice se ha convertido en un estándar en varios países, lo que demuestra su utilidad para evaluar el estado de los fondos acuáticos afectados por la acuicultura.

En conjunto, estos resultados confirman que la investigación en acuicultura está avanzando hacia enfoques más sostenibles y basados en la ciencia de datos, integrando herramientas como modelamiento ambiental, monitoreo molecular y biotecnología aplicada. Un esquema detallado de estos hallazgos se presenta en la Figura 28.

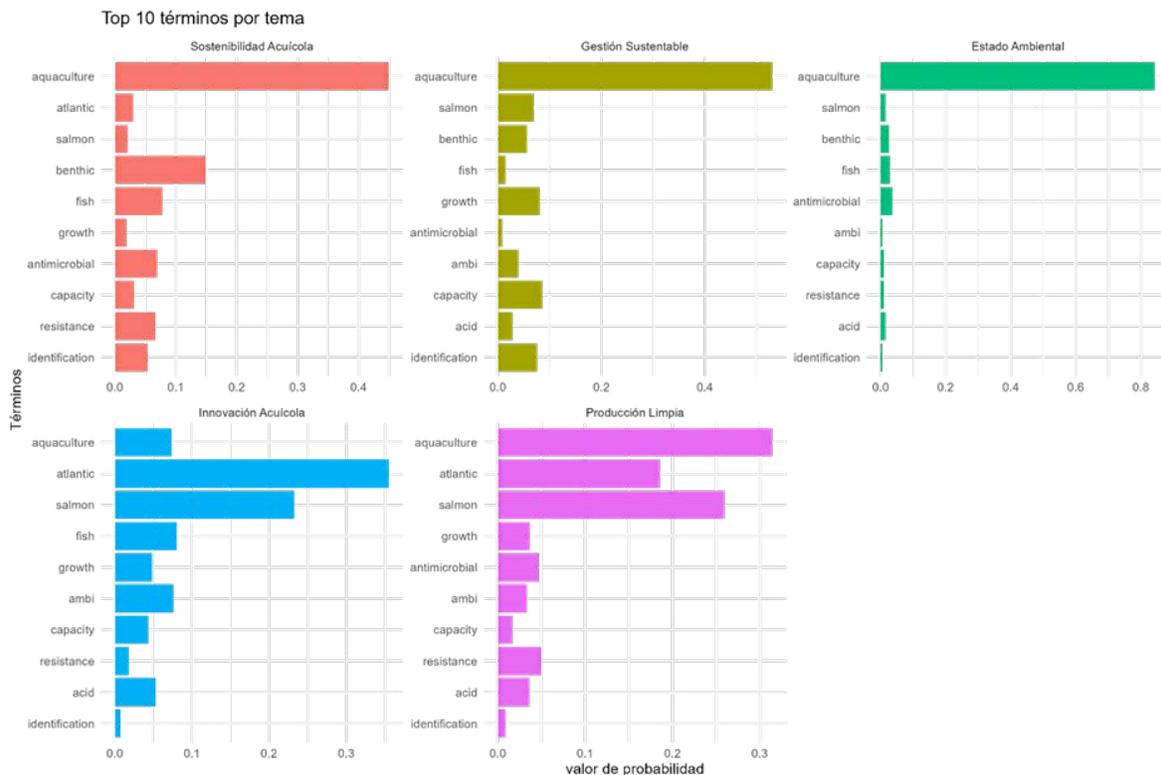


Figura 28. Temáticas recurrente en los términos claves seleccionados.

El análisis de correlación entre tópicos reveló una baja relación entre la innovación acuícola y otros temas clave en la evaluación ambiental de la acuicultura. El único concepto que mostró una relación positiva con la innovación fue la producción limpia. Sin embargo, los estudios sobre producción limpia han estado mayormente enfocados en el uso de antibióticos y el control de enfermedades, dejando de lado aspectos fundamentales relacionados con la sostenibilidad ambiental y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos. Este hallazgo evidencia una brecha en la investigación científica orientada al desarrollo de tecnologías o mecanismos que permitan reducir la sedimentación y la acumulación de materia orgánica en los fondos marinos cercanos a los centros de cultivo. La falta de estudios en esta área sugiere que la innovación tecnológica en la acuicultura ha priorizado mejoras en la eficiencia productiva y sanitaria, sin integrar plenamente estrategias para minimizar los impactos ambientales a largo plazo.

La correlaci3n m1s significativa se observ3 entre el estado ambiental y la sostenibilidad acu3cola, lo que indica que la mayor parte de la producci3n cient3fica ha estado dirigida al estudio de los efectos de la acuicultura en los ecosistemas, m1s que al desarrollo de soluciones para mitigarlos. Asimismo, la fuerte relaci3n entre producci3n limpia e innovaci3n sugiere que los esfuerzos tecnol3gicos han estado enfocados en mejorar las pr1cticas sanitarias de los cultivos, en lugar de abordar integralmente la reducci3n del impacto ambiental.

Este an1lisis bibliom3trico, basado en m1s de 100 publicaciones desde 1950 hasta la actualidad, permiti3 clasificar e identificar estudios cient3ficos que han sido utilizados para cumplir con los objetivos del presente proyecto. La revisi3n de estos trabajos proporciona una base de conocimiento que puede orientar futuras investigaciones hacia la implementaci3n de tecnolog3as innovadoras y estrategias de gesti3n ambiental m1s sostenibles en la acuicultura.

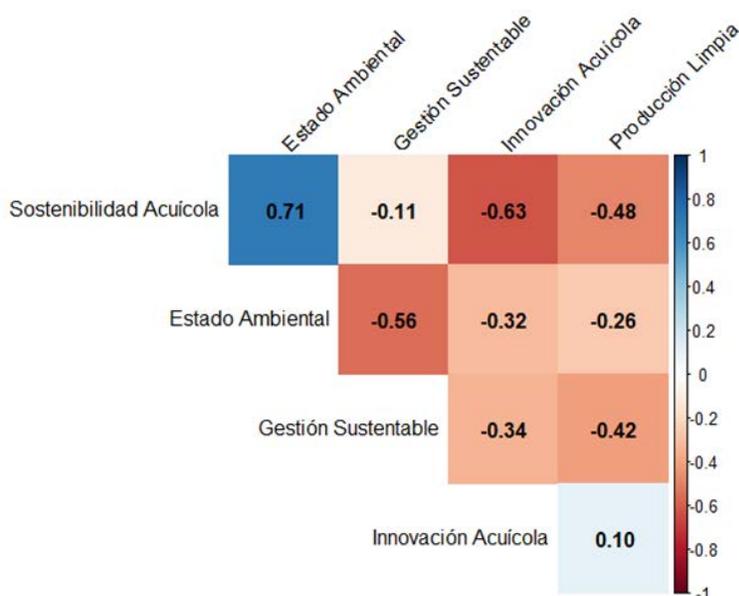


Figura 29. An1lisis correlaci3n entre los t3rminos "Sostenibilidad Acu3cola", "Gesti3n Sustentable", "Estado Ambiental", "Innovaci3n Acu3cola" y "Producci3n Limpia".

4.2. Resultados objetivo 2 (OE2): Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.

El presente objetivo consiste en evaluar la información actualizada a nivel nacional e internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo. Chile ha presentado un gran avance en la prueba e implementación de tecnologías enfocadas principalmente en la remediación de fondos marinos. Lo anterior, ha sido promovido por la publicación de la Ley N° 21.410 el 27 de enero de 2022, que modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura, con el objeto de exigir a los titulares de concesiones de acuicultura medidas para evitar o reducir el depósito de desechos orgánicos de prueba de lo señalado, siendo el único país en considerar esta problemática ambiental en su normativa acuícola. De acuerdo a lo anterior, mediante Resolución Exenta N°1141/2022 de 2 de junio de 2022, se autorizó a las empresas acuícolas la aplicación de mecanismo físicos para tal propósito. No obstante, el desarrollo de este estudio se ha enfocado principalmente en las tecnologías que ayudan a prevenir o mitigar la sedimentación y con ello, el enriquecimiento orgánico de los fondos asociados a la acuicultura.

4.2.1. Recopilación y selección de información sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.

Se realizó una investigación y recopilación de información de los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación de materia orgánica en centros de cultivo a nivel nacional e internacional, mediante búsqueda bibliográfica, asistencia a talleres o conferencias de innovación acuícola y a entrevistas con empresas prestadoras de servicios de tecnología acuícola de la zona y el extranjero, entre otros medios.

Los resultados de la recopilación de información a nivel nacional e internacional, dan cuenta de la existencia de tres categorías principales de mecanismos que pueden contribuir a la disminución de la sedimentación y la acumulación de materia orgánica:

- **Mecanismos físicos:** Estos incluyen técnicas de diseño y manejo del espacio acuático, como el uso de jaulas sumergibles y sistemas de corriente controlados, que pueden mejorar la circulación del agua y facilitar la dispersión de sedimentos, entre otras técnicas.
- **Mecanismos Biológicos:** Involucran la introducción de organismos que pueden contribuir a la degradación de la materia orgánica, como ciertos tipos de bacterias y microorganismos, así como el uso de especies filtradoras que ayudan a mantener la calidad del agua.
- **Mecanismos Químicos:** Se refiere a la aplicación de aditivos químicos que pueden alterar las propiedades de los sedimentos, promoviendo su división o su aglutinación para facilitar su remoción.

Sistemas mecánicos o físicos autorizados en la legislación chilena

Antes de profundizar en los mecanismos con un enfoque preventivo, se detallan los mecanismos físicos autorizados en Chile para ser aplicados por las empresas acuícolas, mediante Resolución Exenta N°1141/2022 de 2 de junio de 2022. La finalidad del uso de estos sistemas mecánicos autorizados es sobresaturar de oxígeno la capa más profunda de la columna de agua (primer metro desde el fondo); y con esto proporcionar un ambiente favorable para la colonización de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica, logrando un equilibrio ecológico en el fondo que facilite su recuperación, desplazando a los microorganismos anaeróbicos para mantener o recuperar un estado aeróbico. Los titulares de concesiones de acuicultura quedarán facultados para el uso de los siguientes mecanismos físicos, además se fijan los requisitos y condiciones para su uso y operación en conformidad al artículo 8° bis del RAMA. Los mecanismos físicos autorizados se detallan a continuación:

- Sistema de aplicación de nanoburbujas:** mecanismo por el cual se inyecta agua de mar enriquecida con oxígeno mediante nanoburbujas cuyo diámetro es inferior a 200 nm (**Figura 30**). Las nanoburbujas corresponden a un gas encapsulado, diminuto, invisible al ojo humano, lo cual genera que las propiedades físicas de los gases cambien de lo tradicional, otorgando propiedades que permiten usarse en diversos campos. Las nanoburbujas se caracterizan por: alta solubilidad de gas contenido, gran área interfacial de contacto, alta eficiencia en la transferencia de masa (Potencial Z), larga vida media del gas en el medio receptor, lenta difusión gaseosa, naturaleza hidrofílica y boyantes despreciable.



Figura 30. Relación de tamaño entre nanoburbujas (NB), microburbujas (MB) y otras burbujas. (1000 nm=1 µm; 1000 µm=1mm) según definición de Moleaer Inc.

- Sistema de aplicación de microburbujas:** mecanismo de aplicación y disolución de oxígeno en la primera capa acuosa que se encuentra en contacto con el fondo marino, mediante la inyección de microburbujas cuyo diámetro varía entre 200 y 100.000 nm. El objetivo de este sistema es sobresaturar de oxígeno esta capa y con esto proporcionar un ambiente propicio para la colonización de microorganismos y de organismos capaces de degradar la materia orgánica y proporcionar un equilibrio ecológico en el fondo para facilitar su recuperación, desplazando a los microorganismos anaeróbicos y con esto mantener o recuperar un estado aeróbico.
- Sistema de inyección de agua de mar rica en oxígeno:** mecanismo que permite la succión de agua de mar a la cual puede o no adicionarse oxígeno, para su posterior disposición en



el fondo marino, permitiendo que el oxígeno disuelto en ella se difunda en el sedimento, al romper la primera capa y lograr una aireaci3n forzada del sedimento, dando como resultado la oxidaci3n del material orgánico existente en el área de sedimentaci3n.

La resoluci3n establece, en su numeral dos, los mecanismos o sistemas físicos autorizados para ser aplicados en las concesiones de acuicultura que los requieran. Mientras que en el numeral seis se indica que "el titular de una concesión de acuicultura podrá requerir el servicio de aplicaci3n de algunos de los mecanismos físicos autorizados, que sean realizados por aquellas personas naturales o jurídicas, prestadoras de dichos servicios, cuyas metodologías de aplicaci3n hayan sido presentadas y aprobadas por dicha Subsecretaría".

De acuerdo, a lo publicado en el sitio oficial de Subpesca (<https://www.subpesca.cl/portal/619/w3-article-112488.html>) los mecanismos físicos a noviembre de 2024 autorizados a nivel nacional son realizados por diez prestadores de servicios, de los cuales 6 utilizan nanoburbujas como mecanismo de remediaci3n, 3 inyecci3n de agua de mar rica en oxígeno y sólo uno implementa el mecanismo de microburbujas (**Tabla 27**).

Tabla 27. Listado de empresas productoras de salm3n que han incorporado mecanismos físicos de remediaci3n de fondo (extraído de los Informes Finales asociados a la res. Ex 1141/2022. PD= Pendiente, NA= No aplica, NT= No termina.

LISTADO DE PRESTADORES DE SERVICIOS DE MECANISMOS FÍSICOS AUTORIZADOS SEGÚN R. Ex. N° 1141/22						Actualizado: 18/11/2024
Empresa	RUT	Teléfono	Correo electrónico	Contacto	Mecanismo físico autorizado	Incorporaci3n
Austral Plus SpA.	77.465.252-3	(56) 9 3 950 7476 (56) 9 4 217 6010	julloa@australplus.com	Javier Ulloa Alvarado	Nanoburbujas	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Chucao Technology Consultants SpA	76.860.885-7	(56) 9 42482810	jppuga@chucaotech.com	José Pablo Puga	Nanoburbujas	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
DVS Tecnología S.A.	76.666.630-2	(56) 9 9872 8069	dvega@dvstecnologia.cl	Daniel Vega Salinas	Inyecci3n de agua de mar rica en oxígeno	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Keepex SpA.	76.035.937-8	(56) 9 4 945 1451	info@keepex.cl jaurtenechea@keepex.cl	Joaquín Aurtenechea	Microburbujas	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Kran SpA	76.453.456-5	(56) 9 97303138	Mauricio.bueno@kran-nanobubble.com	Mauricio Bueno	Nanoburbujas	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Oxzo S.A.	99.675.630-2	(56) 9 4026 1594 (56) 9 9917 8981	thusak@oxzo.cl jmarcus@oxzo.cl	Thomas Husak John Marcus	Inyecci3n de agua de mar rica en oxígeno	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Plecos Ltda.	77.450.307-2	+(56) 9 56628602 / +(56) 9 7762 5109	patricio.torres@plecos.cl pablo.munoz@plecos.cl	Patricio Torres Díaz Pablo Muñoz Ortiz	Nanoburbujas	Mediante Carta (D.Ac.) N°2288-2024. Incorporado el 18-11-2024.
Tecnologías y Servicios Submarinos TekSub SpA	76.839.859-3	(56) 9 7210 8530	gdiaz@tek-sub.cl	Gonzalo Díaz Hernández	Nanoburbujas	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.
Tecnología Robótica Industrial Chile SpA.	76.426.088-0	(56) 9 6550 7434 (56) 65 2233994	mrivas@tri-chile.cl	Marcelo Rivas Ortiz	Nanoburbujas	Mediante Carta (D.Ac.) N°2077-2022. Incorporado el 26-09-2022.
Underdeep Solutions SpA.	77.110.509-2	(56) 9 58290081	dapparcel@underdeep.cl	David Apparcel Díaz	Inyecci3n de agua de mar rica en oxígeno	Por R.EX. N°1141-2022. Listado publicado el 13-06-2022.

Durante las reuniones sostenidas con la contraparte técnica de la Subpesca, se solicitó acceso a la informaci3n recabada por el servicio, de la cual se extrajeron los informes finales asociados a la res. Ex 1141/2022. Con dicha informaci3n se pudo conocer preliminarmente que 12 empresas productoras de salm3n han incorporado mecanismos físicos de remediaci3n de fondo de un total de 54 centros de cultivo (**ANEXO 6**). Además, se puede concluir que los 3 operadores de mecanismos físicos más utilizados han ido: Chucao Technology Consultants spa quien utilizó el mecanismo de

nanoburbujas en el 26% del total de centros (14), Under Deep solutions spa con inyección de agua de mar al 24% del total (13) y Kran Spa con sus nanoburbujas operó en el 26% de centros (14) (Tabla 28).

Tabla 28. Resumen de mecanismos físicos de remediación de fondo por centros de cultivo y empresa operadora de remediación.

Etiquetas de fila	Austral Plus SpA.	Chucoa Technology Consultants SpA.	DVS Tecnología S.A.	Keepex SpA.	Kran SpA.	OXZO S.A.	Tecnologías y servicios Submarinos Teksub SpA.	Trichile SpA.	Under Deep Solutions Spa.	Total general
<input type="checkbox"/> Aqua Chile S.A.				1	1		2			4
Microburbujas				1						1
Nanoburbujas					1		2			3
<input type="checkbox"/> Australis Mar S.A.			4						8	12
Inyección de agua de Mar rica en oxígeno			4						8	12
<input type="checkbox"/> Cermaq Chile S.A.		6			3					9
Nanoburbujas		5			3					8
Nanoburbujas		1								1
Cooke Aquaculture										
<input type="checkbox"/> Chile S.A.	3		1							4
Nanoburbujas	3									3
Nanoburbujas			1							1
<input type="checkbox"/> Marline Farm								1		1
Nanoburbujas								1		1
<input type="checkbox"/> Mowi Chile S.A.		1								1
Nanoburbujas		1								1
<input type="checkbox"/> Multi X S.A.		5							1	6
Inyección de agua de Mar rica en oxígeno									1	1
Nanoburbujas			5							5
<input type="checkbox"/> Nova Austral S.A.					4		1			5
Nanoburbujas					4		1			5
<input type="checkbox"/> Salmones Blumar S.A.					5					5
Nanoburbujas					5					5
<input type="checkbox"/> Salmones Camanchaca S.A.			1						4	5
Inyección de agua de Mar rica en oxígeno									4	4
Nanoburbujas			1							1
<input type="checkbox"/> Trusal S.A.						1				1
Inyección de agua de Mar rica en oxígeno						1				1
<input type="checkbox"/> Exp. Los Flordos Ltda.					1					1
Nanoburbujas					1					1
Total general	3	14	4	1	14	1	3	1	13	54

Los sistemas físicos autorizados, llevan poco tiempo de uso o implementación en la actividad acuícola nacional. Debido a ello hay escasa información sobre su eficiencia en la remediación de fondos asociados a la acuicultura. Un intento por evaluar estos mecanismos ha sido la realización del proyecto FONDEF IDEA 2024 ID24I10236 “Modelo para la evaluación e investigación de mecanismos de mitigación y remediación aplicados a ambientes marinos alterados por acuicultura”. Este proyecto es una iniciativa ejecutada por investigadores del Centro COPAS Coastal de la Universidad de Concepción, y financiada por la Agencia Nacional de Innovación y Desarrollo (ANID). El proyecto se enmarca en la reglamentación de la acuicultura en Chile, y busca aportar conocimiento para facilitar la aplicación de la normativa asociada a la Res. Ex. 1141-22 (SSPA) que “Autoriza los mecanismos físicos, destinados a modificar las condiciones de oxígeno del área de sedimentación y fija los requisitos y condiciones para su uso”. En enero reciente, realizaron en Puerto Montt, el taller denominado “Márgenes científicos de la recuperación de fondos marinos: aspectos oceanográficos y biogeoquímicos clave”, en donde se presentaron resultados preliminares.

INNAQUA (Conferencia de innovación acuícola).

Se han desarrollado actividades relacionadas a la innovación acuícola, herramienta fundamental en la tarea de consolidar una acuicultura competitiva y sostenible frente a los desafíos y oportunidades del futuro, como INNAQUA 2023. La asistencia a la segunda versión del encuentro internacional bienal, que dio inicio en 2021 y es organizado por el Club Innovación Acuícola de Chile, permitió recabar información relevante, y establecer contactos con empresas nacionales e internacionales que desarrollan tecnologías acuícolas.

El primer encuentro fue con la Dra. Lynne Falconer quien es investigadora en el Instituto de Acuicultura de la University of Stirling, Escocia, quién lidera un equipo de trabajo que investiga el impacto del cambio climático en la acuicultura y la identificación de posibles respuestas de adaptación. La Dra. Falconer está particularmente interesada en cómo se pueden usar las nuevas tecnologías para respaldar la toma de decisiones dentro del sector de la acuicultura. Por otro lado, se contactó al Dr. Lars Ebbesson, el cual forma parte del Centro de Investigación de Noruega (NORCE) en áreas de desarrollo de soluciones sostenibles y digitales en todos los ámbitos de producción acuícola. Su investigación durante los últimos 30 años ha cubierto variados aspectos de ciencia básica y aplicada relacionados con la biología de peces, principalmente salmón. Ha integrado la neurociencia, la endocrinología, la fisiología y el comportamiento para abordar el efecto del entorno sobre el desarrollo, la esmoltificación, el estrés, el bienestar, la robustez, el comportamiento y el apetito de los peces. A lo largo de los años, ha dirigido numerosos centros, redes y proyectos que reúnen a investigadores e industrias con un enfoque interdisciplinario para resolver los desafíos de la industria. Ambos investigadores dejaron una invitación abierta para visitar sus centros de investigación, y además de ofrecer todo el apoyo en la entrega de información relevante para el desarrollo del presente estudio.

Finalmente, durante este evento, se destacó la importancia de la colaboración para promover una acuicultura eficiente y sostenible, y dentro de los hitos más relevantes se estableció una alianza internacional de innovación en acuicultura mundial. Representantes de países como Chile, Perú, Ecuador, España, Brasil, México, Estados Unidos, Noruega y Escocia, entre otros, se unieron para firmar una Alianza Internacional de Innovación en Acuicultura. Esta tiene como objetivo principal compartir información relevante y promover la colaboración global en innovación en la industria acuícola. En el **Anexo 7** se detalla información de interés acerca de INNAQUA 2023, y en el **Anexo 8** se presenta el programa y la ficha de los conferencistas que asistieron.

Tabla 29. Empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas entrevistadas.

EMPRESA	PAÍS	TECNOLOGÍA	EXPLICACIÓN TECNOLOGÍA
KRAN SPA	Chile	Nanoburbujas	Nanoburbujas son inyectadas en el agua cerca del fondo marino. Mecanismo por el cual se inyecta agua de mar enriquecida con oxígeno mediante nanoburbujas cuyo diámetro es inferior a 200 nm.
DVS TECNOLOGÍA	Chile	Inyección de agua de mar rica en oxígeno	Mecanismo que permite la succión de agua de mar a la cual puede o no adicionarse oxígeno, para su posterior disposición en el fondo marino, permitiendo que el oxígeno disuelto en ella se difunda en el sedimento, al romper la primera capa y lograr una aireación forzada del sedimento, dando como resultado la oxidación del material orgánico existente en el área de sedimentación.
CASCO ANTIGUO	Chile	Monitoreo y control ambiental (sensores ambientales)	Tecnología submarina para la Industria Acuícola y latinoamericana. Ofrecen instrumentos para exploración submarina que permite mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la sostenibilidad de sus operaciones con

			tecnología submarina de vanguardia y fabricantes de todo el mundo.
CHUCAO TECH	Chile	Nanoburbujas	Nanoburbujas son inyectadas en el agua cerca del fondo marino. Mecanismo por el cual se inyecta agua de mar enriquecida con oxígeno mediante nanoburbujas cuyo diámetro es inferior a 200 nm.
MØRENOT A/S	Noruega	Sistemas de recolección de residuos	Sistemas avanzados para la recolección de residuos en la acuicultura de salmón, diseñados para minimizar los desechos y mejorar la sostenibilidad de las jaulas de peces. En asociación con LiftUP y Ragn-Sells, su tecnología principal, conocida como el sistema Mørenot Collect, se basa en la integración de un cono de recolección que se coloca en la parte inferior de las jaulas de salmón.
BIOLIFT	Chile	Sistemas de recolección de residuos	Tecnología de recolección de lodos orgánicos desde las balsas jaulas salmoneras, que consiste en un cono de recolección. Luego deshidratan los lodos in situ cumpliendo con la normativa vigente. Trasladan los lodos deshidratados a tierra y gestionan su transformación. Finalmente revalorizan los residuos en energía y nuevos productos como biogás. Posee socios en Noruega, las empresas Lift UP y Mørenot.

Entrevistas a empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas

En la tabla 29 presenta un resumen de las empresas entrevistadas. El contenido completo de las entrevistas se presenta en el **Anexo 9**.

4.2.2. Mecanismos físicos, químicos y biológicos para la disminución de la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos en donde se cultiva salmones.

Se realizó una búsqueda exhaustiva de los mecanismos o sistemas tecnológicos utilizados en Chile y en otros países con acuicultura de salmónidos, que permitan disminuir o evitar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos asociados a la salmonicultura. Se identificaron 13 mecanismos o tecnologías los que se describen en la **Tabla 30**.

Una esquematización grafica de cada tecnología se encuentra disponible en el **anexo 13**.

Tabla 30. Tabla resumen de los mecanismos o tecnologías con enfoque preventivo.

MECANISMOS FISICOS	TIPOS	EJEMPLOS IMPLEMENTACIÓN	EMPRESAS QUE OFRECEN EL SERVICIO
1.- Uso de corrientes y ubicación estratégica de balsas jaulas	1.- Uso corrientes naturales 2.- Diseño de jaulas y distancia del fondo	Noruega Escocia	
2.- Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	1.- Jaulas flotantes 2.- Jaulas móviles 3.- Jaulas sumergibles	Noruega Canadá Escocia Chile	-Ecosea (Chile) -Ocean Arks Tech (Chile)
3.- Sistema de recolección de residuos	1.- Sistemas recolectores (Lift-Up) 2.- Sistemas de succión o aspiración.	Noruega Chile	-Biolift (Chile) -Mørenot a/s (Noruega) -Lift-Up (Noruega) -Akva Group
4.- Aireación y sistema de burbujeo	1.- Sistemas de aireación (Nanoburbujas, inyección de aire) 2.- Difusores de aire	Noruega Chile	-Underdeep Solutions SPA (Chile) -DVS Tecnología (Chile) -Chucaos Tech 8Chile) -Kran SPA (Chile) -Austral Plus (Chile)
5. Gestión de la alimentación a través de IA	Sistemas de alimentación controlada	Noruega Chile	- AKVA Group- AKVAconnect _CageEye (Noruega y Chile) -Benchmark Holdings (Reino Unido/Chile/Noruega)
6. Rotación de áreas de cultivo	Rotación de sitios	Escocia Noruega Chile	
7. Monitoreo y control ambiental (Sensores ambientales)	Sensores de fondo marino Plataformas de análisis de datos Perfilador de corrientes. Estaciones meteorológicas complementarias Monitoreo digital de desechos Plataformas flotantes inteligentes con sensores		-AKVA Group -InnovaSea (Noruega) -Blue Ocean Technology (Noruega) -WavEC (Portugal/Noruega)
8. Sistemas RAS:	Sistemas de recirculación acuícola. Reducen la sedimentación mediante la filtración mecánica que remueve los sólidos suspendidos, y la filtración biológica que convierte los compuestos tóxicos como el amoníaco en nitratos menos dañinos.	Dinamarca Noruega Canadá Chile	-AquaOptima de AKVA Group es una división de AKVA group, que se especializa en sistemas de recirculación acuática (RAS). -Benchmark Holdings (Reino Unido/Chile/Noruega).
9. Jaulas cerradas y semicerradas	Jaulas semicerradas y Jaulas cerradas y submergidas		-AKVA Group, Proyecto Atlantis Subsea Farming



MECANISMOS BIOLÓGICOS	TIPOS	EJEMPLOS IMPLEMENTACIÓN	EMPRESAS QUE OFRECEN EL SERVICIO
10.- Biorremediación	Uso de microorganismos (bacterias y hongos) para descomponer la materia orgánica acumulada en el fondo marino.	Noruega	
11.- Policultivo	Integrar especies que actúen como "biofiltros", como los moluscos (mejillones u ostras) y algas, que pueden absorber el exceso de nutrientes y ayudar a mantener la calidad del agua. También, especies como pepinos de mar se han utilizado para degradar materia orgánica en los sedimentos.	Canadá	
12.- Bioacumuladores de nutrientes	Organismos con capacidad de acumular nutrientes en sus tejidos, ayudando a reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo en el entorno. Pepinos de Mar como biofiltros.	China	
MECANISMOS QUÍMICOS	TIPOS	EJEMPLOS IMPLEMENTACIÓN	EMPRESAS QUE OFRECEN EL SERVICIO
13.- Agentes químicos	-Sales precipitantes de fósforo -Inhibidores de amoníaco	Noruega Escocia Chile	

a) MECANISMOS FÍSICOS

Existen varios mecanismos físicos que se pueden implementar para disminuir o eliminar la sedimentación, los cuales se describen a continuación:

1.- Uso de corrientes y ubicación estratégica de jaulas

Corrientes naturales: el posicionamiento de las jaulas en zonas con corrientes naturales adecuadas permite que los desechos orgánicos sean dispersados de manera eficiente, evitando su acumulación en un punto fijo y favoreciendo su dilución en el entorno marino. Estudios han demostrado que las áreas con mayor flujo de agua reducen significativamente la sedimentación local y mejoran la calidad del sedimento bajo las jaulas (Cromey *et al.*, 2002). Esta estrategia también disminuye la probabilidad de que se formen zonas anóxicas, promoviendo un ambiente más saludable para las comunidades bentónicas y el ecosistema en general (Holmer *et al.*, 2005).

Diseño de jaulas y Distancia del fondo: la planificación y diseño de las balsa jaulas, considerando la topografía submarina y las características hidrodinámicas del área, son esenciales para optimizar la dispersión de residuos. El aumento de la distancia entre las jaulas y el fondo marino favorece la dilución y dispersión de los residuos orgánicos a través de la columna de agua, reduciendo la sedimentación directa en el sustrato. Estudios han demostrado que una mayor distancia entre las jaulas y el lecho marino reduce significativamente la acumulación de materia

orgánica y los impactos ambientales asociados, al permitir que los residuos se distribuyan más ampliamente por efecto de las corrientes (Cromey *et al.*, 2002). Esta separación física crea un espacio en el cual los procesos de mezcla natural pueden ocurrir, lo que facilita la dispersión y oxidación de los desechos, mejorando la calidad ambiental de los sedimentos (Holmer *et al.*, 2005).

La elección de sitios con corrientes naturales adecuadas o el correcto diseño y ubicación de las balsas jaulas han demostrado ser una solución eficaz para disminuir los efectos de la sedimentación (McVicar *et al.*, 2006). Además, esta estrategia también reduce la probabilidad de la formación de zonas hipóxicas o anóxicas directamente bajo las jaulas, ya que, se minimiza la concentración de desechos en el área inmediata. El diseño de sistemas de cultivo que mantienen las jaulas a una distancia óptima del fondo marino, generalmente calculada en función de las condiciones locales de corriente y batimetría, es esencial para disminuir los impactos negativos sobre los ecosistemas bentónicos y mantener la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones acuícolas (Keeley *et al.*, 2014).

Ejemplos de implementación:

Noruega: Uno de los principales productores de salmón del mundo, ha adoptado estrictos criterios para la ubicación de jaulas en áreas con corrientes adecuadas. En varios estudios, se ha comprobado que la ubicación en zonas con buena circulación de agua ayuda a dispersar los sedimentos. Noruega usa modelos computacionales para evaluar las corrientes y planificar mejor la disposición de las jaulas.

Escocia: En las islas Hébridas Exteriores, se han trasladado jaulas a áreas con mayor flujo de agua para evitar que los residuos se acumulen en el fondo, lo que ha mostrado resultados positivos en la dispersión de sedimentos.

2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles

Jaulas flotantes: una de las estrategias físicas empleadas para mitigar la sedimentación es el uso de jaulas flotantes, las cuales permiten el cultivo de peces a mayores profundidades o en áreas con mayor flujo de agua, promoviendo la dispersión de los residuos y reduciendo la sedimentación directa en el fondo marino.

Las jaulas flotantes, al no estar fijadas a una distancia constante del fondo marino, pueden adaptarse a diferentes condiciones hidrodinámicas, permitiendo que los desechos orgánicos sean dispersados más eficientemente por las corrientes naturales (Cromey *et al.*, 2002). Este sistema, que facilita el movimiento de los residuos lejos de las áreas sensibles del lecho marino, ha demostrado ser eficaz para reducir la concentración de materia orgánica bajo las jaulas, mejorando las condiciones del sedimento y la calidad ambiental general (Holmer *et al.*, 2005).

Además, las jaulas flotantes permiten su instalación en sitios con profundidades mayores o en áreas con mayor movimiento de agua, lo que favorece la dispersión de residuos en una mayor área y minimiza el impacto localizado en los fondos marinos. Estas características hacen que las jaulas flotantes sean una opción viable para reducir la carga de sedimentos en ambientes acuícolas, en especial cuando se combinan con un monitoreo ambiental adecuado y prácticas de manejo responsable (Keeley *et al.*, 2014).

Ejemplo de implementación (Noruega): Las jaulas flotantes se utilizan ampliamente en los fiordos noruegos. En combinación con las corrientes marinas naturales, las jaulas flotantes ayudan a reducir la sedimentación en el fondo marino.

Jaulas móviles: permiten el desplazamiento de los sistemas de cultivo a diferentes áreas del entorno acuático, facilitando la dispersión de residuos y evitando la sedimentación localizada. Las jaulas móviles permiten redistribuir los residuos orgánicos sobre un área más amplia, reduciendo la concentración de materia orgánica en un solo punto del lecho marino. Esta técnica ha demostrado ser eficaz para disminuir la carga orgánica en los sedimentos y mitigar los efectos negativos sobre

los ecosistemas bentónicos, especialmente en áreas con menor capacidad de dispersión natural (Cromey *et al.*, 2002). El desplazamiento de las jaulas a nuevas ubicaciones dentro de un ciclo de producción también permite una rotación de áreas de cultivo, lo que facilita la recuperación de los fondos marinos afectados antes de que alcancen niveles críticos de sedimentación (Holmer *et al.*, 2005).

Además, las jaulas móviles pueden ser instaladas en áreas con mayores corrientes naturales, lo que maximiza la dispersión de los residuos y minimiza los impactos ambientales asociados a la salmicultura. Estas prácticas no solo mejoran la calidad del sedimento, sino que también permiten una operación más sostenible a largo plazo, al integrar el manejo dinámico de los recursos acuáticos y la reducción de la sedimentación en los fondos marinos (Keeley *et al.*, 2014).

Ejemplo de implementación (Canadá): En Columbia Británica, las empresas de acuicultura han experimentado con el uso de jaulas móviles en cultivos de salmón. Al mover las jaulas entre diferentes ubicaciones, han observado una reducción en la acumulación de sedimentos en un área específica, permitiendo que los fondos marinos se recuperen entre períodos de cultivo.

Jaulas sumergibles: las jaulas sumergibles se han implementado como una tecnología innovadora para reducir los problemas de sedimentación y mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción acuícola. Estas jaulas, diseñadas para operar a mayores profundidades que las tradicionales jaulas flotantes, permiten mitigar la acumulación de desechos en el fondo marino, ya que, los flujos de corrientes en aguas profundas facilitan la dispersión de los residuos. Además, al estar sumergidas, estas estructuras ofrecen condiciones ambientales más estables, minimizando los efectos negativos de la sedimentación y mejorando la calidad del hábitat (Klebert *et al.*, 2013).

Los mecanismos físicos que reducen la sedimentación en las jaulas sumergibles están vinculados a la mayor profundidad en la que operan, lo que mejora la dispersión de los sólidos suspendidos y reduce la acumulación de desechos bajo las jaulas. Las corrientes marinas en aguas profundas, generalmente más fuertes que en la superficie, favorecen la dilución y el transporte de materia orgánica, disminuyendo la concentración de nutrientes y la posibilidad de que se acumulen en el lecho marino (Oppedal *et al.*, 2011). Además, estas jaulas permiten evitar la proliferación de organismos que tienden a alimentarse de los desechos acumulados en el fondo, reduciendo así el impacto ambiental del cultivo de salmón (James *et al.*, 2018). La adopción de jaulas sumergibles también ofrece otros beneficios, como una mayor protección contra las marejadas y fluctuaciones ambientales, lo que contribuye no solo a la reducción de la sedimentación, sino también a la mejora general de las condiciones de cultivo y el bienestar de los peces. Sin embargo, este tipo de tecnología requiere un manejo más especializado y mayores costos iniciales, lo que implica una evaluación costo-beneficio antes de su implementación masiva (Dempster *et al.*, 2009).

Ejemplos de implementación:

Noruega: Proyecto SINTEF** Noruega ha sido un país líder en la innovación de jaulas sumergibles. Un ejemplo significativo es el trabajo realizado por SINTEF, una organización de investigación que, en colaboración con la industria acuícola, ha desarrollado y probado jaulas sumergibles con el fin de mejorar la dispersión de residuos orgánicos y reducir la sedimentación en el fondo marino. Al ubicar las jaulas a mayor profundidad (más de 20 metros), se aprovechan las corrientes más fuertes para evitar que los desechos se acumulen en una misma área, mejorando tanto la calidad del agua como la salud del fondo marino. Este enfoque también minimiza la proliferación de enfermedades y parásitos al permitir mejores condiciones de oxigenación.

Escocia: Proyecto SSF** En Escocia, el proyecto llevado a cabo por *Scottish Sea Farms* (SSF) en 2017 implementó jaulas sumergibles en áreas con corrientes moderadas, demostrando que la inmersión de las estructuras mejoraba la Dispersión de los residuos orgánicos. Esto fue crucial en áreas donde la acumulación de desechos impactaba negativamente en los ecosistemas bentónicos. Al sumergir las jaulas, se reduce la sedimentación, protegiendo el entorno marino y fomentando prácticas acuícolas más sostenibles.

3. Sistemas de recolección de residuos

Sistemas recolectores (Lift-Up): El sistema Lift-Up consiste en una estructura tipo embudo colocada bajo las jaulas de cultivo, diseñada para recolectar los desechos orgánicos a medida que se acumulan, evitando que estos alcancen el lecho marino. Este mecanismo recolecta los residuos sólidos y los transfiere a un sistema de tratamiento o eliminación adecuado, reduciendo así la sedimentación local y los efectos negativos sobre los ecosistemas bentónicos (Stigebrandt *et al.*, 2004). Los recolectores Lift-Up han demostrado ser efectivos para reducir la cantidad de materia orgánica en los sedimentos, mejorando la calidad del fondo marino y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de las operaciones acuícolas. Este enfoque no solo minimiza los impactos directos en el fondo marino, sino que también permite un mejor control y gestión de los desechos, lo que resulta en una operación más limpia y eficiente. Estudios han demostrado que el uso de sistemas de recolección de residuos como el Lift-Up puede reducir significativamente la sedimentación y la carga de nutrientes en el entorno acuático, lo que favorece la recuperación de los ecosistemas afectados y la prevención de zonas hipóxicas.

Ejemplo de implementación (Chile): Algunas empresas salmoneras en la Región de los Lagos han implementado bandejas recolectoras bajo las jaulas para capturar los desechos. Si bien el uso de este tipo de tecnologías no está ampliamente extendido debido a los costos, algunos ensayos han demostrado que pueden reducir la acumulación de sedimentos hasta en un 50% (A. Brown, CEO de Biolift, com. pers., octubre 2024).

Sistemas de succión: Los sistemas de bombeo o aspiradoras de fondo funcionan mediante la extracción directa de los residuos sólidos y materia orgánica acumulada bajo las jaulas de cultivo, transportando estos materiales a unidades de tratamiento o eliminación. Este tipo de tecnología ha sido implementada con éxito en diversas granjas acuícolas para disminuir la carga orgánica en los sedimentos y mitigar los impactos ambientales asociados a la actividad (Chen *et al.*, 2002). El uso de estos sistemas no solo previene la acumulación excesiva de sedimentos, sino que también facilita una mejor oxigenación de los fondos y reduce el riesgo de hipoxia en los ecosistemas marinos circundantes (Carroll *et al.*, 2003). La eficacia de los sistemas de bombeo depende en gran medida de su implementación regular y del monitoreo continuo del sedimento, asegurando que la materia orgánica sea removida antes de que cause impactos significativos en el ambiente. Además, estos sistemas son particularmente útiles en áreas con baja circulación de agua, donde la dispersión natural de los desechos es limitada (Cromey *et al.*, 2002). En combinación con otras estrategias de manejo ambiental, como la rotación de áreas de cultivo y el uso de jaulas flotantes, los sistemas de bombeo pueden contribuir a una operación acuícola más sostenible y a la protección de los ecosistemas bentónicos.

Ejemplos de implementación (Japón): En ciertos cultivos de peces marinos, se han utilizado sistemas de succión para recoger residuos, lo que se ha estudiado para aplicarlo en cultivos de salmón. Este enfoque está en fase experimental, pero los resultados iniciales muestran que puede ser efectivo para reducir la contaminación del fondo marino.

4. Aireación y sistemas de burbujeo

Sistemas de aireación: Los sistemas de aireación operan mediante la inyección de aire en la columna de agua, lo que genera burbujas que promueven el ascenso de partículas orgánicas en suspensión y mejoran la dispersión de los residuos a lo largo de un área más extensa (Miranda *et al.*, 2018). Este proceso no solo ayuda a disminuir la deposición localizada de desechos en el fondo marino, sino que también aumenta los niveles de oxígeno disuelto, lo que favorece la actividad de microorganismos aeróbicos responsables de la degradación de la materia orgánica (Carroll *et al.*, 2003). Además, la aireación contribuye a prevenir la formación de zonas hipóxicas y a mejorar la

calidad del agua dentro de las jaulas de cultivo, beneficiando tanto a los organismos en cultivo como al ecosistema circundante.

Las nanoburbujas, por su diminuto tamaño, tienen propiedades únicas para la oxigenación de la columna de agua. La eliminación de microorganismos en el sedimento se fundamenta por la generación de radicales libres, tal como es declarado por Tekile (2017): “La formación de radicales hidroxilo y ondas de choque por el colapso de microburbujas de ozono se discuten como la principal causa de inactivación completa de *E. coli*”. Además, Khuntia *et al.* (2013) estudiaron la eliminación de amoníaco, que es la principal fuente de olores indeseables de la solución acuosa utilizando MNB (micro - nano burbujas) de ozono. Descubrieron que la ozonización asistida por microburbujas era un proceso más rápido y se puede aplicar en un rango más amplio de pH, a diferencia de la degradación biológica del amoníaco. Khuntia *et al.* (2014) también demostraron la aplicación de la ozonización de los MNB a la oxidación del arsénico, que es uno de los elementos más tóxicos que se encuentran en las aguas subterráneas. El caso anterior se enfoca en el uso de nanoburbujas de ozono, el uso de oxígeno tiene el mismo efecto, pero con un potencial de oxidación menor.

Respecto al tratamiento del agua, los beneficios son claros tal como lo expone Temesgen *et al.* (2017): “Según la teoría de transferencia de masa, un aumento en el área de la superficie de contacto es uno de los principales factores que contribuyen a una mejora en el rendimiento del proceso”. Y, respecto a la degradación de la materia orgánica, fundamenta que: “Los principales objetivos de la mayoría de los estudios son mejorar la eficiencia de la aireación para mejorar la degradación de la materia biológica, la tasa de crecimiento microbiano, la germinación de semillas y las tasas de crecimiento”. En este mismo sentido el movimiento Browniano ayuda a la mantención del oxígeno en el medio, como se muestra en la (Figura 31).

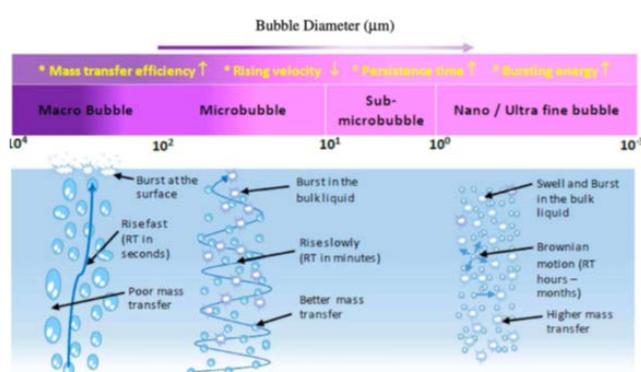


Figura 31. Estabilidad de las nanoburbujas en el medio y movimiento Browniano.

Técnicamente los fondos marinos generan una recuperación natural, la cual puede tomar distintos tiempos. Estos períodos se diferenciarán producto de las distintas variables naturales que influyen en el entorno, como las corrientes marinas o el nivel de carga de materia orgánica en el fondo, entre otras. Asimismo, se deben considerar otras variables químicas como el nivel de sulfuro en el fondo, DBO5 y otras variables que influyen en el proceso de recuperación.

Ahora bien, el oxígeno es uno de los agentes principales en el proceso de recuperación del fondo marino, el cual interactúa con el fondo generando un intercambio entre la última capa de agua y la primera capa de sedimento o de fondo duro.

Tal como lo hemos señalado anteriormente, debido al movimiento browniano de las nano burbujas, la estabilidad en el medio, y la liberación de radicales libres, el proceso de oxigenación del fondo marino se acentúa tal como se puede ver en la **Figura 32**. Por otro lado, cualquier actividad o intervención cercana al fondo marino, debe evitar el riesgo de re-suspensión de los sedimentos de fondo, para la cual se requiere que la velocidad de flujo inyectado sea menor a 9,5 cm/seg (Cromey & Black, 2005.).



Figura 32. acentuamiento del proceso de oxigenación del fondo marino por nanoburbujas.

Estudios realizados en sistemas de cultivo intensivo han demostrado que la implementación de sistemas de aireación reduce significativamente la cantidad de sedimentos acumulados bajo las jaulas y mejora las condiciones biogeoquímicas del fondo marino (Keeley *et al.*, 2013). Sin embargo, para maximizar su efectividad, es crucial que estos sistemas se utilicen de manera constante y en combinación con otras técnicas de manejo ambiental, como la rotación de áreas de cultivo y el monitoreo continuo de la calidad del agua (Pérez *et al.*, 2019).

Ejemplo de implementación (Noruega): En centros de cultivo en Noruega, se han probado sistemas de burbujeo y aireación para mantener los sedimentos en suspensión y promover su dispersión por las corrientes. Esto ha resultado en una reducción en la cantidad de residuos acumulados en el fondo marino. Un estudio realizado por **SINTEF**, una organización de investigación noruega mostró que el uso de burbujeo disminuyó significativamente la sedimentación en áreas de cultivo de salmón.

Difusores de aire: Los difusores de oxígeno actúan liberando burbujas finas de oxígeno en la zona cercana al fondo marino, lo que aumenta los niveles de oxígeno disuelto en el sedimento y promueve la actividad de microorganismos aeróbicos. Estos microorganismos son responsables de la descomposición de la materia orgánica, lo que contribuye a reducir la acumulación de sedimentos y a mejorar las condiciones biogeoquímicas del entorno (Plugge *et al.*, 2011). La oxigenación del sedimento también ayuda a prevenir la formación de zonas hipóxicas, lo que puede favorecer la biodiversidad bentónica y mantener la salud del ecosistema circundante (Carroll *et al.*, 2003). Estudios han demostrado que la implementación de difusores de oxígeno en granjas de salmónes puede mejorar significativamente la tasa de mineralización de la materia orgánica en el sedimento, reduciendo la sedimentación y mejorando la calidad del agua y el sedimento en áreas afectadas por la sobrecarga de nutrientes (Keeley *et al.*, 2013). Además, esta tecnología es especialmente útil en sistemas acuícolas ubicados en áreas con baja circulación de agua, donde los procesos de dispersión natural de residuos son limitados (Pérez *et al.*, 2019).

Ejemplos de implementación (Chile): En la Patagonia chilena, algunas empresas han comenzado a experimentar con el uso de difusores de aire para reducir la acumulación de materia orgánica debajo de las jaulas. Los resultados preliminares indican que los sistemas de burbujeo pueden ayudar a reducir la sedimentación, aunque se necesita más investigación.

5. Gestión de la alimentación a través de IA

Sistemas de alimentación controlada:

Este sistema funciona ajustando la cantidad y el momento de suministro de alimento a las necesidades exactas de los peces en cultivo. Esto se logra mediante el uso de sensores y cámaras submarinas que monitorean el comportamiento alimenticio de los peces en tiempo real, permitiendo detener el suministro de alimento cuando los peces han dejado de comer (Dalsgaard & Krause-



Jensen, 2006). Este enfoque reduce significativamente el desperdicio de alimento y, por ende, la sedimentación de materia orgánica en el fondo, contribuyendo a mantener la calidad del agua y del sedimento.

Se tiene conocimiento que la alimentación controlada puede reducir la cantidad de materia orgánica que llega al fondo marino, disminuyendo así los impactos ambientales asociados a la salmicultura (Cárcamo N., 2008). Además, este tipo de tecnología contribuye a una mayor eficiencia en el uso del alimento, lo que no solo beneficia al ambiente, sino que también reduce los costos operacionales de los centros de cultivo (Bostock *et al.*, 2010). Al implementar sistemas de alimentación controlada, se favorece la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones acuícolas, preservando la integridad de los ecosistemas marinos.

Ejemplos de implementación:

Chile: Empresas como AquaChile han adoptado tecnologías de alimentación inteligente. Esto no solo ha optimizado el uso del alimento, sino que ha reducido los desechos orgánicos que llegan al fondo marino.

Noruega: La empresa Cermaq ha implementado tecnologías de sensores avanzados en sus centros de cultivo de salmón. Estos sensores ajustan la cantidad de alimento en función de la actividad de los peces, lo que ha llevado a una reducción significativa en los restos de alimento que contribuyen a la sedimentación.

6. Rotación de áreas de cultivo

Rotación de sitios: se basa en la alternancia de sitios de producción, de modo que las áreas sometidas a presión acuícola puedan regenerarse antes de ser reutilizadas. Esta técnica permite que los sedimentos se oxigenen y que la materia orgánica acumulada sea degradada por procesos naturales (Keeley *et al.*, 2014). Además, la rotación ayuda a evitar la sobrecarga de nutrientes y la degradación continua del hábitat bentónico, promoviendo un equilibrio ecológico más saludable. En combinación con prácticas de manejo integrado, esta estrategia puede mejorar la resiliencia de los ecosistemas acuícolas y reducir significativamente los efectos negativos de la sedimentación.

Estudios realizados en áreas de cultivo en Noruega y Chile han demostrado que la rotación de concesiones permite una recuperación sustancial del fondo marino en términos de contenido de oxígeno y disminución de materia orgánica, reduciendo la necesidad de intervenciones adicionales para remediar el sedimento (Sanz-Lázaro *et al.*, 2011). Sin embargo, su efectividad depende de una planificación adecuada y de tiempos de descanso suficientes, además de un monitoreo ambiental constante para asegurar que las áreas rotadas recuperen sus funciones ecológicas.

Ejemplos de implementación:

Escocia: en las Islas Shetland, se implementan prácticas de rotación de áreas de cultivo para permitir que los sitios afectados por la sedimentación se recuperen. Los estudios a largo plazo han mostrado que esta rotación reduce el impacto en el ecosistema marino y permite que el fondo marino vuelva a su estado original en un plazo de 1 a 2 años.

Noruega: en algunas zonas de Noruega, la rotación de sitios de cultivo es una práctica común. Al dejar que las áreas descansen por un tiempo, se minimiza la acumulación de sedimentos y se permite la recuperación natural del ecosistema bentónico.

7. Monitoreo y control ambiental (sensores ambientales)

El monitoreo adecuado de las variables ambientales es fundamental para mitigar los efectos adversos de la sedimentación, que incluyen la acumulación de residuos orgánicos, la disminución del oxígeno disuelto y las alteraciones de los niveles de nutrientes en el agua (Sparrow *et al.*, 2020).

Los avances en tecnología han permitido el desarrollo de sistemas de monitoreo basados en sensores para evaluar de manera continua las condiciones ambientales en los centros de cultivo de salmón. Estos sensores pueden medir parámetros clave, como el oxígeno disuelto (OD), la temperatura (T°) del agua, y los niveles de nutrientes (nitratos y fosfatos), proporcionando información en tiempo real para la toma de decisiones (Akhter, 2021). Al controlar estas variables, se puede evitar o disminuir la sedimentación, lo que contribuye a un ambiente acuático más saludable y sostenible para el cultivo de salmón.

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes, ya que, influye directamente en el metabolismo de los organismos acuáticos y en la descomposición de la materia orgánica. La baja concentración de OD puede provocar condiciones anaeróbicas que favorecen la acumulación de sedimentos (Pawar *et al.*, 2020). Por otro lado, la temperatura del agua afecta tanto el metabolismo de los peces como la tasa de descomposición de los residuos orgánicos. Mantener niveles óptimos de nutrientes es igualmente vital, ya que, su exceso puede fomentar el crecimiento de algas y la eutrofización, lo que acelera la sedimentación (Garcés, 2022).

8. Sistemas RAS

En la salmicultura, los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) se presentan como una solución innovadora y sostenible para mitigar la sedimentación, un desafío recurrente en los sistemas de jaulas abiertas tradicionales. Estos sistemas se basan en la recirculación del agua utilizada en los estanques de cultivo a través de una serie de tratamientos físicos y biológicos, permitiendo un control mucho más eficiente sobre la calidad del agua y los desechos generados. Al reducir la acumulación de sólidos y nutrientes en el agua, los RAS disminuyen significativamente el riesgo de sedimentación y contaminación en los ecosistemas acuáticos circundantes (Tryggvason, 2016).

El principal mecanismo mediante el cual los RAS reducen la sedimentación es la filtración mecánica, que remueve los sólidos suspendidos, y la filtración biológica, que convierte los compuestos tóxicos como el amoníaco en nitratos menos dañinos. Estas características permiten la operación de cultivos en un entorno controlado, donde los parámetros como la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad se monitorean constantemente, mejorando tanto la eficiencia de la producción como el bienestar de los peces. El control riguroso de estos factores evita que las condiciones fluctuantes favorezcan la sedimentación y mejora la estabilidad del sistema (Badiola *et al.*, 2018).

Además, los RAS han demostrado ser eficientes en términos de uso del agua, lo que los hace particularmente adecuados para regiones con recursos hídricos limitados. Aunque estos sistemas implican una mayor inversión inicial y una gestión técnica avanzada, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de sedimentación y sostenibilidad ambiental han sido ampliamente documentados (Colt *et al.*, 2009; Dalsgaard *et al.*, 2013; Badiola *et al.*, 2012).

9. Jaulas cerradas y semicerradas

Las jaulas cerradas y semicerradas representan una tecnología emergente en la salmicultura, desarrollada para mitigar los impactos ambientales asociados con el cultivo intensivo de peces, particularmente la sedimentación y la acumulación de materia orgánica en los fondos marinos. A diferencia de las jaulas tradicionales de malla abierta, las jaulas cerradas cuentan con barreras físicas que evitan la liberación directa de desechos y nutrientes al entorno marino, lo que puede reducir significativamente la carga de residuos que llega al sustrato. Las jaulas semicerradas, por su parte, permiten un intercambio limitado de agua con el medio exterior, reteniendo una parte considerable de los residuos dentro de la estructura, pero sin bloquear completamente el flujo natural del agua (Wang *et al.*, 2024).

Uno de los principales beneficios de estas jaulas es la capacidad de controlar los desechos sólidos mediante sistemas de recolección integrados, lo que permite su tratamiento o disposición en tierra,

disminuyendo así la sedimentación en el área de cultivo (Chaperón, 2015). Además, la utilización de estas tecnologías puede contribuir a la mejora de la calidad del agua circundante, evitando la eutrofización causada por la acumulación de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno (Reid *et al.*, 2013).

Sin embargo, las jaulas cerradas y semicerradas también presentan ciertos desafíos, como el aumento en los costos operacionales debido a la necesidad de sistemas de circulación de agua y filtración, así como posibles limitaciones en el bienestar de los peces si no se gestionan adecuadamente los parámetros de calidad del agua dentro de la jaula (Nilsen *et al.*, 2020). A pesar de estas limitaciones, estas tecnologías ofrecen una solución prometedora para la salmonicultura sostenible, con el potencial de reducir considerablemente el impacto ambiental en ecosistemas mar.

b) MECANISMOS BIOLÓGICOS

Para evitar la degradación del ecosistema, se han desarrollado técnicas de bioremediación que aprovechan la capacidad de ciertos organismos biológicos para descomponer la materia orgánica y mejorar la calidad de los sedimentos (Kutti *et al.*, 2007).

Los agentes biológicos utilizados en la remediación de fondos marinos incluyen bacterias degradadoras, microalgas y especies marinas bentónicas que juegan un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica y en la remineralización de nutrientes (Holmer *et al.*, 2005). Las bacterias degradadoras se encargan de metabolizar los compuestos orgánicos presentes en el sedimento, favoreciendo su descomposición y liberación en formas que pueden ser reabsorbidas por otros organismos marinos. A través de estos procesos, se reduce el impacto de la sedimentación sobre los ecosistemas bentónicos, mejorando la oxigenación del sedimento y disminuyendo la concentración de compuestos tóxicos.

Además, las técnicas de policultivo con especies biofiltros, como los moluscos y los pepinos de mar, han demostrado ser eficaces en la remediación de fondos marinos contaminados (Troell *et al.*, 2009). Estas especies tienen la capacidad de consumir los desechos orgánicos, lo que disminuye su acumulación en el fondo y mejora la calidad del agua. Los moluscos bivalvos, por ejemplo, son capaces de filtrar grandes volúmenes de agua, eliminando partículas en suspensión y contribuyendo a la reducción de la carga orgánica (Shumway *et al.*, 2003). Por otro lado, los pepinos de mar son eficaces en la biodegradación de la materia orgánica acumulada en el sedimento, lo que ayuda a mantener la calidad del ecosistema bentónico (Zamora *et al.*, 2018).

Algunas de las técnicas incluyen:

10. Biorremediación

Consiste en el uso de microorganismos (bacterias y hongos) para descomponer la materia orgánica acumulada en el fondo marino. Estos organismos consumen residuos y ayudan a reducir los niveles de nitrógeno y fósforo, minimizando la contaminación del agua.

Estudio: La tecnología de la empresa Bioaltus busca disminuir en hasta 60% la materia orgánica bajo los centros de cultivo, imitando a la naturaleza al usar bacterias para la biodegradación de lodos.

Resultados: En Francia, en 60 días, se logró disminuir en un 66% el COT (Carbono Orgánico Total), que es una manera de medir la materia orgánica y se bajaron en 40 centímetros los lodos acumulados en el fondo. “Para el tratamiento en Chile, dependiendo de las condiciones del centro de cultivo y la cantidad de producto a aplicar, buscamos disminuir entre un 20 y un 60% la materia orgánica”. Esto podría demorar entre 60 y 90 días, dado que “ocupar biotecnología para estos casos genera resultados rápidamente” (<https://www.salmonexpert.cl/bacterias-biotecnologia-centros-de-cultivo/en-chile-usaran-bacterias-para-recuperar-fondos-marinos-del-salmon/1234274>).

11. Policultivo

Integrar especies que actúen como "biofiltros", como los moluscos (mejillones u ostras) y algas, que pueden absorber el exceso de nutrientes y ayudar a mantener la calidad del agua. También, especies como pepinos de mar se han utilizado para degradar materia orgánica en los sedimentos.

Estudio: Un estudio en Canadá investigó el cultivo integrado de salmónidos con mejillones y algas marinas para reducir la carga de nutrientes en el agua circundante. Los moluscos filtran partículas y las algas absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo.

Resultados: Se logró una reducción del 40% de los nutrientes disueltos en el agua, con mejoras en la calidad ambiental general.

12. Bioacumuladores de nutrientes.

Algunos organismos tienen la capacidad de acumular nutrientes en sus tejidos, ayudando a reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo en el entorno.

Pepinos de Mar como biofiltros:

Estudio: Un trabajo en China evaluó la capacidad de pepinos de mar (*Apostichopus japonicus*) para reducir la acumulación de materia orgánica en centro de cultivo de salmónes.

Resultados: Los pepinos de mar consumieron la materia orgánica depositada en el fondo, reduciendo los efectos negativos en los sedimentos y mejorando las condiciones del ecosistema.

c) MECANISMOS QUÍMICOS.

13. Agentes químicos.

Entre las estrategias de mitigación implementadas en la industria, el uso de agentes químicos ha demostrado ser eficaz para reducir la acumulación de nutrientes y mejorar las condiciones del sustrato. El empleo de agentes químicos en la salmonicultura se centra en modificar las propiedades fisicoquímicas del sedimento y el agua para reducir la acumulación de nutrientes y compuestos tóxicos. Estos tratamientos se enfocan en la remediación de los fondos, promoviendo la mejora de la calidad del agua y del ambiente bentónico.

Entre los agentes químicos más utilizados se encuentran las sales precipitantes de fósforo, como las de hierro o aluminio, que inmovilizan el fósforo, evitando su liberación al agua y limitando el riesgo de eutrofización (Cromey *et al.*, 2012). Este tipo de precipitación química es especialmente útil en ambientes donde los niveles de fósforo son elevados, ya que, su liberación puede provocar proliferaciones de algas y otros organismos que desbalancean el ecosistema. Además, los inhibidores de amoníaco son compuestos que neutralizan la toxicidad de este compuesto, mejorando las condiciones de vida para los peces y otros organismos acuáticos (Pashaei *et al.*, 2022).

Estos tratamientos, cuando se aplican de manera controlada y con estricto seguimiento ambiental, ofrecen una solución rápida y efectiva para la remediación de los fondos afectados. Sin embargo, su uso debe gestionarse cuidadosamente para evitar impactos adversos en el ecosistema circundante, como la bioacumulación de metales o alteraciones en la biota bentónica (Troell *et al.*, 2009).

Ejemplos de implementación:

Noruega: Ha sido pionera en el uso de sales de hierro y aluminio para el tratamiento de sedimentos bajo jaulas de salmón. Han desarrollado protocolos específicos para la aplicación controlada de estos agentes (Brooks & Mahnken, 2003).

Escocia: Ha implementado tratamientos con sales precipitantes de fósforo en sus granjas de salmón. Han realizado estudios extensivos sobre el impacto de estos tratamientos en el ecosistema marino (Black *et al.*, 2008).

Chile: Ha experimentado con inhibidores de amoníaco en centros de cultivo de salmón. Ha realizado pruebas piloto con sales precipitantes (Buschmann *et al.*, 2009).

4.2.2. Análisis de la información seleccionada sobre modelos o procesos implementados para la evaluación del estado ambiental

En esta actividad se presenta una evaluación de los 13 mecanismos y/o tecnologías identificadas, tomando como base la información recopilada en este estudio y que ha sido resumida en las **Tablas 31 y 32**. En la **Tabla 31** se presenta su descripción, los países donde se ha probado y los resultados de su aplicación y en la **Tabla 32** se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de su aplicación.

Tabla 31. Descripción de los mecanismos de prevención, países donde se ha implementado y sus resultados. Una versión extendida de esta imagen se presenta en el anexo 11.

Tecnología o Mecanismo	Descripción	Países	Principios	Resultados de Aplicación
1. Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	Ubicar las jaulas en áreas con corrientes naturales para dispersar sedimentos. Aumentar la distancia entre jaulas y el fondo marino.	Noruega Escocia	Adaptación a condiciones hidrodinámicas variables.	Los estudios muestran que esta tecnología ha reducido significativamente la acumulación de residuos en el fondo marino, mejorando la calidad ambiental de las áreas.
2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	Minimizan el contacto con el fondo marino, evitan la acumulación de sedimentos y mejor dispersión de los desechos orgánicos.	Noruega, Canadá Chile	Desarrollo de tecnologías específicas para su implementación.	Mejora de condiciones del sedimento y reducción de sedimentación. Bajas cargas bacterianas y Caligus, bajas pérdidas por ataques de lobos marinos, Baja adhesión de fouling.
3. Sistemas de Recolección de Residuos	Mecanismos para recolectar desechos antes de que lleguen al fondo marino.	Escocia, Noruega Chile	Sistemas Lift-Up y succión.	Mørenot reporta 60-70 % de reducción de residuos.
4. Aireación y Sistemas de Burbujeo	Sistemas de aireación y difusores de aire mantienen los sedimentos en suspensión para que las corrientes los dispersen.	Noruega Honduras Chile	Implementación de difusores de aire, nanoburbujas, microburbujas e inyección de agua de mar rica en O ₂ .	63% reducción en consumo de energía en comparación con 3. 58% menor consumo de oxígeno en comparación con 3. Es el sistema utilizado localmente para la recuperación de condición aeróbica de centros.
5. Monitoreo y Gestión de la Alimentación con IA	Sistemas de alimentación controlada y sensores para reducir el exceso de alimento no consumido, minimizando desechos.	Noruega Chile	Uso de sensores y cámaras submarinas. Gestión remota, generalmente por proveedor o gestor externo.	Alimentación y monitoreo remoto, optimización de la cantidad de alimento, evita riesgos al personal, reduce pérdidas de alimento al ambiente. Reducción del 20-30% de materia orgánica que llega al fondo marino.
6. Rotación de Áreas de Cultivo (descanso natural)	Rotar las áreas de cultivo para permitir que el ecosistema marino debajo de las jaulas se recupere de la sedimentación.	Noruega, Escocia Chile	Planificación adecuada y monitoreo ambiental.	Tras la crisis del virus ISA, la ley estableció la operación de la industria a través de agrupaciones de concesiones o "barrios". Los centros de cultivo de un barrio descansan al mismo tiempo durante al menos 3 meses. Este descanso, aunque se genera con un objetivo sanitario permite la recuperación del fondo y columna de agua.
7. Tecnología de monitoreo y control ambiental (sensores ambientales)	Utilización de sensores para el monitoreo de variables medioambientales.	Noruega, Escocia Chile	Desarrollo de plataformas de análisis de datos. Gestión remota en tiempo real, información llega a un servidor.	Fáciles de instalar y escalables, capacidad de registro de datos, red de sensores de múltiples parámetros. Mejora en la toma de decisiones y prevención de sedimentación.
8. Sistemas RAS	Recirculación de agua para controlar la calidad	Noruega, Escocia,	Filtración mecánica y biológica.	Optimización de uso de agua. Reducción de riesgos por factores climáticos, impactos de enfermedades y parásitos



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N DE ACUICULTURA

	y reducir desechos. Actualmente masificado para la etapa agua dulce.	Chile		Permite la producci3n segura de especies ex3ticas. Elimina potencialmente la liberaci3n de par3sitos a las aguas receptoras.
9. Jaulas Cerradas y Semicerradas	En estos sistemas se contienen los residuos dentro de la estructura de la jaula lo que facilita su recolecci3n y manejo sin que se liberen al entorno marino circundante.	Noruega, Escocia, Chile	Sistemas de recolecci3n integrados.	Disminuci3n de sedimentaci3n y mejora de la calidad del agua.
10. Biorremediaci3n	Uso de microorganismos para descomponer materia org3nica acumulada.	Noruega y China	Evaluaci3n de bacterias degradadoras.	Mejora de condiciones ambientales bajo las jaulas de cultivo, por efecto de la descomposici3n realizada por bacterias y/o microorganismos consumidores de materia org3nica.
11. Policultivo	Integraci3n de especies que actúan como biofiltros para absorber nutrientes.	Canadá	Cultivo de salm3nidos con mejillones y algas.	Reducci3n del 40% de nutrientes disueltos en el agua, incorporando cultivos de organismos filtradores. Requiere alta biomasa de filtradores.
12. Bioacumuladores	Algunos organismos tienen la capacidad de acumular nutrientes en sus tejidos, ayudando a reducir la cantidad de nitr3geno y f3sforo en el entorno.	China	Pepinos de mar	Por ejemplo, pepinos de mar, organismos que consumen materia org3nica, reduciendo los efectos negativos en los sedimentos y mejorando las condiciones del ecosistema.
13. Agentes químicos	Uso de agentes químicos para modificar propiedades del sedimento y agua. Floculantes, oxidantes y/o neutralizadores de pH.	Mundial	Aplicaci3n de sales precipitantes de f3sforo e inhibidores de amoníaco.	Mejora de la calidad del agua y reducci3n de eutrofizaci3n, usándose con precauci3n.

Tabla 32. Resumen de las ventajas y desventajas en la aplicación o uso de cada mecanismo o tecnología.

Mecanismo	Ventajas	Desventajas
1. Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	<p>Dispersión natural de residuos: Al aprovechar las corrientes naturales, se evita la acumulación excesiva de materia orgánica en el fondo, lo que minimiza la sedimentación.</p> <p>Costo bajo: No requiere tecnología adicional, solo un buen estudio del sitio para asegurar la efectividad.</p>	<p>Limitado por la geografía: No todas las ubicaciones tienen corrientes adecuadas, lo que restringe la aplicabilidad de esta estrategia.</p> <p>Riesgo de contaminación: Si no se gestiona adecuadamente, las corrientes pueden transportar residuos hacia otras áreas sensibles.</p>
2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	<p>Flexibilidad: Permite mover las jaulas para evitar la acumulación prolongada de residuos en un solo lugar y ajustarse a diferentes condiciones del entorno.</p> <p>Mejor control de las condiciones ambientales: Las jaulas sumergibles permiten adaptarse a diferentes profundidades, beneficiando la salud de los peces y la calidad del agua.</p>	<p>Costos iniciales elevados: Requieren inversiones significativas en tecnología y personal capacitado para su operación.</p> <p>Desafíos operacionales: Las jaulas móviles y sumergibles necesitan un mantenimiento regular y presentan dificultades técnicas.</p>
3. Sistemas de recolección de residuos (lift-up - Aspirador de fondo)	<p>Recuperación directa: Captura los desechos sólidos antes de que se depositen en el fondo marino, reduciendo la sedimentación y la contaminación del ecosistema circundante.</p> <p>Eficiencia ambiental: Contribuye a un ciclo más limpio y a la disminución de la carga orgánica en el fondo marino.</p>	<p>Mantenimiento continuo: Los sistemas requieren monitoreo y limpieza constantes para asegurar su funcionamiento adecuado, traslado a planta de biogás.</p> <p>Capacidad limitada: En condiciones de alta producción, el sistema puede no ser suficiente para manejar todos los residuos.</p>
4. Sistemas de aireación y difusores de oxígeno	<p>Mejora de la calidad del agua: Estos sistemas ayudan a incrementar los niveles de oxígeno disuelto en el agua, facilitando el procesamiento de la materia orgánica y previniendo la formación de zonas anóxicas.</p> <p>Prevención de la sedimentación: Al mantener el sedimento en suspensión, se puede evitar su acumulación en el fondo.</p>	<p>Alto consumo energético: Requiere energía constante para mantener el sistema en funcionamiento, lo que puede incrementar los costos operacionales.</p> <p>Variable de efectividad: Dependiendo de las características del sitio, estos sistemas pueden no ser lo suficientemente potentes para evitar la sedimentación en áreas extensas y su efectividad no es reproducible a todos los centros (oceanografía).</p>
5. Alimentación con IA (Inteligencia Artificial)	<p>Optimización de recursos: La IA puede ajustar las cantidades de alimento suministradas con base en el comportamiento de los peces, minimizando el desperdicio de alimentos y la sedimentación resultante.</p> <p>Monitoreo en tiempo real: Permite realizar ajustes en tiempo real para evitar la sobrealimentación, que es una de las principales causas de acumulación de residuos en el fondo.</p>	<p>Inversión tecnológica: Requiere equipos y software avanzados, lo que puede ser costoso para las instalaciones más pequeñas.</p> <p>Dependencia tecnológica: Cualquier falla en el sistema de IA podría llevar a problemas de alimentación, además por la localización geográfica de los centros la conectividad no siempre es la mejor.</p>
6. Rotación de áreas de cultivo (descanso natural)	<p>Regeneración del fondo: Al rotar las áreas de cultivo, se da tiempo para que el fondo marino se regenere naturalmente, reduciendo la acumulación de residuos.</p> <p>Mejora de la salud del ecosistema: Ayuda a mantener un equilibrio ecológico en el sitio de cultivo, permitiendo que los procesos naturales degraden la materia orgánica acumulada.</p>	<p>Limitaciones espaciales: No todos los centros de cultivo tienen acceso a áreas suficientes para rotar sus concesiones de manera efectiva.</p> <p>Planificación compleja: Requiere una gestión rigurosa para asegurar que se respeten los tiempos de descanso del ecosistema, además de aspectos normativos.</p>



<p>7. Tecnología de monitoreo y control ambiental (sensores ambientales)</p>	<p>Monitoreo en tiempo real: Los sensores pueden proporcionar datos en tiempo real sobre la calidad del agua y las condiciones del sedimento, permitiendo respuestas inmediatas a problemas emergentes. Prevención proactiva: Ayuda a identificar problemas antes de que afecten gravemente al medio ambiente.</p>	<p>Costos elevados: La instalación y mantenimiento de sensores ambientales pueden ser costosos, especialmente en centros de gran escala. Fallas tecnológicas: Cualquier mal funcionamiento o interrupción en los sensores puede resultar en decisiones incorrectas.</p>
<p>8. Sistemas RAS (Sistemas de recirculación para acuicultura)</p>	<p>Reducción de residuos: Al ser sistemas cerrados, los RAS controlan mejor los desechos y minimizan la descarga de nutrientes y materia orgánica al entorno. Mayor control ambiental: Los RAS permiten un control total sobre las condiciones del agua, minimizando los riesgos de contaminación externa</p>	<p>Costos elevados: Requieren inversiones significativas iniciales, así como costos operativos continuos altos. Complejidad operativa: Operar un RAS requiere personal altamente capacitado y monitoreo constante para asegurar su efectividad.</p>
<p>9. Jaulas cerradas y semicerradas</p>	<p>Reducción de impacto ambiental: Al controlar la salida de desechos, estos sistemas evitan que la materia orgánica llegue al fondo marino, minimizando la sedimentación. Mejora de la bioseguridad: También protege a los peces de agentes patógenos y parásitos del entorno externo.</p>	<p>Costo elevado: Implementar y mantener jaulas cerradas es más caro que los sistemas tradicionales de jaulas abiertas. Condiciones controladas: Deben manejarse adecuadamente para asegurar que los peces no se vean negativamente afectados por las condiciones en un espacio cerrado.</p>
<p>10. Biorremediación</p>	<p>Solución natural: Utiliza organismos vivos, como bacterias y otros microorganismos, para descomponer la materia orgánica, mejorando la calidad del sedimento. Sostenibilidad: Es un enfoque ecológico y sostenible para el manejo de residuos.</p>	<p>Tiempo de acción prolongado: Los efectos pueden tardar en hacerse visibles en comparación con métodos mecánicos o químicos. Condiciones dependientes: La efectividad de la biorremediación depende de las condiciones ambientales locales.</p>
<p>11. Policultivo</p>	<p>Mejor uso de recursos: Combinar diferentes especies en el mismo sistema, como filtradores y herbívoros, puede reducir la sedimentación mediante el consumo de residuos orgánicos. Diversificación de la producción: Proporciona múltiples productos al mismo tiempo, mejorando la rentabilidad.</p>	<p>Manejo complejo: Manejar varias especies en un mismo sistema requiere mayor conocimiento y monitoreo para evitar problemas ecológicos o de salud en los organismos. Además, que los estudios indican que la biomasa de los moluscos y algas debe ser demasiado alta para poder tener el ecosistema equilibrado.</p>
<p>12. Bioacumuladores</p>	<p>Descomposición orgánica: Los pepinos de mar son bioacumuladores eficientes que pueden consumir y procesar materia orgánica, reduciendo la acumulación de sedimentos.</p>	<p>Limitación en la capacidad: Su capacidad de procesamiento puede no ser suficiente en instalaciones de alta densidad de cultivo.</p>
<p>13. Agentes químicos</p>	<p>Efectividad inmediata: Los productos químicos pueden actuar rápidamente para neutralizar compuestos dañinos o para tratar áreas de alta acumulación de residuos.</p>	<p>Riesgos ambientales: El uso de productos químicos puede afectar negativamente a la biodiversidad y la salud del ecosistema si no se maneja con precaución. Monitoreo constante: Es necesario realizar un seguimiento estricto para evitar la acumulación de productos químicos en el entorno.</p>

Posteriormente se realizó un análisis de priorización con el propósito de establecer un ranking de recomendación. Para ello, se llevó a cabo un análisis de oportunidad, el que fue detallado en la sección de metodología del presente informe.

Los 13 mecanismos y o tecnologías identificadas, fueron evaluados por tres expertos (investigadores del proyecto), mediante la herramienta Matriz de Oportunidades (**Tabla 33**), la cual ayuda a discriminar entre mecanismos asignándole un puntaje en base a criterios de observación, lo cual, como resultado, genera un ranking que tiene como objetivo proponer o recomendar las que resultaren con un puntaje más alto.

Los criterios usados para este an3lisis fueron:

1. Presencia en el mercado internacional
2. Presencia en el mercado nacional
3. Factibilidad t3cnica
4. Impacto Ambiental
5. Escalabilidad
6. Efectividad de la tecnolog3a.

Se realiz3 una doble puntuaci3n considerando para cada criterio la **probabilidad de ocurrencia** y la **magnitud de impacto** en cada mecanismo o tecnolog3a.

En la **Figura 33**, se observa un ejemplo de la aplicaci3n de la matriz de oportunidades ejecutada por un experto a modo de ejemplo. Para generar el ranking de los mecanismos, los valores resultantes de las tres matrices de oportunidad fueron promediados. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Ranking de evaluaci3n de los mecanismos y/o tecnolog3as con enfoque preventivo en relaci3n con la sedimentaci3n de materia org3nica asociada a los fondos aledaños a los centros de cultivo.

Nº	Mecanismo o tecnolog3a evaluada	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Priorizaci3n
1	Monitoreo y gesti3n de la alimentaci3n	94,44	94,44	88,89	92,59	93%
2	Tecnolog3a de monitoreo y control ambiental (sensores)	81,48	85,19	88,89	85,19	85%
3	Rotaci3n de 3reas de cultivo	75,93	70,37	94,44	80,25	80%
4	Sistemas RAS	68,52	77,78	94,44	80,25	80%
5	Jaulas flotantes, m3viles y sumergibles	79,63	68,52	74,07	74,07	74%
6	Aireaci3n y sistemas de burbujeo	53,70	83,33	83,33	73,46	73%
7	Uso de corrientes naturales y ubicaci3n estrat3gica de jaulas	79,63	74,07	64,81	72,84	73%
8	Jaulas cerradas y semicerradas	59,26	72,22	83,33	71,60	72%
9	Sistemas de recolecci3n de residuos	61,11	66,67	66,67	64,81	65%
10	Biorremediaci3n	51,85	37,04	85,19	58,02	58%
11	Policultivos	29,63	42,59	62,96	45,06	45%
12	Bioacumuladores	33,33	33,33	62,96	43,21	43%
13	Agentes Qu3micos	22,22	11,11	59,26	30,86	31%

Los tres primeros lugares corresponden al Monitoreo y gesti3n de la alimentaci3n (93%), Tecnolog3a de monitoreo y control ambiental (85%) y Rotaci3n de 3reas de cultivo y Sistemas RAS (80%). El mecanismo mejor evaluado en el sentido preventivo es el monitoreo y gesti3n de la alimentaci3n, que incorpora a la automatizaci3n de la alimentaci3n, m3dulos remotos de control en relaci3n a la optimizaci3n de la calidad y cantidad del alimento entregado y el an3lisis de datos relativos a la operaci3n y la comunicaci3n entre centros.

Matriz de Oportunidad

Tipo	Criterios	Presencia en el mercado internacional	Presencia en el mercado nacional	Factibilidad técnica	Impacto Ambiental	Escalabilidad	Eficiencia de la tecnología	Score Oportunidad
1. Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	Probabilidad de éxito	2	2	3	2	3	3	64.81
	Magnitud de la oportunidad	2	2	3	3	2	2	
	Nivel de oportunidad (PaM)	4	4	9	6	6	6	
2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	Probabilidad de éxito	3	1	2	3	3	3	74.07
	Magnitud de la oportunidad	3	3	2	3	2	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	3	4	9	6	9	
3. Sistemas de recolección de residuos	Probabilidad de éxito	2	1	2	3	2	2	66.67
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	6	3	6	9	6	6	
4. Aireación y sistemas de burbujeo	Probabilidad de éxito	1	3	3	2	3	3	83.33
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	3	9	9	6	9	9	
5. Monitoreo y gestión de la alimentación	Probabilidad de éxito	3	3	3	2	3	2	88.89
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	9	9	6	9	6	
6. Rotación de áreas de cultivo	Probabilidad de éxito	3	3	3	2	3	3	94.44
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	9	9	6	9	9	
7. Tecnología de monitoreo y control ambiental	Probabilidad de éxito	2	2	3	3	3	3	88.89
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	6	6	9	9	9	9	
8. Sistemas RAS	Probabilidad de éxito	3	2	3	3	3	3	94.44
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	6	9	9	9	9	
9. Jaulas cerradas y semicerradas	Probabilidad de éxito	3	1	2	3	3	3	83.33
	Magnitud de la oportunidad	3	3	3	3	3	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	3	6	9	9	9	
10. Bioremediación	Probabilidad de éxito	3	2	3	3	3	3	85.19
	Magnitud de la oportunidad	3	2	3	3	3	2	
	Nivel de oportunidad (PaM)	9	4	9	9	9	6	
11. Policultivos	Probabilidad de éxito	2	2	3	2	2	3	62.96
	Magnitud de la oportunidad	2	2	3	2	2	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	4	4	9	4	4	9	
12. Bioacumuladores	Probabilidad de éxito	1	1	3	3	2	3	62.96
	Magnitud de la oportunidad	2	1	3	3	2	3	
	Nivel de oportunidad (PaM)	2	1	9	9	4	9	
13. Agentes Químicos	Probabilidad de éxito	2	2	3	2	3	2	59.26
	Magnitud de la oportunidad	2	2	3	1	3	2	
	Nivel de oportunidad (PaM)	4	4	9	2	9	4	

Figura 33. Matriz de oportunidad. Se muestra el resultado de la matriz realizada por 1 experto como ejemplo.

En el **anexo 12** se incluye un análisis de multicriterio de tecnologías para la acuicultura sustentable, donde se han aplicado los métodos MCDA, TOPSIS y PCA. Lo anterior se ha realizado a partir de la información recopilada desde las encuestas respondidas por investigadores, profesionales del sector privado y expertos en acuicultura

4.3 Resultados objetivo 3 (OE3): Proponer mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas.

4.3.1 Visita internacional.

Vista a centros de investigación NORCE.

De acuerdo con lo propuesto, se realizó una visita técnica al Centro de Investigación NORCE con sede Bergen, Noruega. La actividad fue realizada por la investigadora de IFOP Johana Ojeda Palma, entre el 20 y 24 de mayo del presente año. La coordinación de trabajo realizada por el Dr. Lars Ebbesson durante la estadía, incluyó diversas reuniones con investigadores de NORCE y de otras entidades relacionadas a los monitoreos ambientales, sustentabilidad acuícola, etc. A continuación, se resumen en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Cuadro resumen de las actividades y/o reuniones realizadas en la visita técnica al Centro NORCE, Bergen, Noruega.

Fecha	Investigadores	Institución o Empresa	Función	Contacto	Temática
20 de mayo	Dr. Lars Ebbesson	NORCE (The Norwegian Research Centre) y Universidad de Bergen	Director, Centre for Sustainable Aquaculture Innovations, NORCE & UoB	laeb@norceresearch.no	Reunión de coordinación. Visita por las oficinas de NORCE.
21 de mayo	Jessica Louse Rays	Aqua Kompetanse AS Bergen (Consultora Ambiental)	Investigadora	jessica@aqua-kompetanse.no	Monitoreos ambientales para las empresas salmoneras noruegas
21 de mayo	Dra. Dorinde Kleinegris	NORCE y Universidad de Bergen)	Principal Investigator Microalgae at NORCE Secondary position at the University of Bergen as Associate Professor in Marine Biotechnology since early 2021.	dokl@norceresearch.no	Presentación de los proyectos Slam-Dunk e INNOAQUA. https://www.norceresearch.no/en/projects/slam-dunk-the-sludge-appraisal-team---developing-a-sustainable-value-chain-from-tank-to-product https://innoaquaproject.eu/ Visita al laboratorio de biorreactores de microalgas en la Facultad de Biología de la Universidad de Bergen.
22 de mayo	Dra. Ase Atland Dra. Trine Dale	NIVA (Instituto Noruego de Investigación del agua)	Research Director Research Manager de NIVA.	aase.aatland@niva.no trine.dale@niva.no	Rol de NIVA en la evaluación ambiental de la acuicultura en Noruega.



<p>23 de mayo</p>	<p>Dra. Nina Liland Dra. Tina Kutti Dr. Pål Næverlid</p>	<p>IMR (Norwegian Institute of Marine Research)</p>	<p>- jefe de grupo de investigación en Alimentación y nutrición - Researcher (Recursos bentónicos) -Researcher (Department Oceanografía y clima)</p>	<p>nina.liland@hi.no tina.kutti@hi.no paal.naeverlid.saevik@hi.no</p>	<p>-Bienvenida e introducción a IMR (Nina Liland) -Efectos ambientales de la contaminación orgánica e inorgánica de la acuicultura (Tina Kutti) -Medición de la propagación de partículas procedentes de la acuicultura y uso de modelos oceanográficos (Pål Næverlid) El lodo como recurso: contenido y posibles usos de (Nina Liland).</p>
<p>24 de mayo</p>	<p>Dra. Agnes Weiner Dra. Miriam Brandt</p>	<p>Group of Molecular Ecology and Paleogenomics – MEP NORCE</p>	<p>Senior Researcher Post doc</p>	<p>agwe@norceresearch.no mibr@norceresearch.no</p>	<p>Presentación del estudio de datación de sedimentos antiguos y sobre el Proyecto MetaBridge (Análisis de ADNm)</p>

IMR (Norwegian Institute of Marine Research: Informe de riesgos 2024: Efectos de los efluentes de la piscicultura.

En la reunión realizada en el IMR (Norwegian Institute of Marine Research), la investigadora de recursos bentónicos Dra. Tina Kutti realizó una presentación sobre el “Informe de riesgos 2024: Efectos de los efluentes de la piscicultura (**Figura 34**). La Dra. Kutti enfatizó que algunos fiordos corren el riesgo de no alcanzar buenas condiciones ambientales, en parte, como consecuencia de la acuicultura. Son los fiordos caracterizados por presentar un intercambio moderado o raro de agua del fondo. Se menciona una alta intensidad de producción (> 100 ton/km²) y bahías cerradas, fiordos estrechos y pequeños (**Figura 35**). El uso alimentario en 2023 fue de 2.033.566 toneladas y las emisiones estimadas entre 695.480 y 817.494 toneladas de residuos orgánicos. En la **Figura 36** se muestran los resultados de la evaluación de riesgos basada en cambios en la química de los sedimentos y la infauna en los centros de cultivo promediados para las áreas de producción (PO) producto de las liberaciones de partículas orgánicas (heces y alimento). Los resultados corresponden a las encuestas de los monitoreos ambientales obligatorios B y C. La solidez del conocimiento depende de una gran cantidad de encuestas B y C. La intensidad de producción es zonas con intercambio de agua moderado. De las 13 áreas de producción, 3 tuvieron cambio moderado en la química de los sedimentos y las comunidades bentónicas, el resto fue bajo. Lo anterior se complementa con la **Figura 37**, en donde se observa que solo 3 áreas de producción (PO3, PO4 y PO9) tuvieron un % centros de cultivo con mal resultado ambiental sobre el 10%. En las **Figuras 38** y **39** se observan los resultados en mayor detalle de los PO₃ y PO₄.

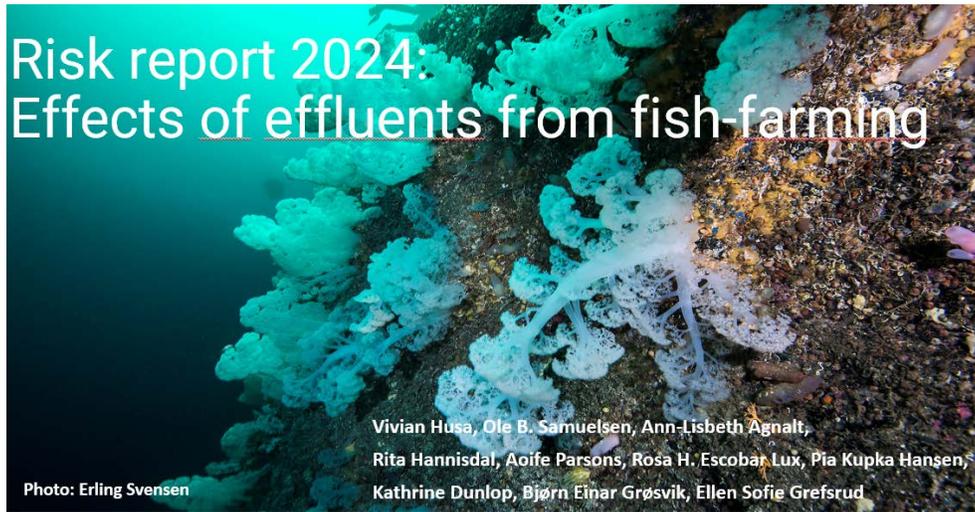


Figura 34. Portada de la presentaci3n realizada por la Dra. Tina Kutti (IMR).

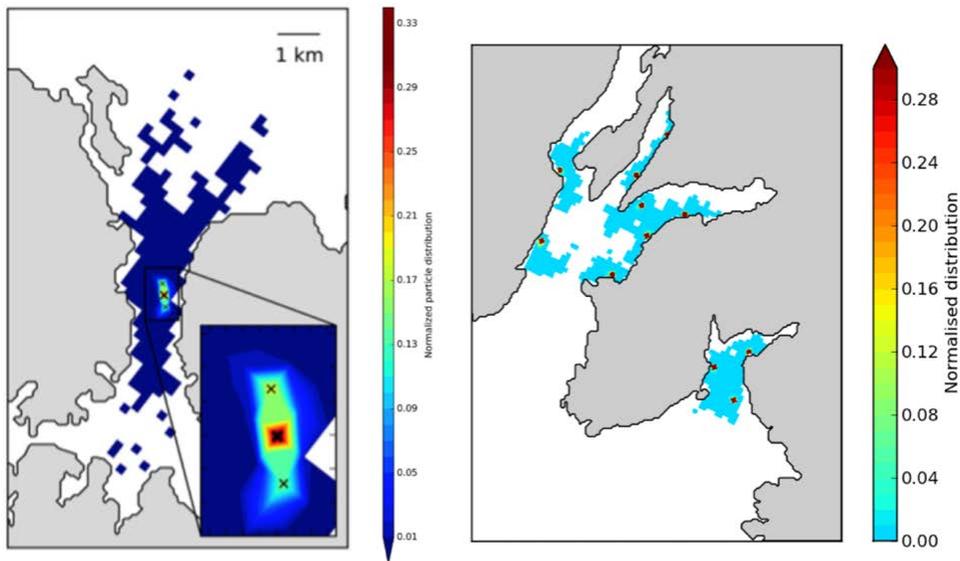


Figura 35. Mapa de un fiordo con producci3n acu3cola en Noruega.

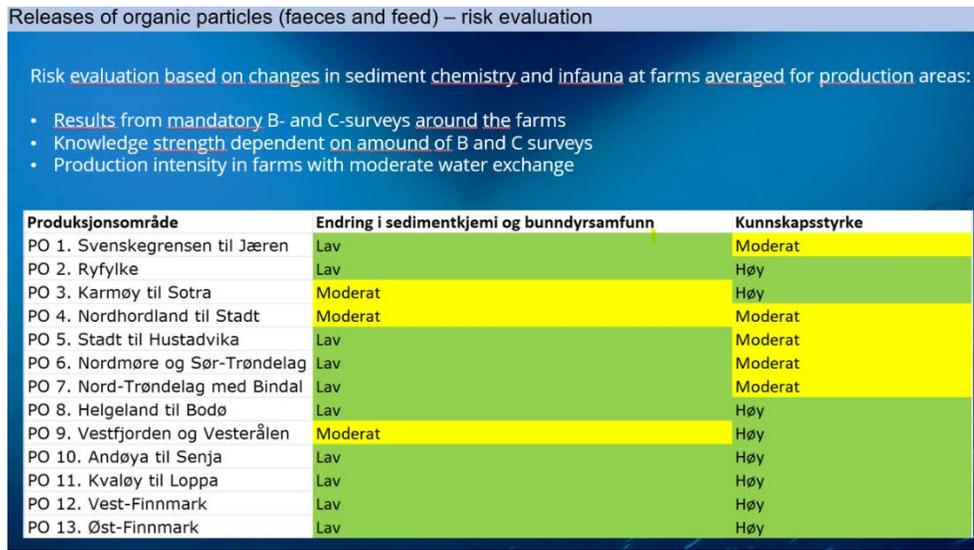


Figura 36. Resultados de la evaluación de riesgos basada en los cambios en la química de los sedimentos y la infauna. Los resultados son promediados por granjas para las áreas de producción (PO). (Primera columna tabla, 1CT: Zona de producción; 2CT: cambio en la química de los sedimentos y las comunidades bentónicas; 3CT: fuerza del conocimiento; LAV: bajo; MODERAT: moderado; HOY: alto).

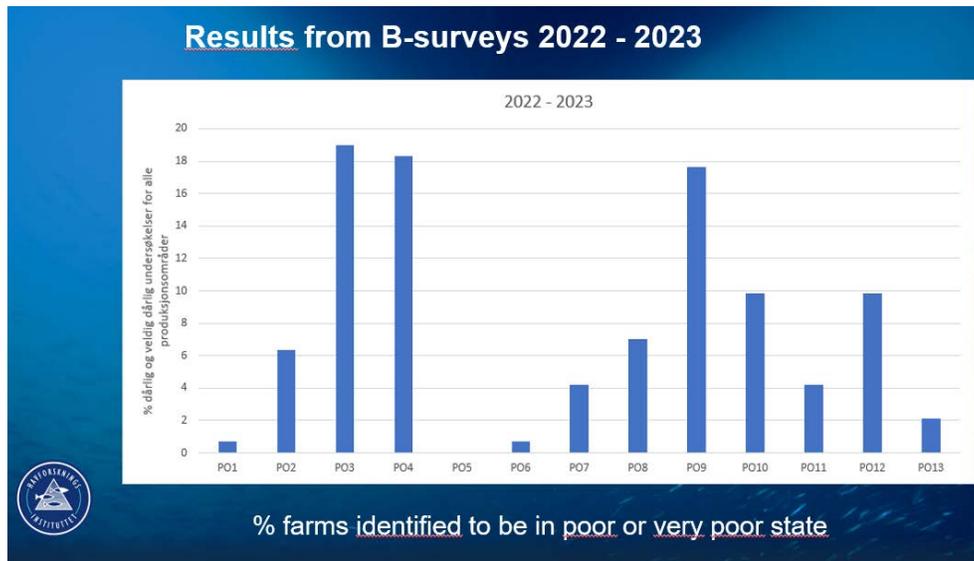


Figura 37. Resultados de las encuestas de los muestreos tipo B. Porcentaje de centros de cultivo por PO (área de producción) con un estado ambiental pobre.

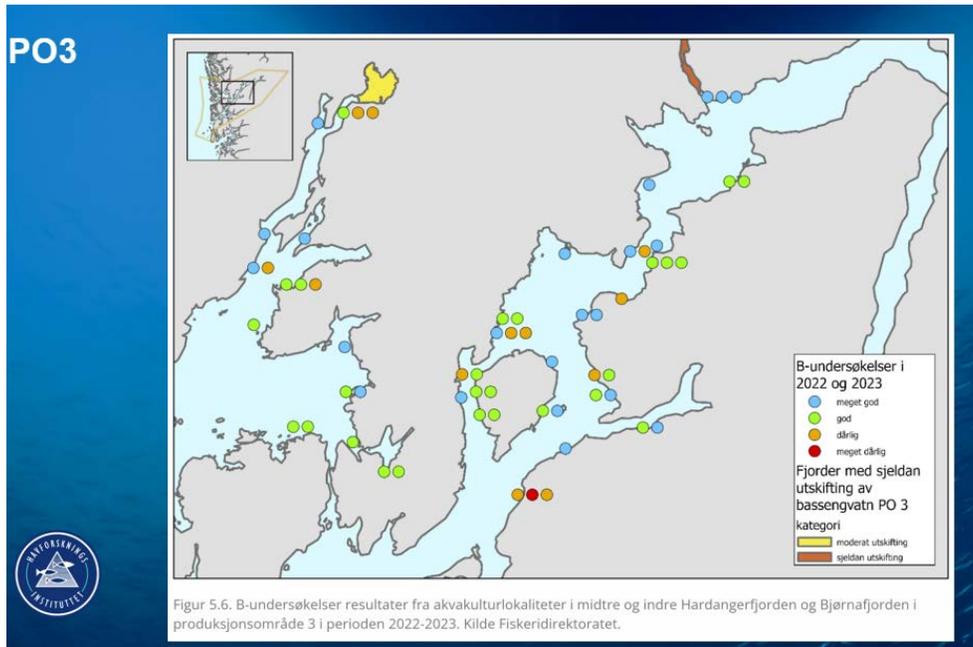


Figura 38. Resultado de los monitoreos en la zona de producción P03.

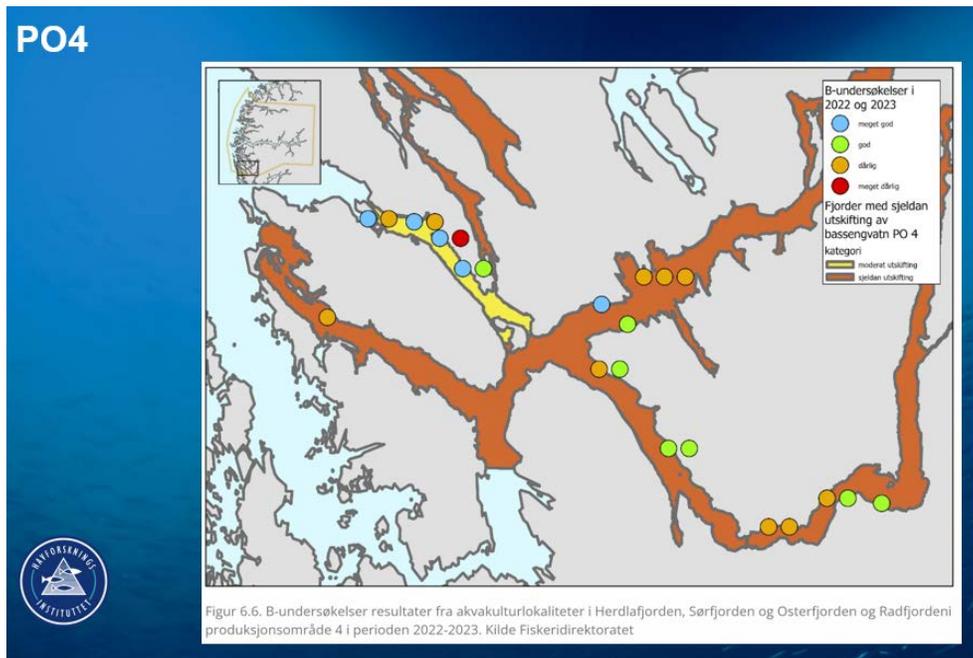


Figura 39. Resultado de los monitoreos en la zona de producción P04.

Reuniones NORCE

Como parte de la visita a NORCE, uno de los objetivos fue reunirse con investigadores vinculados a proyectos relacionados con la acuicultura sustentable. A continuación, se presenta un resumen de la información generada a partir de las reuniones:

La Dra. Dorinde Kleinegris (**Figura 40**) es investigadora principal de microalgas en NORCE y profesora asociada de biotecnología marina en la Universidad de Bergen. Tiene experiencia en ingeniería de bioprocesos, con especial atención en microalgas. En la reunión realizada nos entregó información relacionada con dos proyectos que lidera:

- **Proyecto SLAM-DUNK the SLudge Appraisal team – Developing a sustainable value chain from tank to product (El grupo de evaluación de lodos: desarrollo de una cadena de valor sostenible desde el tanque hasta el producto):**

El objetivo del gobierno noruego para el futuro es convertirse en una nación líder en productos pesqueros con 5 millones de toneladas de producción acuícola sostenible para 2050. La producción de biomasa de salmón y trucha arco iris en 2017 fue de 1,3 millones de toneladas con un volumen de lodo correspondiente de 2,1 millones de toneladas, mientras que se prevé que para 2050 el volumen de lodos alcance los 11 millones de toneladas. Para que la acuicultura sea más sostenible y esté preparada para los requisitos de emisiones más estrictos, la industria debe adoptar cada vez más soluciones de manejo de lodos. En esa dirección, SLAM-DUNK tiene como objetivo desarrollar una cadena de valor sostenible para la conversión de lodos de pescado en productos valiosos (**Figura 41**). Como tal, el proyecto no sólo trabaja en soluciones para el problema de los lodos, sino que también da valor a los lodos de la acuicultura. Se desarrollan u optimizan nuevas tecnologías de tratamiento (digestión anaeróbica, pirólisis y microalgas) y se integran para convertir los lodos en materiales potenciales para su uso en varios sectores, como la arquitectura, los bienes de consumo y los textiles (**Figuras 42 y 43**).



Figura 40. Reunión sostenida con la Dra. Dorinde Kleinegris en la Facultad de Biología de la Universidad de Bergen.

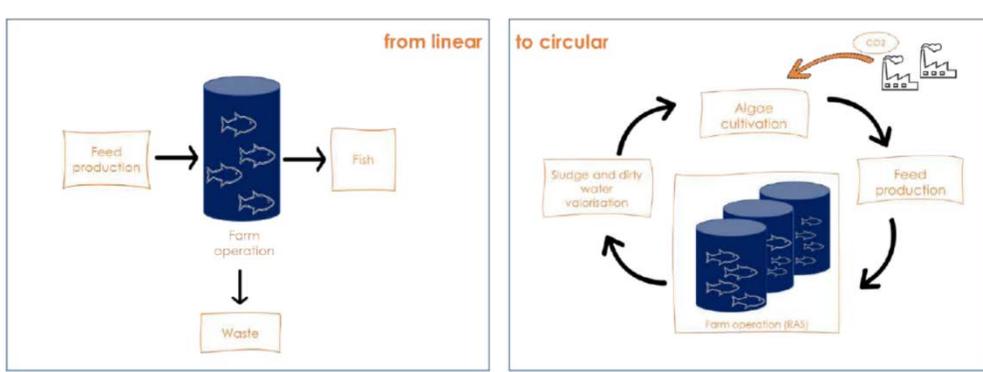


Figura 41. Desarrollo de una cadena de valor sostenible desde el tanque hasta el producto asociado al Proyecto Slam Dunk.



Figura 42. Biorreactores de microalgas del proyecto Slam Dunk.



Figura 43. Esquema del dise1o, optimizaci3n e integraci3n de nuevas tecnolog1as que buscan convertir los lodos tratados en biocombustibles o materiales para la construcci3n, como aditivos para el hormig3n. Se usan m3todos como la digesti3n anaer3bica, que descompone los lodos y genera biog3s, un combustible renovable.

• **Proyecto INNOAQUA**

Enfoques innovadores para un uso integrado de algas en prácticas de acuicultura sostenible y aplicaciones de alimentos de alto valor.

La Estrategia de la Granja a la Mesa del Pacto Verde Europeo reconoce el potencial de las algas como una fuente importante de proteínas alternativas con baja huella de carbono y su contribución a mejorar la sostenibilidad y competitividad del sector de la acuicultura. No obstante, la industria de algas en Europa aún se encuentra en una fase temprana, rezagándose en comparación con el aumento general observado a nivel global, impulsado principalmente por Asia.

En este contexto, el proyecto de la UE INNOAQUA tiene como objetivo allanar el camino hacia la próxima industria acuícola terrestre sostenible y diversificada de la UE, demostrando e integrando alimentos y soluciones innovadoras a base de algas, basadas en conceptos de ecología, circularidad y digitalización (**Figura 44**).

INNOAQUA aborda las principales barreras que obstaculizan el crecimiento del sector, comenzando con la demostración a nivel pre-comercial (TRL6-7) de la robustez operativa, técnica y socioeconómica de sistemas de cultivo RAS-IMTA de peces y algas mejorados digitalmente, seguido por la prueba de técnicas de procesamiento optimizadas según los principios de biorefinería y la formulación de productos del mar de alto valor añadido. Todo esto se acompaña de una estrategia dedicada a la minimización y valorización de residuos para ayudar a optimizar y aumentar su rendimiento económico y sostenibilidad (**Figura 45**). Además, INNOAQUA también trabaja en comprender cómo las percepciones de los consumidores y las normas sociales influyen en el consumo de productos innovadores del mar, co-creando los productos junto con los usuarios finales y simulando su aceptación en modelos digitales de comunidades para identificar estrategias efectivas de despliegue y penetración en el mercado. Por último, una estrategia de divulgación a múltiples niveles, que incluye, entre otros, materiales para el desarrollo de habilidades y actividades para fomentar la cooperación internacional, tiene como objetivo fomentar la transferencia de conocimientos y, en última instancia, ayudar a maximizar el alcance e impacto del proyecto.

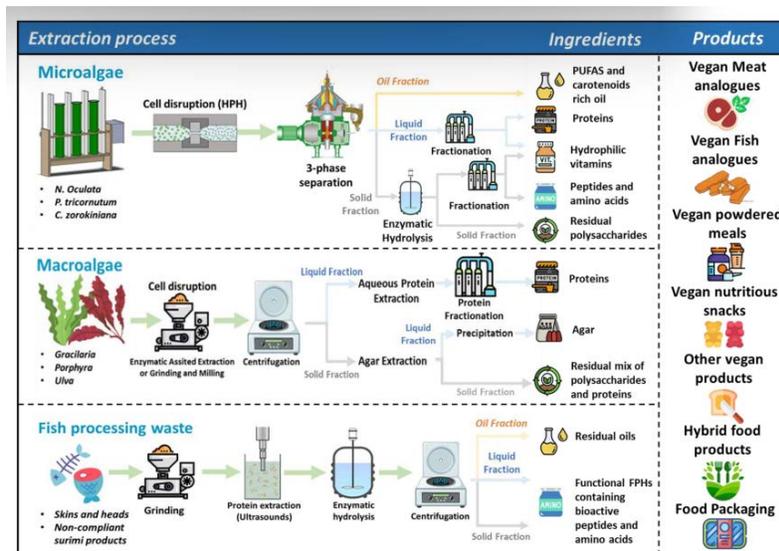


Figura 44. Productos marinos innovadores de acuerdo con el modelo del proyecto INNOAQUA.

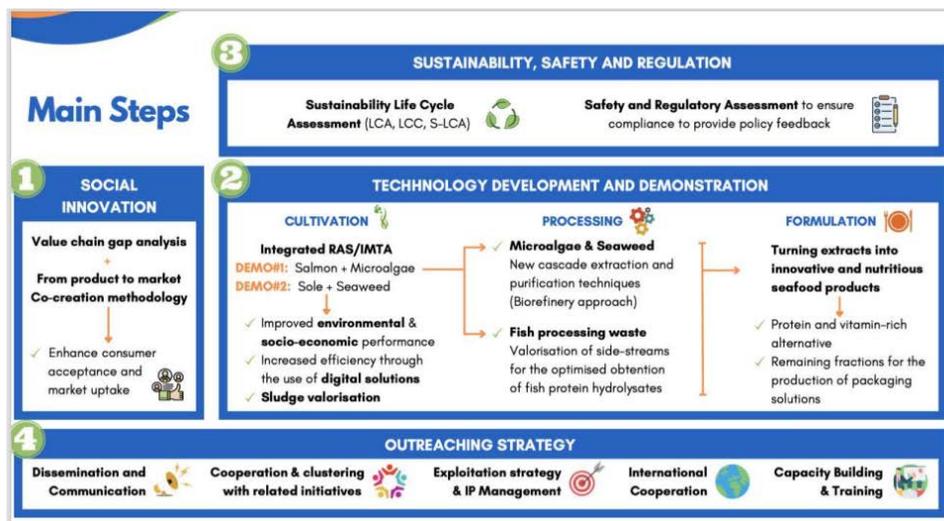


Figura 45. Esquema de los lineamientos del proyecto UE INNOAQUA.

En la reuni3n sostenida con las investigadoras Dras. Agnes Weiner y Miriam Brandt (Figura 46) se dieron a conocer los estudios llevados a cabo por el Grupo de Ecologfa Molecular y Paleogen3mica (MEP) de NORCE. Este grupo realiza estudios aplicando herramientas moleculares para abordar cuestiones ecol3gicas y climáticas básiicas. Su investigaci3n cubre agua dulce y marina, sedimentos y hielo marino y contribuye a una mejor comprensi3n y una gesti3n racional de los ecosistemas marinos y de agua dulce. Se llevan a cabo 2 lneas de investigaci3n:

- **Paleogen3mica**

Firma genética de organismos de aguas superficiales y hielo marino que se archivan en sedimentos para desarrollar ADN antiguo ambiental (ADNseda) como un nuevo sustituto para las reconstrucciones de la cubierta de hielo marino y los patrones de biodiversidad pasados. Poseen un laboratorio de última generaci3n en Bergen.

Composici3n de la comunidad en sedimentos: métodos moleculares como metac3digos de barras y PCR cuantitativa para mejorar las evaluaciones de impacto en torno a las instalaciones y actividades de petr3leo, gas y energfa e3lica marina. Estudios de referencia de la biodiversidad de las profundidades marinas destinados a evaluar los impactos a largo plazo de la minerfa en el medio ambiente de las profundidades marinas.



Figura 46. Reunión sostenida con las investigadoras del MEP-NORCE, Dra. Agnes Weiner y Dra. Miriam Brandt.

El trabajo de la Dra. Agnes Weiner, Investigadora Senior de NORCE, está relacionado con la datación de sedimentos antiguos centrándose en investigar cómo los cambios climáticos pasados y presentes afectan a las comunidades microbianas en los fiordos noruegos. Para ello utilizan núcleos (cores) de sedimento que contienen información sobre condiciones ambientales pasadas y biodiversidad, aplicando un enfoque innovador que involucra ADN antiguo. Combinan esta información con reconstrucciones de condiciones pasadas, como temperatura del agua y niveles de oxígeno, para observar las respuestas de las comunidades microbianas a los cambios ambientales, lo que ayudará a mejorar las predicciones sobre futuros cambios en los fiordos noruegos. La metodología usada incluye: la colecta de sedimentos no perturbados (por ejemplo, multicoros); descripción sedimentológica del core, escaneos magnéticos, CT y XRF; datación de sedimentos utilizando datación con Pb y ^{14}C e identificación de capas de tefra de erupciones volcánicas; reconstrucción de condiciones ambientales utilizando paleoproxies (por ejemplo, alkenonas, isótopos estables, elementos traza); reconstrucción de cambios en la biodiversidad utilizando ADN antiguo y un enfoque de metabarcoding para identificar comunidades completas.

El **proyecto MetaBridge** “Large-scale sediment environmental DNA metabarcoding for marine ecology and biomonitoring” (**Figura 47**) según lo informado por la Dra. Miriam Brandt, investigadora post-doc del proyecto, éste consiste en analizar el ADNm de muestras de sedimentos marinos para monitorear el impacto ambiental en los organismos bentónicos del sector del petróleo y el gas en alta mar mediante el uso de ADNm para encontrar la composición de especies en estaciones de monitoreo alrededor de, por ejemplo, plataformas petrolíferas, la ausencia o presencia de organismos indicadores, lo que puede proporcionar información sobre el estado ambiental del área en cuestión. Dado que el ADNm es una tecnología nueva, se requiere la estandarización de la metodología y los datos para formar la base para interpretar los resultados y desarrollar métodos para el uso rutinario del ADNm en el monitoreo del medio marino. MetaBridge creará un conjunto de datos de referencia para datos de ADNm de un gran número de estaciones de muestreo en la plataforma continental noruega e internacionalmente, y utilizará esta base para desarrollar métodos para la clasificación práctica del estado ambiental de los organismos bentónicos basados en datos de ADNm (**Figura 48 y 49**).

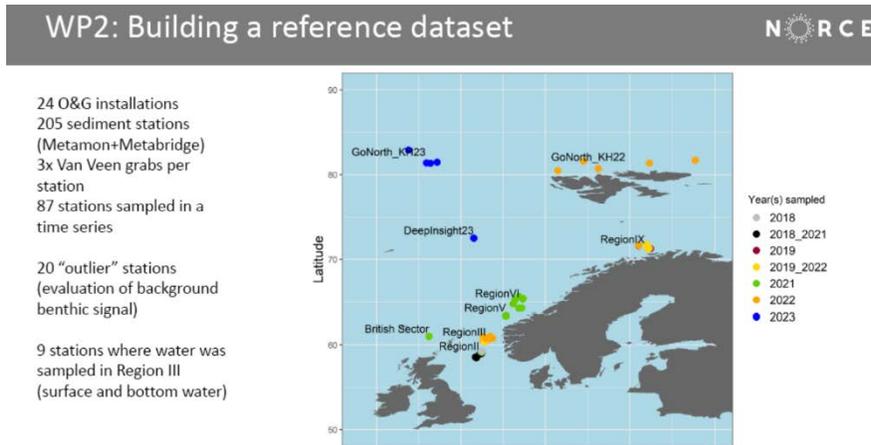


Figura 47. La imagen muestra el alcance espacial del proyecto MetaBridge.

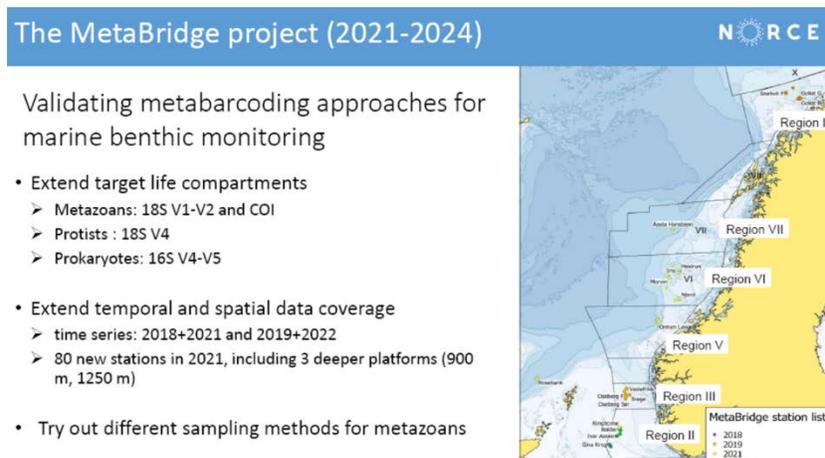


Figura 48. Resumen de la información relacionada a la validación de los enfoques de metabarcoding para el monitoreo béntico marino.

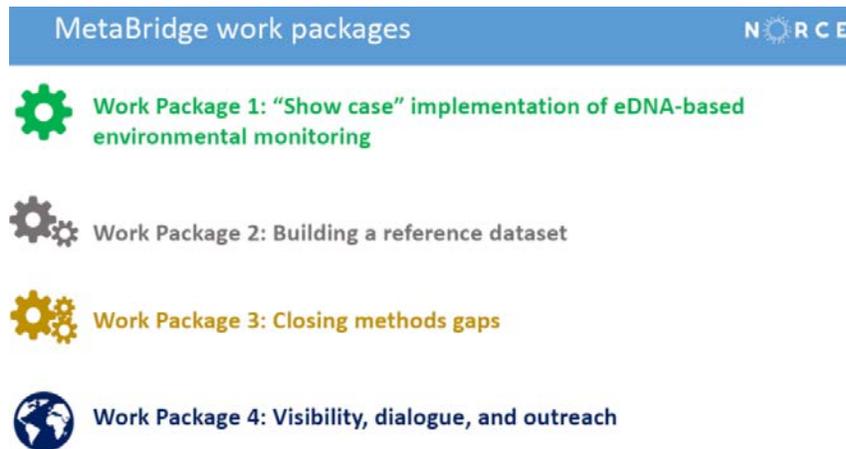


Figura 49. Paquetes de trabajo del Proyecto MetaBridge.

Comparación sistema chileno y noruego

Durante la primera reunión sostenida con el Dr. Lars Ebbesson y un representante del Ministerio de Pesca se dio a conocer a grandes rasgos la legislación ambiental relacionada a la acuicultura en Noruega, específicamente lo relacionado a los desechos producidos por los centros de cultivo de peces. En la segunda reunión con Jessica Louse Rays representante de la consultora Aqua Kompetanse AS, se pudo profundizar en los monitoreos ambientales asociados a esa actividad. En la reunión realizada con las investigadoras de NIVA, Ase Atland y Trine Dale, se abordaron las problemáticas ambientales que padece la acuicultura de salmones en Noruega. Dada toda la información recopilada es posible señalar que hay diferencias entre Noruega y Chile, en relación con la legislación sobre los desechos producidos por los centros de cultivo de salmones, específicamente en los siguientes temas:

Responsabilidad y Regulación: En Chile, la Ley General de Pesca y Acuicultura establece que la responsabilidad de mantener la limpieza y el equilibrio ecológico de la zona concedida recae en el concesionario. Este debe adoptar medidas para evitar el vertimiento de residuos y desechos, y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) es el encargado de controlar que los centros de cultivo operen dentro de las capacidades de los cuerpos de agua.

En Noruega, la Ley de Acuicultura de 2005 también establece responsabilidades, pero incluye un enfoque más proactivo del Ministerio de Comercio, Industria y Pesca, que puede prescribir regulaciones específicas para la instalación, operación y abandono de los centros de cultivo, así como para los estudios ambientales necesarios.

Enfoque en la Restauración: En Chile, aunque se establecen obligaciones para la limpieza y el manejo de desechos, no se menciona explícitamente la obligación de restauración de los sitios en caso de suspensión de actividades. La legislación noruega exige que cualquier persona que realice actividades de acuicultura deba restaurar el sitio y las áreas adyacentes si la producción se suspende, lo que incluye la eliminación de organismos y equipos. Esto refleja un enfoque más riguroso hacia la restauración ambiental. **Monitoreo y Evaluación:** Chile utiliza Informes Ambientales (INFAs) para evaluar las condiciones ambientales de los centros de cultivo, y si se determina una condición anaeróbica, se prohíbe la operación del centro hasta que se restablezcan las condiciones adecuadas. Noruega ha implementado un sistema de gestión denominado MOM (Modeling-

Ongrowing fish-Monitoring) que consiste en la integración de los elementos de evaluación de impacto ambiental, monitoreo de impacto y estándares de calidad ambiental en un solo sistema. Se introducen dos términos: (1) el grado de explotación, que es una expresión de cuánto se está utilizando el sitio, y (2) el nivel de monitoreo, que determina la cantidad de monitoreo dependiendo del impacto ambiental. Es un programa obligatorio para monitorear el impacto ambiental de la piscicultura marina en el lecho marino debajo y alrededor de la piscifactoría. El programa consiste en tres tipos de investigaciones o muestreos (**Figura 50**) (ver en detalle en los resultados del OBJ1 en la revisión de “La Legislación Internacional”):

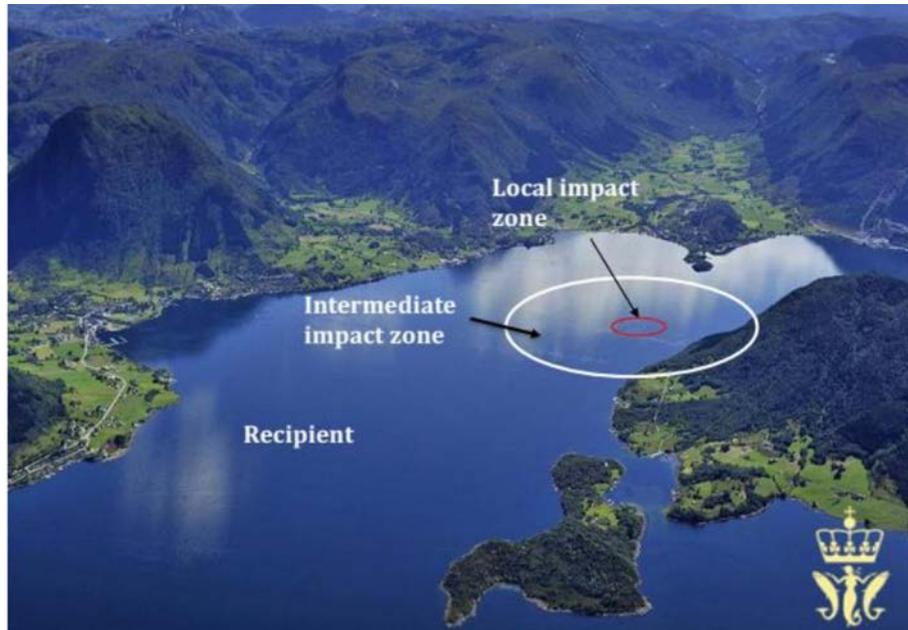


Figura 50. Zonas de impacto Modelo MOM.

- Investigación preliminar
- B- investigaciones (zona de impacto local)
- C-investigaciones (zona de impacto intermedia).

Resultados de Monitoreo: En Chile, aunque ha habido mejoras en los resultados de los INFAs, todavía se reporta un porcentaje significativo de centros en condiciones anaeróbicas. Los resultados de los monitoreos en Noruega han mostrado que más del 90% de las instalaciones son clasificadas como "buenas" o "muy buenas", lo que indica un manejo efectivo de los desechos. Los investigadores concuerdan en que la contaminación y las descargas de la piscicultura en Noruega, son un problema ambiental menor ahora, ya que este país tiene un litoral muy largo, un alto nivel de circulación y una buena calidad del agua. Además, la acuicultura ha ido migrando a zonas menos protegidas, más profundas, en donde la sedimentación de partículas es menor debido a una mejor circulación. Por otro lado, la acuicultura en tierra o "indoor" en Noruega ha estado creciendo, aunque representa una fracción más pequeña en comparación con la acuicultura en mar abierto. La acuicultura terrestre, que incluye sistemas como RAS (Recirculating Aquaculture Systems), se centra en el cultivo de peces en instalaciones controladas y ofrece ventajas, como un mejor control de las condiciones ambientales, la reducción del riesgo de enfermedades y una menor dependencia de las condiciones



marinas. Sin embargo, es un sector en desarrollo y la información precisa sobre la producción puede cambiar con el tiempo.

Impacto de la Contaminación: En Noruega, la preocupación principal ha cambiado hacia otros problemas como la propagación de enfermedades y parásitos (como el *Caligus*), lo que ha llevado a que la contaminación de los fondos no sea una prioridad actual en la gestión de la acuicultura. En Noruega la biomasa máxima se ha limitado, no por el impacto ambiental, sino por un problema sanitario con el pijo de mar, el cual afecta a los salmones en cultivo y también contagia a los salmones nativos, teniendo una separación geográfica regional basada en estudios hidrodinámico. En Chile, la regulación se centra más en el control de los desechos y la evaluación de las condiciones ambientales de los centros de cultivo, aunque también se reconoce que otros factores pueden influir en el estado ambiental.

En resumen, Noruega tiene un enfoque más integral y proactivo en la regulación y monitoreo de la acuicultura, con un énfasis en la restauración y un sistema de gestión ambiental más desarrollado, mientras que Chile se centra en la responsabilidad del concesionario y el control de los desechos, con un enfoque en la evaluación de las condiciones ambientales.

De acuerdo con la información recopilada durante la visita técnica a NORCE, si bien hay similitudes en la actividad acuícola de salmones en Chile y Noruega, existen muchas diferencias, como por ejemplo los problemas ambientales-sanitarios que enfrentan, que en el caso de Noruega corresponde al principalmente a la infección por *Caligus*, siendo el enriquecimiento orgánico de los fondos un problema menor, a diferencia de Chile. Lo anterior se observa en el reporte de riesgos 2024, en donde se presentan resultados de los monitoreos ambientales de fondo en áreas con poca circulación, y solo 3 áreas de producción de 13, presentaron un % de centros de cultivos mal evaluados ambientalmente (pobres o muy pobres) superior al 10% y no sobrepasaron el 20%. Lo anterior puede explicarse porque la acuicultura en Noruega ha ido migrando a zonas menos protegidas, más profundas, en donde la sedimentación de partículas es menor debido a una mejor circulación. Por otro lado, la acuicultura en tierra o "indoor" ha crecido, aunque representa una fracción más pequeña en comparación con la acuicultura en mar abierto. El uso de los sistemas RAS (Recirculating Aquaculture Systems) ofrece ventajas, como un mejor control de las condiciones ambientales, la reducción del riesgo de enfermedades y una menor dependencia de las condiciones marinas. Parece ser que lo más importante es el enfoque más integral y proactivo en la regulación y monitoreo de la acuicultura, con un énfasis en la restauración y un sistema de gestión ambiental más desarrollado. Noruega ha implementado un sistema de gestión denominado MOM (Modeling-Ongrowing fish-Monitoring) que consiste en la integración de los elementos de evaluación de impacto ambiental, monitoreo de impacto y estándares de calidad ambiental en un solo sistema. Si un centro es mal evaluado ambientalmente se le exige restaurar el sistema para volver a producir. Para ello existen empresas como Lift Up y Morenor que ofrecen una tecnología de captación de residuos generados en la balsas jaula antes de que sedimente, como lo ofrece la empresa Biolift en Chile. Finalmente cabe destacar también, el gran avance en investigación biotecnológica relacionada al uso de los desechos de la acuicultura para generar productos valorizados. Todo en su conjunto favorece una acuicultura del salmón más sustentable



4.3.2. Taller de expertos.

PROGRAMACIÓN DEL TALLER DE EXPERTO FIPA 2023-1 “Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos”

Martes 29 de octubre del 2024, 09:00 hrs. vía Microsoft Teams <https://acortar.link/ehh2u4>

- 09:00-09:30 Palabras de bienvenida y Presentación del proyecto **Jurleys Vellojín F./** Jefatura de Proyecto / Departamento de Medio Ambiente / División de Investigación en Acuicultura / Instituto de Fomento Pesquero.
- 09:40-11:40 Análisis de resultados entre los asistentes, para validación.
Heraldo Contreras C./ Moderador objetivo 1. (sala 1)
Carolina Sotomayor C./ Moderadora Objetivo 2 (sala 2)
Elizabeth Palta V./ Moderadora Objetivo 3 (sala 1 y 2).
- 11:45 -12:30 Presentación de conclusiones, por Objetivo.
- 12:30 -13:00 Ronda de preguntas y cierre de taller.

El día 29 de octubre de 2024 desde las 9:00 a las 11:00 horas, se realizó un taller de expertos, cerrado y vía telemática de discusión y validación de los resultados del proyecto FIPA 2023-11. Se invitó a expertos de la academia (Universidades y Centros de Investigación), de la Industria de la Salmonicultura y de Empresas de Tecnología asociadas a la salmonicultura.

1. Objetivo del taller:

El objetivo fue dar a conocer, discutir y validar las propuestas relacionadas a los siguientes objetivos específicos del proyecto:

1.- Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, tanto dentro como fuera del ámbito de la acuicultura, que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, para posteriormente compararla con el modelo de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en porciones de agua y fondo que rige en Chile.

2.- Evaluar la información existente a nivel nacional como internacional, sobre los mecanismos o sistemas tecnológicos existentes para disminuir o eliminar la sedimentación y por ende acumulación de materia orgánica en los fondos aledaños a los centros de cultivo.

2. Temas tratados:

- Presentación del proyecto con sus objetivos principales.
- Presentación de tecnologías emergentes para la prevención de sedimentación.
- Experiencias de implementación de tecnologías a nivel mundial.
- Evaluación de la efectividad de las tecnologías propuestas.
- Discusión sobre normativas y regulaciones aplicables, además de informar sobre la realización de una encuesta para poder realizar un análisis MCDA para ver factibilidad de implementación de tecnologías de prevención.



3. Opiniones de los asistentes:

- En la normativa chilena actual, existen restricciones que prohíben el dragado y el arado de los fondos marinos en áreas de concesiones acuícolas. Lo anterior, debido a los efectos negativos significativos de estas prácticas, que incluyen la re suspensión de materiales orgánicos y sedimentos acumulados en el fondo. La remoción o alteración de sedimentos genera un impacto directo en la biodiversidad del fondo y, a menudo, resulta en la liberación de sustancias tóxicas que afectan negativamente tanto al ecosistema local como a la salud de los peces en cautiverio. En el pasado, se han registrado incidentes de uso indebido de estas técnicas, algunos de los cuales derivaron en sanciones legales. La normativa actual responde a esos antecedentes para evitar que estas prácticas se repitan, ya que, si bien pueden tener beneficios operacionales temporales, los daños ambientales a largo plazo son significativos y contravienen los principios de manejo sustentable.

- La industria acuícola en Chile ha enfrentado dificultades para implementar tecnologías extranjeras, especialmente aquellas que intervienen en el manejo del fondo marino. Equipos avanzados, como aspiradoras que retiran material orgánico sin tocar el fondo, han sido propuestos por empresas internacionales, pero la legislación chilena limita su aplicación en aguas nacionales. Un ejemplo es la tecnología japonesa que succiona los desechos de las jaulas sin alteración directa del sustrato. Este marco regulatorio plantea desafíos para la industria y requiere evaluación constante frente a la evolución de las tecnologías de manejo ambiental.

- Otras ideas, como el cultivo de algas en fondos someros para absorber nutrientes y mejorar la calidad del agua, se han sugerido como alternativa de manejo. Se están utilizando modelos hidrodinámicos para mejorar la localización espacial de las jaulas en su propia concesión, pero aún falta mucho conocimiento. Con respecto al uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de las balsas jaulas, se comenta que las solicitudes de las concesiones se realizaron en áreas protegidas y no se pueden relocalizar. Algunos centros de cultivo están en áreas acuícolas de pequeño tamaño en donde no es posible una relocalización. Finalmente se pone énfasis en que la ubicación de los módulos de cultivo debe tomar en cuenta dos aspectos, por un lado, la seguridad y por otro la deposición de partículas.

- La capacidad de carga en acuicultura se refiere a la cantidad de biomasa que un sistema puede soportar sin comprometer su equilibrio ecológico. La modelación hidrodinámica avanzada ha permitido a la industria acuícola evaluar las características específicas de cada sitio, como las corrientes y la dispersión de partículas. Estos modelos ofrecen una perspectiva detallada sobre cómo el movimiento del agua afecta la dispersión de desechos, lo que contribuye a determinar si un área puede manejar mayores o menores volúmenes de producción. Sin embargo, la capacidad de carga es compleja de definir y aún está en desarrollo, especialmente en ecosistemas dinámicos como los cuerpos de agua costeros chilenos. La legislación actual establece ciertos límites basados en las condiciones anóxicas del fondo, pero la necesidad de integrar estos conocimientos más avanzados en las normativas podría optimizar la sostenibilidad, facilitando que las empresas ajusten su producción según las condiciones locales de cada concesión.

- En el ámbito de los centros de cultivo acuícolas, se está promoviendo la automatización del proceso de alimentación de peces y la incorporación de cámaras submarinas de alta calidad. Estas cámaras permiten monitorear el comportamiento de los peces y detectar desperdicios de alimento, lo que ayuda a reducir pérdidas y mejorar la eficiencia del proceso. Sin embargo, la definición de "alimentación remota" puede variar: algunos centros la operan desde oficinas ubicadas en lugares alejados de las instalaciones, mientras que otros utilizan un control más cercano. La verdadera importancia radica en el uso de estas cámaras, que ofrecen una visión en tiempo real del comportamiento de los peces y del desperdicio de alimento, y en contar con alimentadores



especializados para optimizar el proceso, independientemente de si la automatización se gestiona de forma local o remota.

- La implementación de jaulas sumergibles para centros de cultivo es una tecnología en desarrollo, que ya se está probando en Chile y que ofrece beneficios significativos, como la reducción del riesgo de parásitos que suelen encontrarse en los primeros centímetros de profundidad. Estas jaulas también son útiles en áreas expuestas a temporales, permitiendo mantener condiciones óptimas en lugares con oleajes y condiciones adversas. No obstante, su costo es considerablemente alto, lo que plantea la necesidad de evaluar su viabilidad en función del costo-beneficio. Las pruebas actuales indican que esta tecnología podría ser especialmente beneficiosa en el litoral chileno debido a las condiciones de oxígeno y temperatura. El uso de jaulas sumergibles podría abrir nuevas oportunidades para la expansión de la acuicultura en áreas hasta ahora poco exploradas, siempre y cuando se establezcan normativas claras y se realicen análisis económicos detallados.

- La regulación de centros de cultivo requiere el monitoreo de indicadores ambientales, como la presencia de condiciones anaeróbicas. Sin embargo, se ha debatido la efectividad de los métodos actuales, que se basan en observaciones visuales de manchas bacterianas para determinar si un área es anaeróbica en los centros ubicados en fondos duros y semi duros. Esta metodología, según algunos expertos, es limitada, ya que puede no reflejar las verdaderas condiciones de oxígeno en el ambiente. El avance en técnicas de identificación de bacterias específicas y la medición directa de estos indicadores podrían proporcionar una visión más precisa de las condiciones en cada centro de cultivo. Mejorar estos métodos ayudaría a tomar decisiones de manejo más fundamentada y menos restrictiva, optimizando así la regulación en función de datos más detallados y precisos.

- Los proyectos de remediación en centros de cultivo buscan mejorar la calidad ambiental en zonas afectadas. A través de colaboraciones entre productores, centros de investigación y la industria, se están estudiando diferentes metodologías para una evaluación ambiental más precisa. La caracterización de microorganismos en distintas regiones y la recopilación de materia orgánica de cada centro son estrategias clave para mejorar la regulación actual. Este tipo de estudios contribuyen a mejorar la remediación de centros y ayudan a evitar el cierre innecesario de operaciones en base a datos inexactos. La cooperación entre el sector productivo y los investigadores es fundamental para el avance de estas iniciativas, que buscan no solo cumplir con las normativas, sino también desarrollar un sistema de monitoreo ambiental robusto y específico para las diferentes realidades geográficas de Chile.

- La investigación se está enfocando en relacionar especies específicas con zonas aeróbicas y anaeróbicas en fondos marinos. Esta correlación tiene el potencial de arrojar resultados sobre el impacto de las condiciones ambientales en especies marinas, guiando el manejo de centros de producción de categoría 4. Se planea implementar grabaciones submarinas y estudios de campo para comprender la biodiversidad en estas zonas. Además, se sugiere que la industria podría cubrir los costos de estudios de fondo adicionales para analizar la presencia de bacterias y otros organismos marinos.

- Existe interés en la industria por investigar los fondos marinos y su estado sanitario y ambiental. Empresas del sector participan activamente en proyectos, apoyando investigaciones que buscan analizar las condiciones de centros de categoría 4. Se han comenzado análisis estadísticos y revisiones históricas de datos para entender mejor las interacciones entre los parámetros ambientales y los organismos presentes, siendo un esfuerzo de largo plazo que necesita continuidad en el tiempo para obtener resultados significativos.

- Se discuten los límites de aceptabilidad establecidos en la normativa para centros anaeróbicos de categoría 4, sugiriendo una posible revisión. Actualmente, se considera anaeróbico si hay presencia de mantos bacterianos en dos de ocho transectos, pero se propone una flexibilización de este criterio, ampliando el rango. Este debate se enmarca en una reflexión sobre cómo la normativa debería



reflejar la realidad ambiental observada en el fondo marino, considerando la presencia de organismos diversos en zonas que actualmente se clasifican como anaeróbicas.

- Existen diversos proyectos de investigación como FIPA y FONDEF en los que participan universidades y la industria para estudiar los fondos marinos y desarrollar indicadores bacterianos de aerobia/anaerobia. Estos proyectos buscan proponer métodos y herramientas prácticas, como un kit de análisis rápido, que permitan evaluar la salud del fondo marino de manera ágil. Aunque están en etapas iniciales, el objetivo es disponer de nuevas métricas para que el sector productivo cuente con datos confiables en la toma de decisiones regulatorias y ambientales.

3. Conclusiones:

- Se identificaron varias tecnologías prometedoras y se acordó realizar un análisis más profundo sobre su viabilidad en el contexto local.
- Los expertos coincidieron en la importancia de la colaboración interempresarial para el desarrollo de soluciones efectivas.
- Se estableció un compromiso de seguimiento para monitorizar la implementación y los resultados de las tecnologías discutidas.

4. Acuerdos:

- Se realizó una encuesta detallada sobre cada tecnología presentada. Esta información se registra en una base de datos y se utilizó para formular la propuesta y conclusiones de este proyecto.
- Se realizará un taller de difusión con los resultados finales del proyecto, para revisar avances en las tecnologías seleccionadas.

5. Cierre del Taller:

El taller concluyó exitosamente a las 11 hrs., agradeciendo la participación de todos los asistentes y destacando la importancia de la cooperación entre el sector privado y las instituciones de Investigación.

6.- Asistentes

Expertos:

1. [Gerardo Marti; Biolift]
2. [Alex Brown, Biolift]
3. [Mauricio Bueno, Kran SPA]
4. [Felipe Garcia, Kran SPA]
5. [Marcelo Vargas, Ventisqueros]
6. [Geisy Urrutia, Multiexport]
7. [Felipe Santana, Kran SPA]
8. [Felipe Tucca, Intesal]

Funcionarios del Instituto de Fomento Pesquero:

1. [Jurleys Vellojín]
2. [Johana Ojeda]
3. [Carolina Sotomayor]
4. [Pamela Ramirez]
5. [Heraldo Contreras]
6. [Rodrigo Jaramillo]
7. [Vladimir Murillo]

4.3.3. Propuesta de mejoras y análisis económico a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura.

Propuesta de mejoras modelos de evaluación ambiental.

A partir de las revisiones realizadas respecto a los modelos de evaluación ambiental de la acuicultura y los respectivos indicadores químicos y biológicos del impacto en la columna de agua y fondos marinos, el trabajo académico con estos indicadores y la descripción de al menos 4 modelos de gestión de la evaluación ambiental en países con acuicultura de salmón, podemos ver patrones que se repiten y que deseamos tratar a continuación.

Por una parte, es importante entender las magnitudes de la producción, en este sentido el país que presenta mayor similitud con Chile es Noruega, con magnitudes cercanas al millón de toneladas anuales (Iversen et al., 2020), por tanto, la información de su modelo de gestión ambiental de la acuicultura y trabajo científicos realizados en el marco de esta temática puede ayudarnos a tener una mirada más cercana a la realidad chilena. A su vez, el trabajo de otros países como Escocia, Canadá e Irlanda a pesar de ser industrias con una producción cercana al 10% de la producción de Chile, son acuiculturas con un crecimiento positivo y constante en los últimos años (Iversen et al., 2020), por tanto, sus estrategias también pueden darnos información de como crecer de manera sostenible, pero que debe ser adaptada a la realidad país.

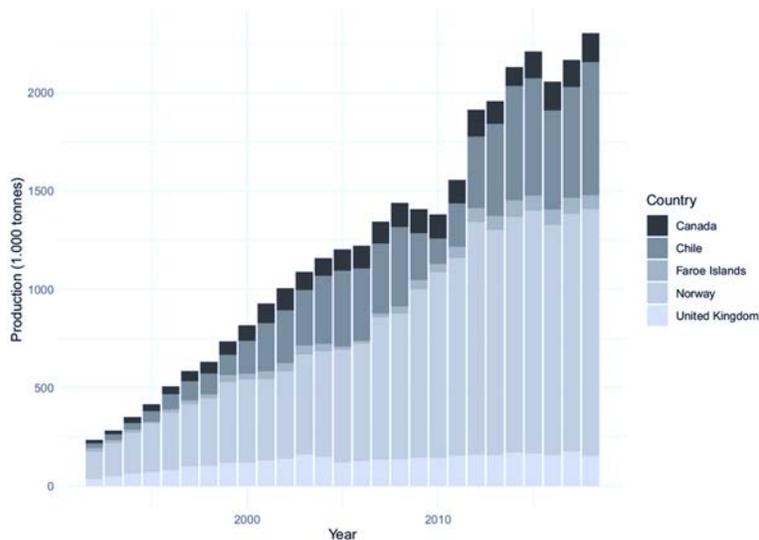


Figura 51. Producción de salmón del Atlántico en los cinco mayores países productores. (Iversen, et al., 2020).



I. Restricción de la biomasa total.

Las restricciones de las biomazas de cultivo, es una medida que podemos ver en todas las legislaciones revisadas, sin embargo, las bases para poner estos límites varían.

En Canadá e Irlanda las restricciones en la biomasa máxima total o en las densidades de cultivo cantidades designadas por el estado según evaluación interna. Aunque Noruega es uno de los países con mayor similitud a Chile en tema de magnitudes de cultivo, no posee los mismos desafíos ambientales, sino que tiene mayores desafíos a niveles sanitarios en especial con el piojo de mar, escape de salmones y la relación con su Salmo nativo (Zhang, et al., 2023). Sus biomas son definidos por la evaluación de la infectividad del piojo de mar, como se expuso anteriormente, sin embargo, se pueden evaluar las medidas que han permitido que Noruega presente menores problemas ambientales (Henrik Rye Jakobsen et al., 2019).

En Escocia los cuerpos de agua tienen una capacidad de carga determinada, esto quiere decir que hay un límite en toneladas que define cuando puede aguantar cada sector, esto basada en un exhaustivo estudio que se realiza sobre la base de modelos de impacto bentónicos que trabajan con modelos hidrodinámicos generados por la Marine Scotland science (MSS) y datos de nitrógeno y carbono orgánico, que se actualiza regularmente (Scottish Government, 2024). Escocia tiene un sistema de biomasa máxima total, pero se adapta al cuerpo de agua, esta modalidad la veremos más adelante.

En Chile la densidad de siembra de cultivo se estima según dos posibles regímenes, a nivel de agrupación de concesiones de Salmones (ACS) y a nivel de titular. Las ACS son agrupaciones que se hacen en base a las macrozonas sanitarias, que son grandes áreas de costa y mar que se establecen para aislarse sanitariamente, y así contener brotes de enfermedades (SERNAPESCA, 2024). Los titulares por otra parte son operadores que tienen a su nombre más de un centro de cultivo, según el desempeño de sus centros, pueden definir densidades para ellos.

A nivel de ACS se definen las densidades por: mortalidad en un 55%, proyección de siembra en un 35% y en evaluación ambiental solo un 10%. A nivel de titular se definen las densidades por: mortalidad, uso de antibióticos e indicadores sanitarios de infectividad de peces, como se explica en la R.EX. N°01773/20024. El método por ACS presta poca relevancia al lado ambiental, busca minimizar las pérdidas y desincentivar el crecimiento, pero tiene la ventaja de agrupar sectores unidos hidrodinámicamente entre sí, por otra parte, el método basado en el titular no desincentiva el crecimiento, pero su agrupación no tiene bases ecosistémicas y no toma en cuenta ninguna variable ambiental.

Tabla 35. Calificación de la AC en Chile (Silva et al., 2022): a. elemento ambiental, b. elemento sanitario, c. elemento productivo y d. nivel de bioseguridad.

a. Calificación de la AC según elemento ambiental (INFA) en régimen de densidades.

Elemento Ambiental - INFA	Puntaje	Valor
75,1% -100% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	100	10%
50,1% - 75% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	75	
25,1% - 50% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	50	
0,0% - 25% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	25	

b. Calificación de la AC según elemento sanitario (pérdidas) en régimen de densidades.

Elemento Sanitario - Pérdidas	Puntaje	Valor
0% a 5%	100	55%
Mayor a 5 hasta 15%	75	
Mayor a 15 hasta 17%	50	
Mayor a 17 hasta 20%	25	
Mayor a 20%	0	

c. Calificación de la AC según elemento productivo (proyecciones de siembra) en régimen de densidades.

Elemento Productivo - Proyecciones de siembra	Puntaje	Valor
0% a 60% respecto abastecimiento periodo anterior	160	35%
Mayor a 60 a 80% respecto abastecimiento periodo anterior	120	
Mayor a 80 a 100% respecto abastecimiento periodo anterior	100	
Mayor a 100 a 103% respecto abastecimiento periodo anterior	40	
Mayor a 103 a 106% respecto abastecimiento periodo anterior	-40	
Mayor a 106% respecto abastecimiento periodo anterior	-100	

d. Máxima densidad permitida por jaula en una ACS según nivel de bioseguridad. Chile.

Puntaje clasificación bioseguridad	Nivel de Bioseguridad	Densidad permitida en cada jaula de la ACS
> 90	Alta	Salar: 17 kg/m ³ Trucha: 12 kg/ m ³ Coho: 12 kg/m ³
> 80 - 90	Media	Salar: 15 kg/m ³ Trucha: 11 kg/ m ³ Coho: 11 kg/m ³
> 70 - 80	Baja 1	Salar: 13 kg/m ³ Trucha: 10 kg/ m ³ Coho: 10 kg/m ³
> 60 - 70	Baja 2	Salar: 11 kg/m ³ Trucha: 8 kg/ m ³ Coho: 8 kg/m ³
> 50 - 60	Baja 3	Salar: 8 kg/m ³ Trucha: 6 kg/ m ³ Coho: 6 kg/m ³
< 50	Baja 4	Salar: 4 kg/m ³ Trucha: 3 kg/ m ³ Coho: 3 kg/m ³

Entonces tenemos dos regímenes que se basan principalmente en lo sanitario, esto por los históricos usos problemáticos de antibióticos que ha tenido Chile a lo largo de los años (Millanao, et al., 2011). Que a pesar de que es un aspecto positivo atacar estos problemas, tenemos dos regímenes de cálculo de densidades de siembra en el que uno minimiza el impacto ambiental y otro que no lo toma en cuenta.

Cada regulación debe trabajar en sus problemas locales, como por ejemplo Noruega, que trabaja en sus problemas sanitarios, porque no presenta significativos problemas medio ambientales, su regulación de biomasa es coherente con su realidad país. En Noruega los resultados de los monitoreos ambientales para el período 2012-2016 han mostrado el estado ambiental en promedio de más del 90% de las instalaciones calificado como “buenas” o “muy buenas” (Henrik Rye Jakobsen et al 2017).

Sin embargo, en Chile, cuyos problemas ambientales son importantes e históricos (Buschmann, 2001; Niklitschek et al., 2013; Quiñones et al., 2019), la regulación debe tomar en cuenta las emisiones de contaminantes ambientales y la contaminación del lecho marino en su determinación de densidades. Como vimos anteriormente es importante que la revisión de las densidades de cultivos se condicione a la realidad país: tenemos Noruega que busca regular sus problemas sanitarios con el piojo de mar y el salmón nativo, y Escocia que realizó una estructuración para analizar las capacidades de sus cuerpos de agua en respuesta a sus desafíos medioambientales. Además, es importante que la regulación sea clara e integrada, ya que en casos como Canadá donde las regulaciones de la acuicultura son a nivel de estados y las densidades se definen por opinión experta, se han visto deficiencias en su sistema de gestión (Lee, A., & de Repentigny, 2019). A pesar de que Chile trabaja en su regulación de uso de antibióticos, es necesario generar un sistema de regulación de biomasa que nivele la importancia de las variables ambientales al cálculo de densidades de cultivo.

II. Incorporación de índices adicionales.

• Índices bióticos AMBI

Durante las últimas décadas diversos estudios han abordado esta temática en Chile:

- **SUBPESCA 4728-50-LP13:** Elaboración de un catastro de macrofauna bentónica y la aplicación de índices biológicos para la evaluación ambiental de las comunidades bentónicas submareales. (2014)
- **FIPA 2016-02:** Levantamiento de información de las comunidades bentónicas submareales de fondos blandos y caracterización de su condición ambiental usando índices biológicos (AMBI) y variables físicas y químicos en la zona sur (1ra etapa) (2018).
- **FIPA 2018-21:** Levantamiento de información de las comunidades bentónicas submareales de fondos blandos y la aplicación de índices biológicos para su evaluación ambiental, Zonas Norte a la Centro-Norte (Segunda Etapa).
- IFOP ha generado información de macrofauna bentónica a través de los monitoreos regulares del proyecto (ex ASIPA) “**Desempeño ambiental de la acuicultura y sus efectos en los ecosistemas de emplazamiento**”, el cual se realiza desde el año 2011 a la fecha. En este sentido en el Instituto ha formado un equipo de investigación con destacada experiencia y capacidades para el estudio de estas comunidades, con aspectos que van desde su taxonomía, ecología comunitaria y validación de índices basados en estas comunidades. Todos los resultados de estos estudios se ven reflejados en una plataforma de web llamada “**macroinfauna.cl**”. La cual ha sido utilizada como guía taxonómica para la identificación de los diferentes grupos que forman parte de estas comunidades.

Por otro lado, la Universidad Austral de Chile junto con Subpesca, mediante el Proyecto FIC-R- 2012, desarrolló una plataforma web para la implementación del índice AMBI en la normativa ambiental sectorial, la cual recibe el nombre de **MACROBENT**. Al finalizar ese estudio, en el año 2022 esta plataforma paso a ser administrada por IFOP. Ambas plataformas se retroalimentan en la información que entregan, las cuales podrán ser utilizadas como antecedente de referencia para consultas por parte de los usuarios de las diferentes consultoras y personas del ámbito científico.

Actualmente, MACROBENT está en condiciones de poder ser visitada por los usuarios, y realizar algunas actividades como son cálculo de AMBI, carga y descargar de información, etc. Sin embargo, el servicio de identificación de especies se encuentra cerrado.

Definir la red de expertos que apoyaran en la identificación de los diversos organismos solicitados por parte de los usuarios requiere de:

- Evaluar la demanda por parte de usuarios de este servicio
- Evaluación de costos y tiempo de entrega de la identificación e información solicitada.
- Evaluación económica de los requerimientos técnicos y humanos para la creación de una Unidad o área específica encargada del modelo de gestión de la información de macrofauna bentónica en el tiempo.

En el trabajo Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura chilena a escala de ecosistemas de Soto, D, et al., 2020, se hace una propuesta AMBI que se recomienda revisar para este propósito.



Figura 52. Alguna de las especies indicadoras de la evaluaci3n de la condici3n ambiental de fondos blandos con AMBI.

- **3ndice de eutroficaci3n para la evoluci3n ambiental de la columna del agua.**

La actual regulaci3n ambiental de la acuicultura en Chile no considera los nutrientes como indicadores del estado del ecosistema en las zonas de emplazamiento de cultivos marinos. En la evaluaci3n ambiental de estos sistemas, el 3nico par3metro de la columna de agua que se mide es el ox3geno disuelto (OD) a 1 metro del fondo marino, lo que deja de lado otros procesos biogeoqu3micos clave, como la eutrofizaci3n. Esta omisi3n limita la capacidad de evaluar de manera integral los impactos de la acuicultura en los ecosistemas costeros, especialmente en zonas de alta producci3n.

- **Importancia de la Evaluaci3n de Nutrientes en la Acuicultura.**

La incorporaci3n del monitoreo de nutrientes en la evaluaci3n ambiental de la acuicultura es una pr3ctica ampliamente utilizada en modelos internacionales. Diversos estudios han demostrado que el aporte de nitr3geno y f3sforo desde los centros de cultivo puede alterar la calidad del agua, favoreciendo procesos de eutrofizaci3n y cambios en la biodiversidad de los ecosistemas acu3ticos.

La eutrofizaci3n es un fen3meno que ocurre cuando el exceso de nutrientes, especialmente nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), f3sforo total (P) y 3cido sil3cico (SiO_3^{2-}), estimula el crecimiento descontrolado de fitoplancton y macroalgas. Esto puede derivar en:

- Floraciones de algas nocivas (FAN)
- Reducci3n del ox3geno disuelto en el agua por la descomposici3n de materia org3nica
- Alteraci3n de las comunidades biol3gicas en el ecosistema acu3tico
- Incremento en la sedimentaci3n de materia org3nica, afectando los fondos bent3nicos

Pa3ses como Noruega, Canad3, Escocia e Irlanda han incorporado mediciones de nutrientes en sus modelos de evaluaci3n ambiental para identificar y gestionar el impacto de la acuicultura en la columna de agua. En estos pa3ses, las mediciones de OD se complementan con el monitoreo de concentraciones de nutrientes en diferentes profundidades y per3odos de producci3n.

Fuentes de Nutrientes en las Zonas de Acuicultura y su Evaluación en Chile.

Uno de los argumentos que han limitado la incorporación del monitoreo de nutrientes en Chile es la existencia de múltiples fuentes de origen desconocido. Sin embargo, estudios recientes han avanzado en la identificación de los principales aportes de nutrientes en zonas costeras chilenas. Entre los principales orígenes se encuentran:

- Aportes fluviales: Ríos que descargan grandes volúmenes de nutrientes desde la tierra hacia el mar, principalmente por efecto de la actividad agrícola e industrial (Vargas et al., 2011, 2017; Silva & Vargas, 2014).
- Mareas y masas de agua oceánicas: Fenómenos como la surgencia costera pueden transportar nutrientes desde aguas profundas hacia la superficie, alterando la disponibilidad de estos compuestos en zonas de cultivo (Pedraza et al., 2017; Linford et al., 2023).
- Actividad antropogénica: Aguas residuales y descargas industriales también pueden contribuir al aumento de la carga de nutrientes en algunas zonas costeras.

Si bien estas fuentes pueden generar ruido en la evaluación, el monitoreo regular de la columna de agua permitiría establecer tendencias en el tiempo y diferenciar entre aportes naturales y aquellos derivados de la acuicultura.

Aplicabilidad del Monitoreo de Nutrientes en Chile.

Para adaptar el monitoreo de nutrientes en la regulación ambiental chilena, se podrían considerar estrategias implementadas en otros países, como:

1. Mediciones regulares de nutrientes en la columna de agua

- Implementación de monitoreos periódicos en zonas de alta producción acuícola y comparación con estaciones de referencia.
- Inclusión de parámetros como NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , P total y SiO_3^{2-} en los análisis de calidad de agua.

2. Estudios de carga de nutrientes en diferentes cuerpos de agua

- Evaluación del aporte neto de nutrientes en zonas con y sin actividad acuícola.
- Uso de modelaciones hidrodinámicas para determinar la capacidad de carga de cada zona productiva.

3. Integración del monitoreo de eutrofización en la gestión de la acuicultura

- Incorporación de un índice de eutrofización en el sistema de monitoreo ambiental, similar a los utilizados en Noruega y Canadá.
- Desarrollo de estrategias de mitigación, como la rotación de cultivos, el uso de biofiltros naturales y la implementación de acuicultura multitrófica.



4. Desafíos y Beneficios de su Implementación.

Si bien la incorporación del monitoreo de nutrientes en la regulación chilena conlleva desafíos operativos y económicos, los beneficios a largo plazo superan los costos iniciales. Entre los principales desafíos se encuentran:

- Costo de implementación: Requiere inversión en equipos, personal capacitado y análisis de laboratorio.
- Coordinación con otros sectores productivos: Se necesita colaboración con la industria pesquera, agrícola e industrial para diferenciar fuentes de nutrientes.
- Gestión de datos y modelamiento: Es necesario integrar los resultados en modelos predictivos para evaluar tendencias y riesgos.

Sin embargo, los beneficios de incluir los nutrientes en la evaluación ambiental de la acuicultura son significativos:

- Mejor comprensión del impacto de la acuicultura en los ecosistemas marinos.
- Capacidad de anticipar y mitigar eventos de eutrofización y floraciones algales nocivas.
- Mayor sostenibilidad y adaptación de la industria acuícola a normativas internacionales.
- Posicionamiento de Chile como un líder en producción acuícola responsable y basada en evidencia científica.

El monitoreo de nutrientes en la columna de agua es una herramienta fundamental para la evaluación ambiental de la acuicultura. Si bien la regulación chilena se basa principalmente en el oxígeno disuelto a 1 m del fondo marino, la incorporación de parámetros como nitratos, nitritos, amonio y fósforo total permitiría una evaluación más completa del estado del ecosistema y de los aportes de la acuicultura al ambiente. La experiencia internacional demuestra que la gestión adaptativa de la acuicultura, basada en la capacidad de carga de los ecosistemas y el monitoreo de indicadores químicos y biológicos, es clave para garantizar una producción sostenible. Implementar este enfoque en Chile contribuiría no solo a la protección del medio ambiente, sino también a la resiliencia y competitividad de la industria acuícola en el contexto global.

Variables ambientales para monitorear:

- Plano batimétrico y de ubicación de las estaciones de muestreo o medición.
- Correntómetro euleriano.
- Oxígeno disuelto en la columna de agua.
- Temperatura en la columna de agua.
- Conductividad/salinidad en la columna de agua.
- Nutrientes: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , y DSi

Otros países que miden nutrientes en la columna del agua

Noruega: Realiza mediciones nitrógeno total y cobre en la estación más cercana al centro. A petición de las autoridades se puede exigir también fósforo total, zinc y trazas de ácidos grasos e isótopos estables.

Escocia: Nitrógeno disuelto

Variables biogeoquímicas del agua claves para análisis del estado de eutroficación de sistemas costeros.

- Nutrientes disueltos como NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , y DSi y fósforo total, los cuales se analizan mediante métodos colorimétricos en un espectrofotómetro UV-VIS. Los nutrientes como NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , las muestras se pueden filtrar, congelar y almacenar hasta su análisis, estas muestras pueden ser analizadas en laboratorios presentadores de servicio. Para las muestras de DSi, se filtran y se almacenan a temperatura ambiente, estas muestras pueden ser también analizadas en laboratorios presentadores de servicio. En cambio, las muestras para amonio son difíciles de conservar. Dentro de las estrategias para obtener información válida sobre la concentración de amonio real de muestras de agua, se ha optado por analizar muestras *in situ*.
- Clorofila a (Chl-a), se muestre a través de la toma de agua *in situ*, posterior se filtra con filtros GF/C y en laboratorio se extrae el pigmento con acetona y se mide espectrofotométrica o fotométricamente (UV-VIS o Trilogy Laboratory Fluorometer).
- Fitoplancton: Las especies de fitoplancton se identificaron según su morfología mediante microscopía óptica (Olympus BX51).

5. Índice de eutroficación.

Para poder implementar un índice de calidad del agua o eutroficación en áreas cercanas a las zonas de acuicultura se debe realizar una serie de mediciones de parámetros ambientales descritos anteriormente. Métodos como el descrito por Primpas et al., (2010) se utiliza para determinar niveles de nutrientes y estado trófico en función de los valores de índice de eutroficación (IE). EL IE cual se calcula a partir de las concentraciones medidas de fósforo, amonio, Nitrato, nitrito, y clorofila – a, utilizando la siguiente ecuación:

$$E.I. = 0.279C_{\text{PO}_4} + 0.261C_{\text{NO}_3} + 0.296C_{\text{NO}_2} + 0.274 C_{\text{NH}_3} + 0.214C_{\text{chl}_a}$$

donde C es la concentración medida de las variables (nitrito, nitrato, amoníaco, fósforo en μM y Chl a, en $\mu\text{g L}^{-1}$)

El valor EI se utiliza luego para clasificar el nivel de nutrientes como ultraoligotrofia con $EI < 0,04$; oligotrofia con $0,04 < EI < 0,38$; mesotrofia con $0,38 < EI < 0,85$; eutrofia con $0,85 < EI < 1,51$ y distrofia con $EI > 1,51$ (Primpas y otros, 2010).

Este como otros índices de eutroficación, requieren información de la concentración de amonio, los cuales no son considerados en monitoreo de evaluación ambiental.

Tabla 36. Índices de eutrofización en la columna de agua y sus autores.

N°	Índices	Variables	Referencia
1	Índice de eutrofización	DQO, DIN y DIP	Jiang et al., 2018
2	índice compuesto de eutrofización	DQO, DIN y DIP	Lin et al., 2020
3	Índice estacional de eutrofización	TIN, PO4, biomasa de fitoplancton (medida como Chl a)	Ryan et al., 2008

- DQO Demanda Química de Oxígeno
- DIP Fosforo Inorgánico Disuelto
- DIN Nitrógeno Inorgánico Disuelto
- TIN Nitrógeno inorgánico Total

- **Evaluación ambiental en fondos duro y semi-duro**

Considerando la información antes expuesta, se proponen los siguientes cambios o mejoras en el mecanismo de evaluación ambiental en los centros de categoría 4:

En relación con las filmaciones submarinas realizadas con el objetivo de observar presencia-ausencia de cubiertas de microorganismos, se propone aumentar el porcentaje de cobertura de las cubiertas bacterianas como límite de aceptabilidad (Cuadrícula como en Canadá). También se propone el aumento distancia actualmente de monitoreo desde la base jaula (actualmente 5 metros). La normativa de Canadá para la evolución ambiental de la acuicultura, con respecto a los fondos duros se realiza la siguiente evaluación:

Para monitoreo en fondo duro, se realiza un monitoreo con video en el cual son 2 estaciones mínimas en la FZ en cultivos de hasta 200.000 peces y un aumento de 2 estaciones cada 100.000 peces adicionales a la biomasa basal, donde los mantos de *Beggiatoa* o bacterias similares, lombrices marinas o sustrato estéril no deben superar el 70% de cobertura. Frente una falla se debe aumentar el número de puntos de muestreo según evaluación experta, se reevalúa los márgenes de la FZ. Se realizan transectos de videos hasta los 140 m desde el margen delimitado de la FZ hacia el exterior. Entre los 100 y 124m los mantos de *Beggiatoa*, bacterias o gusano no deben superar el 10% de cobertura y no deben haber más de cuatro segmentos del total del sector evaluado con presencia de estos organismos. Entre los 116 y los 140m los mantos de *Beggiatoa*, bacterias o gusanos no deben superar el 10% de cobertura y no debe haber más de dos segmentos con presencia de estos organismos. Frente a una falla no se puede realizar un nuevo ciclo productivo hasta que no se realice una evaluación positiva del sector.

A pesar de estas limitaciones, el monitoreo por video puede mostrar evidencia de enriquecimiento de materia orgánica en sitios de acuicultura a través de la presencia de tapetes bacterianos similares a *Beggiatoa spp.*, complejos poliquetos oportunistas (OPC) y materia floculante (Hamoutene et al., 2015), denominados "indicadores visuales".

Tabla 37. Límites de aceptabilidad de evolución ambiental de fondos duros (Categoría 4).

Variable	Límite aceptabilidad
Oxígeno disuelto (1 m fondo)	≥ 2,5 mg/L
Registro visual	N° de transectas igual o menor a 2, con presencia de cubierta de microorganismos visibles y/o burbujas de gas.

En relación con las filmaciones submarinas, una vez observada la cubierta bacteriana, se propone la toma de muestras con un sistema remoto submarino (ROV) portátil para la identificación de las bacterias (DNA ambiental, gen ARNr 16S).

En cada estación de monitoreo, ya sea de fondo duro o semiduro, con el propósito de obtener una medición más exacta de la concentración de oxígeno disuelto presente en el agua que cubre los mantos blanquecinos, será tomada una muestra de agua con botella Niskin, la cual será desplegada lo más cerca del fondo y una vez en la cubierta de la embarcación se medirá *in situ* la concentración de oxígeno con un multiparamétrico. Para verificar la confiabilidad de los registros de oxígeno, se elegirá una de las estaciones para medir el oxígeno disuelto con el método de Winkler con el propósito de asegurar la calibración del equipo CTDO y del multiparamétrico.

Se considera pertinente incluir la recolección de muestras de agua para análisis de nutrientes, particularmente nitrato, que suelen estar relacionados con la presencia de estas bacterias gigantes (Gallardo et al, 2013, Teske & Salman, 2014).

III. Tiempo de descanso

El tiempo de descanso o barbecho (es decir, el retiro temporal de áreas cultivadas) tiene dos propósitos principales: (1) evitar un deterioro ambiental significativo para los fines del cumplimiento ambiental y prevenir condiciones que puedan afectar negativamente la salud de los peces, y (2) romper el ciclo de vida de parásitos y enfermedades (por ejemplo, piojos de mar, Bron et al., 1993, Morton et al., 2005, keeley et al., 2015).

La Ley 21410 prescribe la modificación de la ley general de pesca y acuicultura, con el objeto de exigir a los titulares de concesiones de acuicultura medidas para evitar o reducir el depósito de desechos inorgánicos y orgánicos. Artículo 74 ter. - indica que El titular de la concesión de acuicultura o quien tenga un derecho sobre dicha concesión para el ejercicio de la actividad en ella deberá adoptar las medidas para evitar o reducir, según corresponda, conforme lo disponga el reglamento, el depósito de desechos orgánicos en el fondo de la concesión. Para tales efectos, deberá presentar un plan de recuperación y un plan de investigación del fondo marino en el área de la concesión ante el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, acreditado por un certificador a que se refiere el artículo 122, letra k), los que deberán cumplir con lo establecido en el reglamento. Además, que el plan de recuperación tendrá por objeto establecer el uso de mecanismos físicos, químicos o biológicos tendientes a mejorar las condiciones del área de sedimentación y permitir que se acelere la incorporación de la materia orgánica al ambiente.

Para dar cumplimiento a la Ley 21410, en la actualidad en los fondos marinos donde se encuentran los emplazamientos de acuicultura se están implementando mecanismos y tecnologías con poco respaldo de investigaciones científico de acuerdo con nuestra revisión bibliográficas, que indique resultados positivos en la aceleración de la recuperación del fondo con acumulación de materia orgánica, entre ellos; la inyección de oxígeno mediante irrigación y burbujeo (microburbuja). También sin considerar estudios que han demostrado que la recuperación de fondos marinos de manera natural es más eficiente. A continuación, se describen algunos de estos estudios:

En Nueva Zelanda, se realizó un estudio donde se compararon tres métodos potenciales (Rastrillado, irrigación con agua superficial oxigenada y la eliminación de los sedimentos) para acelerar la recuperación del fondo marino debajo de las granjas de salmón, durante un periodo de 4 meses. Los resultados indica que los tratamientos, rastrillado e irrigación, tuvieron poco impacto en la recuperación de la condición del lecho marino, particularmente cuando se los compara con la recuperación natural que ocurrió durante el período de estudio (Keeley et al., 2017).

También se cuenta con estudios donde se evalúan los tiempos de recuperación, con estudio realizado en Tasmania en diferente sitio con fondo marino blando donde se realiza actividades de acuicultura de Salmo. En este estudio, se evaluado la tasa y el grado de recuperación de los sedimentos en sitios de cultivo de salmón del Atlántico, después de la cosecha durante 2001- 2003 y 2003-2004. Con estos estudios, se generaron conclusiones como: (1) los impactos en los sedimentos comienzan a disminuir después de solo 3 meses, (2) La macrofauna tiene una recuperación más lenta de 36 meses, (3) se debe considerar que la tasa de recuperación se puede diferir entre sitios y que los tiempos de recuperación deben ajustarse a cada sitio (Maascleod et al., 2006, 2007). Por otro lado, también en EE.UU se han realizado este tipo de estudio en sitios donde se realiza acuicultura, con un periodo evaluación de descanso de 6 meses, en el cual se generaron las siguientes conclusiones: (1) la estructura de la comunidad en los sitios afectados se volvió más similar a las comunidades en sitios de referencia distantes, (2) desaparecieron las especies indicadores de enriquecimiento orgánico, (3) sin embargo, la diversidad no aumenta con el periodo de 6 meses, por lo cual se recomienda evaluar periodos prolongados, pero sin desestimar los

beneficios ambientales de los periodos de descansos programadas o las rotaciones de cultivos en la acuicultura (Lin et al., 2008).

Por otro lado, en un estudio realizado recientemente, mediante método de evaluación en mesocosmos, se cuantificaron los efectos de la carga excesiva de materia orgánica proveniente de la acuicultura. Los resultados, indica que los parámetros bentónicos, como el carbono orgánico disuelto, el sulfuro y el amonio, volvieron a su estado previo al aporte de M.O con relativa rapidez (1 a 2 meses) después del cese de los aportes, otros parámetros como la demanda de oxígeno, amonio y redox de los sedimentos, requirieron más tiempo (>7 meses) para recuperarse (Hale et al., 2023).

Las Agrupaciones de Concesiones de Salmónidos en Chile, deben someterse a un descanso sanitario coordinado de mínimo 3 meses, entre períodos productivos (artículo 58 G, inciso 1° del Reglamento). En los cuales, durante dicho período de tiempo, los centros integrantes de las ACS deben cesar sus operaciones y retirar la totalidad de ejemplares del centro, quedando prohibido el ingreso y mantención de especies hidrobiológicas (artículo 2, N° 66 del RESA). Considerando lo descrito anteriormente, la legislación chilena debería considerar que los descansos sanitarios sean más extensos para que estos, además de prevenir la propagación de enfermedades, también promuevan la recuperación del fondo marino y sea llamados descanso para la recuperación ambiental. También otras consideraciones que deben evaluar, es que posterior de un periodo de descanso, los centros anaeróbicos no podrán reanudar operaciones hasta que demuestren a través de una INFA que cumplen con los límites de aceptabilidad (retorno a condiciones aeróbicas). La recuperación se entiende como la remediación biológica y química según los valores de los estándares ambientales definidos por la normativa, o los registrados para las zonas de referencia, como se indica en la normativa.

Tabla 38. Casos de estudios de tiempos de descansos.

Países	Tiempo de descanso evaluado	Criterios	Tipo de estudio	Cita
Canadá	36 meses	Bacterias clasificadas para sitios con alto impacto después del tiempo de descanso.	<i>In situ</i>	Verhoeven et al., 2018
Canadá	4 años 65 meses	Comunidad macrofauna no recuperada por completo debajo de la jaula, pero si en zonas aledañas. Mejoras en las condiciones química.	<i>In situ</i>	Books et al., 2004
Estados Unidos	6 meses	Mejoras de la estructura comunitaria. Desaparición de especies oportunistas.	<i>In situ</i>	Lin et al., 2008
Australia	2 meses 36 meses	Mejoras de condiciones químicas del sedimento. Macrofauna no recuperada por completo.	<i>In situ</i>	Macleod et al., 2006, 2007



Nueva Zelanda	7 mes	Mejoras en condiciones qu3micas del sedimento	Mesocosmos	Hale et al., 2023
Nueva Zelanda	6 meses	Macrofauna no recuperada por completa. Mejoras de condiciones qu3mica del sedimento.	<i>In situ</i>	Keeley et al., 2015
Noruega	2 meses	Mejoras de condiciones qu3micas del sedimento.	Incubaci3n en laboratorio de sedimentos	Vasquez-Cardenas et al, 2022
Escocia	15 meses	Mejorar de condiciones qu3micas 65 meses. Macrofauna no se recuper3 por completo en 4 a3os	<i>In situ</i>	Brooks et al., 2003, 2004
Finlandia	2 a3os	Mejora parcial de la riqueza de especies	<i>In situ</i>	Villnas et al., 2011

Para realizar los estudios de tiempo de descanso en sitios con diferentes caracter3sticas como hidromorfol3gicas, qu3micas (corriente, batimetr3a, edad del agua, balance de nutrientes) y biol3gicas (Diversidad de especies y estructura de comunidades bent3nicas, abundancia relativa de especies indicadoras de enriquecimiento org3nico), de macro e infunda, en cada sitio debe realizarse un monitoreo antes del inicio del periodo de cultivo de peces, despu3s 9 meses del periodo de cultivo y despu3s del periodo de descanso (propuesta 6 meses, seg3n los an3lisis de bibliograf3a). Donde se deben tomar muestra con sus respectivas replicas, en lugares de cultivos, no cultivos (ubicados a 150 m de distancia) y lugares donde se est3n implantando m3todos o tecnolog3a de aceleraci3n de recuperaci3n de fondos (Macleod et al., 2006, 2007, keeley et al., 2017). Otra alternativa de evoluci3n es la utilizaci3n de mesocosmos (Hale et al., 2023), sin embargo, existen limitaciones como la evoluci3n de condiciones naturales de cada localidad o sitios. Otra herramienta de evoluci3n es la incubaci3n en laboratorio de n3cleos de sedimento de 3reas de estudio de inter3s donde se realiza la actividad de acuicultura, pero en este caso solo se eval3a la recuperaci3n qu3mica del sedimento (sulfuros, amonio, demanda de ox3geno disuelto, pH y redox) y Biol3gicas (Composici3n de comunidades bacterianas) (Vasquez-Cardenas et al, 2022).

Se propone evaluar los descansos prolongados, antes de la utilizaci3n de m3todos de remediaci3n mediante oxigenaci3n del fondo, o m3todos de movimiento de las masas de agua verticalmente, ya que estos m3todos a pesar de generar cambios qu3micos, como el aumento de la concentraci3n de oxigenaci3n del agua, no tiene evidencias solidas de contribuir a recuperaci3n de los fondeos de los ecosistemas marinos. Se sugiere que, si se desea seguir trabajando con estos sistemas, se presenten proyectos para evaluar su efectividad a largo plazo, en conjunto con la evoluci3n de los tiempos de descanso prologados. Internacionalmente los m3todos de remediaci3n no son utilizados y prevalecen los m3todos de la prevenci3n de la sedimentaci3n, por medio de barreras f3sicas o b3squeda de lugares que eviten la sedimentaci3n, como lugares conocimos como de alta energ3a, como canales o zonas costeras abiertas (Moe F3re et al., 2022).

Los descansos es el 3nico m3todo de recuperaci3n de fondo marino que han demostrado una mejora de la poblaci3n macroinfaunal de los sectores afectados por la acuicultura (**Tabla 38**), m3s all3 de las variables qu3micas. La recuperaci3n de los fondos se da con un m3nimo de 6 meses de descanso para ver cambios significativos en la composici3n de los taxones, y aun as3 en este tiempo a3n se



notan signos de perturbación (Zhulay, et al., 2015), aunque como se mencionado anteriormente esto depende de sitio y las condiciones.

A pesar de que las innovaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías siempre ha acompañado al desarrollo acuícola, actualmente en temas de remediación de fondo marino los únicos estudios que han visto son efectivos en la recuperación de la macrofauna de los fondos son los descansos, por tanto, es el único método que se puede recomendar como remediación actualmente y que tiene respaldo científico.

IV. Ubicación estratégica de los centros de cultivos

En el caso de Canadá, Columbia Británica es el mayor productor de Salmones de la región, en su territorio predominan los fiordos, sin embargo, la mayor parte de la acuicultura se realiza en las costas y en lugares más expuesto, esto debido a los problemas ambientales que se presentan en lugares protegidos (Yang, et al., 2008). Los fiordos canadienses no se han considerado lugares apropiados para la acuicultura, a excepción de unos pocos casos. A pesar de estos resguardos Canadá presenta desafíos ambientales que le han costado subsanar, por cual, actualmente tienen un proyecto ambicioso, que fue anunciado en junio de este año por el gobierno canadiense, este proyecto está enmarcado en la prohibición de la cría de salmón en jaulas abiertas en aguas costeras a partir de julio de 2029, como parte de un compromiso “para proteger el salmón salvaje y promover prácticas de acuicultura más sostenibles” (Thefishsite, 2024). En Irlanda como antes se mencionó se toma en cuenta las corrientes para el tipo de evaluación ambiental, haciendo énfasis en que los lugares con menores corrientes son más vulnerables a la sedimentación, por lo cual no son considerados actos para el empozamiento de centros de cultivos de Salmon. (Yang, et al., 2008).

En el caso de Noruega, a pesar de lo analizado anteriormente, debemos atribuir una importante parte de la buena condición ambiental de sus cultivos a las condiciones propias el lugar. Noruega tiene la mayor parte de sus cultivos en fiordos, tal como el caso de Chile, sin embargo, las características de estos mismo son distintos a los fiordos chilenos. Alaliyat (2014) afirma que la contaminación y las descargas de la piscicultura en Noruega, son un problema ambiental menor ahora, ya que este país tiene un litoral muy largo, un alto nivel de circulación y una buena calidad del agua. Esto principalmente a que los fiordos noruegos tienen las características de ser profundos y angostos, lo que provoca una mayor corriente y por tanto una mejor renovación de aguas y menos tendencia a la sedimentación (Wassmann, et al., 1996; Christakos, et al., 2021).

Las características del fiordo noruegos ayudan ampliamente a la ventilación y dispersión de la materia orgánica y por ende desfavorece la sedimentación. La velocidad de corrientes es una variable importante que debe ser toma en cuenta en las legislaciones que contienen los modelos de evolución ambiental de la acuicultura, como se ha hecho en legislación escocesa y la irlandesa, ya que es un indicador de áreas con bajas acumulación de materia orgánica (Yang, et al., 2008). En contraste a Noruega, los fiordos chilenos, son más anchos, tienen velocidades de corrientes más bajas y tienen distintos lugares de sedimentación donde se acumula la materia orgánica (Cáceres, et al., 2002; Letelier, et al., 2011).

Además, Noruega está trabajando en tecnologías para trasladar sus jaulas a sectores de alta energía, con corrientes más fuertes y olas más altas, fortaleciendo la estrategia de usar las corrientes y la ventilación para disminuir la sedimentación (Føre, et al., 2022).

Finalmente, el ejemplo más interesante respecto a localización de sitios es Escocia, porque este país presentaba problemas ambientales similares a otros países con acuicultura. Sin embargo, en búsqueda de disminuir estos problemas, en 2019 realizó una reforma que modificó totalmente su

sistema de gestión y monitoreo ambiental, estableciendo un sistema de biomasa máxima permitida (MAB), con base a exhaustivos estudios respecto a la capacidad de carga de las masas de aguas donde se realiza cultivo y una evaluación de la factibilidad de ciertos sectores de seguir sosteniendo actividad acuícola (Scottish Government, 2024). Estos estudios se basaron en modelos de impacto bentónico, además de un trabajo de modelación hidrodinámico de las aguas escocesas generado por Marine Scotland Science (MSS) (Marine Scotland Science, 2024). Los modelos se basan principalmente en el nitrógeno disuelto y en la deposición de carbono orgánico, estos datos fueron obtenidos en su mayoría de manera práctica y otros se modelaron por medio de AutoDEPOMOD (Gillibrand, et al., 2002). A través de este sistema se estableció la capacidad que tenía cada cuerpo de agua para adaptarse a la producción (Government Scotland, 2023), estas cifras son evaluadas constantemente y si se presentan evaluaciones ambientales positivas se puede aumentar la biomasa máxima permitida, permitiendo una mayor flexibilidad de la producción a favor de mejorar la productividad.



Figura 53. Página del gobierno escocés con información de mapas y categorías de sitios. Recuperado de: <https://marinescotland.atkinsgeospatial.com/nmpi/default.aspx?layers=530>.

Es importante destacar que la relación entre el gobierno y los acuicultores ha tenido una historia muy positiva en Escocia, donde los operadores han presentado un trabajo de cuidado al medio ambiente previo a las normativas. Esto se puede ver en el Código de Buenas Prácticas que desarrollaron los operadores; donde se presentaron los primeros límites biomasa máxima; las áreas de manejo de enfermedades (AME) generadas durante el virus ISA y la constante cooperación y adaptación de la industria a las regulaciones ambientales.

Las certificaciones ambientales en la salmonicultura son uno de los aspectos importantes a la hora de valorizar el producto en el exterior, por lo cual también puede ser un punto de partida para la evolución ambiental, los operadores buscan tener el prestigio internacional que le dan las certificaciones (Luthman et al., 2019), un ejemplo de certificadora es Aquaculture Stewardship Council's (ASC), es una organización independiente sin fines de lucro y una organización de etiquetado que establece un protocolo sobre los productos del mar cultivados y garantiza una acuicultura sostenible (ASC, 2024), en Chile AquaChile, certificó 43% de sus centros en 2021 y llegó hasta 67% durante el 2022. Mientras que Australis Seafoods tiene un 44%; Blumar se ubicó en 71% del total; Cermaq el 30%; y Multi X, pasó de 9% a 38% (Salmonexpert, 2023).

Los estudios previos ayudan a simplificar las evaluaciones ambientales posteriores y bajar los costos de monitoreo y fiscalización. Para que Chile desarrolle un posicionamiento estratégico de sus sitios de acuicultura se requieren de 3 factores importantes; (1) el estudio hidrodinámico de los cuerpos de agua donde se encuentran emplazados los centros de acuicultura, lo anterior teniendo en cuentas los estudios ya desarrollado de instituciones como IFOP (2) modelos de sedimentación que ayuden a predecir la acumulación de materia orgánica en el fondo y (3) trabajo experimentales para respaldar los modelos, que evalúe actualmente los niveles de sedimentación que se están generando en los lugares actuales de los cultivos.

En Chile hay múltiples trabajos sobre estudios hidrodinámicos de las cuencas y los fiordos, considerando en estos los trabajos los publicados por IFOP sobre los fiordos como Quitrusco, Cumao y el golfo Almirante Montt (IFOP, 2013; IFOP, 2018; IFOP, 2021 & IFOP, 2023), los realizados por otros autores (Silva, 2012), el trabajo activo que realiza Chonos (Chonos, 2024; <https://chonos.ifop.cl/>) y los trabajos realizados en su momento para la generación de las macrozonas sanitarias (Subpesca, 2024). También, considerar el trabajo realizado por INCAR en colaboración con otras instituciones, incluido el IFOP: Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura chilena a escala de ecosistemas (Soto, D, et al., 2020), en cual se presenta un análisis de las principales cuencas de Chile con la propuesta de asignación de sectores según su nivel de ventilación. Los trabajos de modelos de sedimentación no son desconocidos para la industria, autodepomod es una herramienta en auge que se utiliza internacionalmente y que se ha evaluado en trabajos como FIPA N° 2017-14 y la Experiencia internacional en el uso del DEPOMOD para Acuicultura de IFOP 2013.d

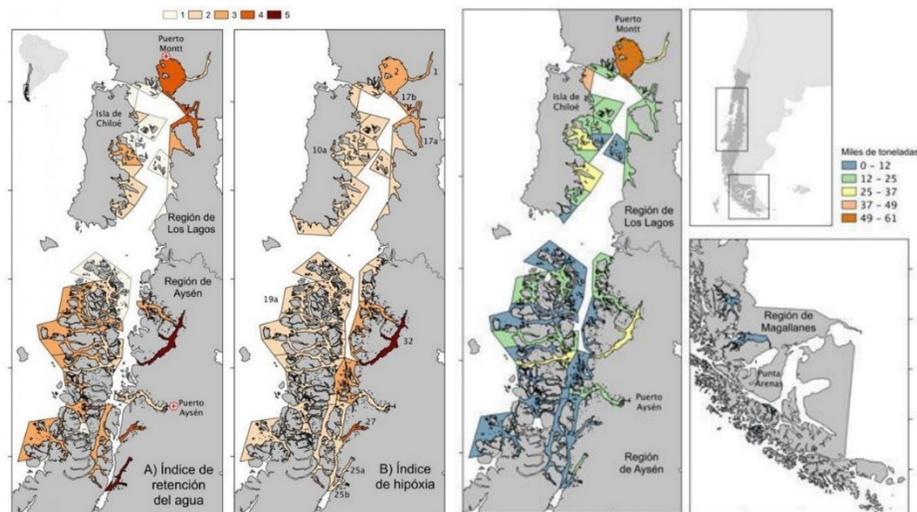


Figura 54. a. Clasificación de cuencas según el nivel de renovación de masas de agua, desde el nivel 1= 0-30 días de retención al nivel y 5= más de 200. b. Clasificación de cuencas según el tonelaje de salmónes cultivados. Datos desde 2018-2022. (Soto, D, et al., 2020).

Finalmente, la capacidad técnica para la realización de muestreos y trabajos prácticos se encuentra ligada a las actividades de la División de Medio Ambiente IFOP, además de las múltiples consultoras que trabajan en las regiones de Aysén y Los Lagos. Se concluye que Chile tiene las capacidades técnicas y los conocimientos para la realización de un trabajo gestión a nivel de cuerpos de agua, y que esta es de las medidas más recomendadas para la gestión ambiental según la evidencia internacional.

V. Mejoras y modificaciones legales

El equipo técnico del proyecto realizó una búsqueda acuciosa de leyes, normativas, estudios técnicos, estudios científicos y realizó una serie de entrevistas científicas para proponer en este apartado mejoras y modificaciones legales y/o normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura. Lo propuesto se presenta en la Tabla 39 en la cual se entrega una propuesta de definiciones operacionales para definir cada mejora en aspectos:

- **Factibilidad:** valoración respecto del grado de aplicabilidad a la realidad actual.
- **Costo:** valoración del menor o mayor costo relativo asociado a su incorporación.
- **Impacto ambiental:** valoración del mayor o menor efecto en la minimización de las externalidades negativas de los cultivos.

A continuación, se detallan información complementarios para la toma de decisiones con respecto a la mejoras y modificaciones legales y/o normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura, esquematizadas en la figura 55 y concluidas en la tabla 39.

Tabla 39. Descripción de las modificaciones legales y/o normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura para las propuestas de mejoras.

Modificaciones legales y/o Normativas para la evaluación (gestión) ambiental de la acuicultura	Descripción	Lugares con investigación asociada	Resultados	OPINIÓN Calificar con 3, 2, 1, de mayor a menor factibilidad, costo e impacto ambiental
1. Incorporar en la ley la Eutroficación a nivel de gestión de áreas (Columna del agua) como medida de protección ambiental	El enriquecimiento excesivo de las aguas con fuentes antropogénicas de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, conducen a la transformación progresiva de los cuerpos de agua oligotróficos en mesotrófico, eutrófico e hipertrófico. Actualmente en Chile, existe un gran avance en el conocimiento de las principales fuentes oceánicas y terrestres de nutrientes. Estos desarrollos permiten identificar nutrientes generados desde actividades antrópicas como la acuicultura. Específicamente, permitirían identificar los efectos de esta actividad sobre la columna del agua.		Para los centros de categoría 3: fondos blandos, implementación de muestreos de nutrientes en la columna de agua (nitrato, nitrito, amonio y fosforo y ácido silícico) para la estimación de un índice de eutroficación.	Factibilidad: 2 – Si bien Chile cuenta con avances en la identificación de fuentes de nutrientes, la implementación de un sistema de monitoreo a gran escala requerirá ajustes regulatorios y logísticos. Costo: 1 – Los análisis de nutrientes en la columna de agua requieren inversiones en equipos y logística, aumentando costos operativos. Impacto ambiental: 3 – La inclusión de la eutrofización en la normativa permitiría prevenir impactos a gran escala en cuerpos de agua, especialmente en zonas de alta concentración de centros acuícolas.
2. Incorporar en la normativa el índice AMBI (Sedimento)	AMBI de AZTI evalúa la abundancia proporcional de cinco grupos ecológicos de taxones bentónicos que están predefinidos por su grado de tolerancia al estrés ecológico. Este índice fue desarrollado para medir perturbaciones en ambientes costeros y estuarinos, clasificándose más de 10.000 especies bentónicas. El software es gratuito y la lista de especies son abiertas al público.	Noruega Canadá	Actualmente, IFOP cuenta con una plataforma web denominada MACROINFAUNA.CL, junto a una plataforma web denominada MACROBENT, que funcionan de manera recíprocamente complementaria. Por lo cual, se considera que existen todos los elementos y las herramientas necesarias para la aplicación del índice AMBI en la evaluación ambiental directa de los	Factibilidad: 3 – AMBI es un índice ampliamente validado y existen plataformas nacionales que facilitarían su implementación (MACROINFAUNA.CL y MACROBENT). Costo: 3 – Su aplicación no genera costos significativos, ya que el software es gratuito y las bases de datos nacionales ya existen. Impacto ambiental: 3 – Mejoraría la evaluación del estado de los sedimentos, permitiendo una mejor gestión del impacto bentónico.

			fondos marinos de áreas donde se realiza acuicultura	
3. Mejorar las mediciones de oxígeno disuelto OD (Evaluación ambiental de fondos duros y semiduros)	En Centros de cultivos extensivo (>1000 ton y profundidad = ó < 60 m) e intensivo (> 50 ton y = ó < 60 m) se realiza mediciones de OD de la columna de agua (a 1 m de fondo) con equipos multiparamétricos o CTD+O (Sensores ópticos o de membrana) los cuales deberían calibrarse con el método WINKLER (Numeral 29 de la Resolución Exenta N° 3.612-). Método que ha sido identificado como el de mayor precisión.		Implementar método de análisis de oxígeno disuelto WINKLER para evaluar la confiabilidad de los registros de oxígeno disuelto realizado con sensores membrana u ópticos. (1) Certificación de calibración de sensores de membrana u ópticos con Método Winkler, y (2) Toma y análisis de muestras aleatorias para la verificación de registros adecuado <i>in situ</i> de datos de OD. Realizar muestreo en diferentes profundidades de la columna del agua (ej. 0, 5, 10, 25, 50, 100 m y 1 m del fondo).	Factibilidad: 3 – La implementación del método Winkler como referencia para calibrar sensores es viable y se usa en diversos estudios. Costo: 2 – Si bien requiere capacitación y calibraciones periódicas, no representa un costo excesivo en comparación con otros métodos. Impacto ambiental: 3 – Asegurar la precisión de los datos de OD permitirá evaluar mejor la calidad ambiental en áreas impactadas por la acuicultura
4. Mejorar la cobertura de registros <i>Beggiatoa</i> o bacterias similares, lombrices marinas y suelo estéril (Evaluación ambiental de fondos duros y semiduros: Categoría 4)	En el caso del registro visual, los límites de aceptabilidad establecen como nivel de cumplimiento un N° de transectos igual o menor a 2, con presencia de cubierta de microorganismos visibles y/o burbujas de gas.	Canadá	Generar una modificación de los límites de aceptabilidad del resultado de registros visuales del fondo, implementar la utilización de cuadrantes con un aumento de cobertura de determinación de áreas afectadas (registros <i>Beggiatoa</i> o bacterias similares, lombrices marinas y suelo estéril). Identificación de bacterias con métodos de análisis de identificación genética. Incorporar análisis de bacterias indicadoras de condición anaeróbica en los mantos blanquecinos. También incluir la toma de muestra de nutrientes (nitrato) en sedimentos, porque este nutriente está relacionado con la presencia de bacterias gigantes.	Factibilidad: 2 – Si bien la identificación visual es usada en otros países, la necesidad de métodos genéticos para bacterias representa un desafío técnico. Costo: 1 – La implementación de análisis genéticos es costosa y requiere personal especializado. Impacto ambiental: 3 – Una mejor caracterización de la condición del sedimento ayudaría a evitar clasificaciones erróneas de impacto ambiental.
5. Tiempo de descanso “sanitario/productivo”	Estudios han demostrado que la rotación de concesiones permite una recuperación sustancial del fondo marino en términos de contenido de oxígeno y disminución de materia orgánica, reduciendo la necesidad de intervenciones adicionales para remediar el sedimento. Sin embargo, su efectividad depende de una planificación adecuada y de tiempos de descanso suficientes, además de un monitoreo ambiental constante para asegurar que las áreas rotadas recuperen sus funciones ecológicas.	Noruega Escocia EE. UU Australia Nueva Zelanda Finlandia	La legislación chilena debería considerar que los descansos sanitarios sean más extensos o bien, una rotación del cultivo Inter ciclo productivo dentro de la concesión. Esto para que, además de prevenir la propagación de enfermedades, también promueva una recuperación del fondo marino impactado más amigable con el medioambiente. Para implementar este tiempo de descanso se propone realizar un estudio durante un año inicialmente de sitios con diferentes características ambientales,	Factibilidad: 3 – La evidencia en otros países (Noruega, Escocia, Nueva Zelanda) respalda la eficacia de los periodos de descanso para recuperación bentónica. Costo: 2 – Aunque implica costos asociados a la pérdida temporal de producción, la rotación dentro de la concesión puede mitigar estos efectos. Impacto ambiental: 3 – Un período de descanso adecuado permitiría la recuperación del fondo marino y la reducción de impactos acumulativos.

			pero también con las implementaciones de sistemas de recuperación (microburbujas, inyección de agua superficial etc.), sin implementación de sistema de recuperación (recuperación natural), y con centros de cultivo en funcionamiento.	
6. Ubicación estratégica de los cultivos	Estudios señalan la importancia de analizar las decisiones de posicionamiento y localización de los centros de cultivos marinos. Por ejemplo, al optimizar la orientación de los módulos de cultivo se puede aprovechar de mejor manera las corrientes naturales, evitando así, la acumulación excesiva de materia orgánica en el fondo y se minimiza la sedimentación local.	Noruega España Nueva Zelanda Canadá	La localización de nuevos centros de cultivos en áreas propicias para el desarrollo de la actividad permitirá dar un mejor uso del recurso espacio y favorecerá la conservación de este bien nacional de uso público. En Chile, la acuicultura tradicionalmente se ha desarrollado en fiordos, costa, estuarios y el mar interior del sur. Sin embargo, se proyecta una futura expansión a lugares con alta energía (fuerte oleaje, vientos y/o corrientes), conocida indistintamente como acuicultura "offshore" o de mar abierto o bien, como acuicultura oceánica o de alta mar.	Factibilidad: 3 – La reubicación y optimización de centros de cultivo es factible con modelaciones hidrodinámicas y estudios geoespaciales. Costo: 2 – Si bien hay costos asociados a la reubicación, el uso de modelado y planificación reduce impactos y costos a largo plazo. Impacto ambiental: 3 – Permite minimizar la sedimentación localizada y mejorar la dispersión de desechos orgánicos.
7. Evaluación de la pertinencia de las estaciones de referencias	La evaluación de la pertinencia de las estaciones de referencia consideradas en el monitoreo del desempeño de la acuicultura (INFA) en Chile es un tema crucial para garantizar la calidad y la fiabilidad de los datos obtenidos.	Escocia	Este proceso implica un análisis exhaustivo de diversos factores, desde la ubicación geográfica y las características oceanográficas hasta la metodología de muestreo y los parámetros analizados. En definitiva, establecer si se excluyen, se incorporan debajo del (o los) módulo(s) de cultivo o se establece una red de estaciones de referencia a nivel de cada ACS.	Factibilidad: 2 – Ajustar el sistema de estaciones de referencia requiere validaciones científicas y consenso regulador. Costo: 2 – Modificar la red de estaciones implica costos logísticos y metodológicos. Impacto ambiental: 3 – Permitiría una evaluación más representativa de los impactos ambientales reales de la acuicultura.
8. Enfoque ecosistémico	El enfoque ecosistémico en la acuicultura (EEA) representa un cambio paradigmático en la gestión de esta actividad, pasando de una visión sectorial a una integral que considera las interacciones entre los organismos acuáticos cultivados, el ambiente marino y las comunidades humanas.	FAO Noruega Canadá Nueva Zelanda	Algunos de los beneficios clave incluyen: Minimizar los impactos negativos de la acuicultura en el medio ambiente; Promover el uso sostenible de los recursos naturales; Mejorar la resiliencia de los sistemas acuícolas frente a los desafíos, como el cambio climático; Fomentar la participación de las partes interesadas y la gobernanza colaborativa. La aplicación en Chile del EEA representaría una	Factibilidad: 2 – Implementarlo requiere ajustes en la regulación y un cambio de paradigma en la gestión sectorial. Costo: 1 – La implementación del EEA implica costos administrativos y técnicos considerables. Impacto ambiental: 3 – Es la mejor estrategia a largo plazo para asegurar la sostenibilidad de la acuicultura.

<p>9. Que otros aspectos, parámetros incluir modificar dentro del marco legal o normativo vigentes</p>			<p>oportunidad para lograr una producción acuícola más sostenible y resiliente. Opini3n respecto de ventajas y desventajas de su inclusi3n.</p>	<p>- Incorporaci3n del eDNA (ADN ambiental) para evaluaci3n de comunidades microbianas en sedimentos acuícolas. - Uso de modelos de dispersi3n de partículas para estimar la huella ambiental de los centros de cultivo. - Monitoreo de metales pesados y contaminantes emergentes en áreas acuícolas. Factibilidad: 2 Costo: 1 Impacto ambiental: 3</p>
--	--	--	---	--

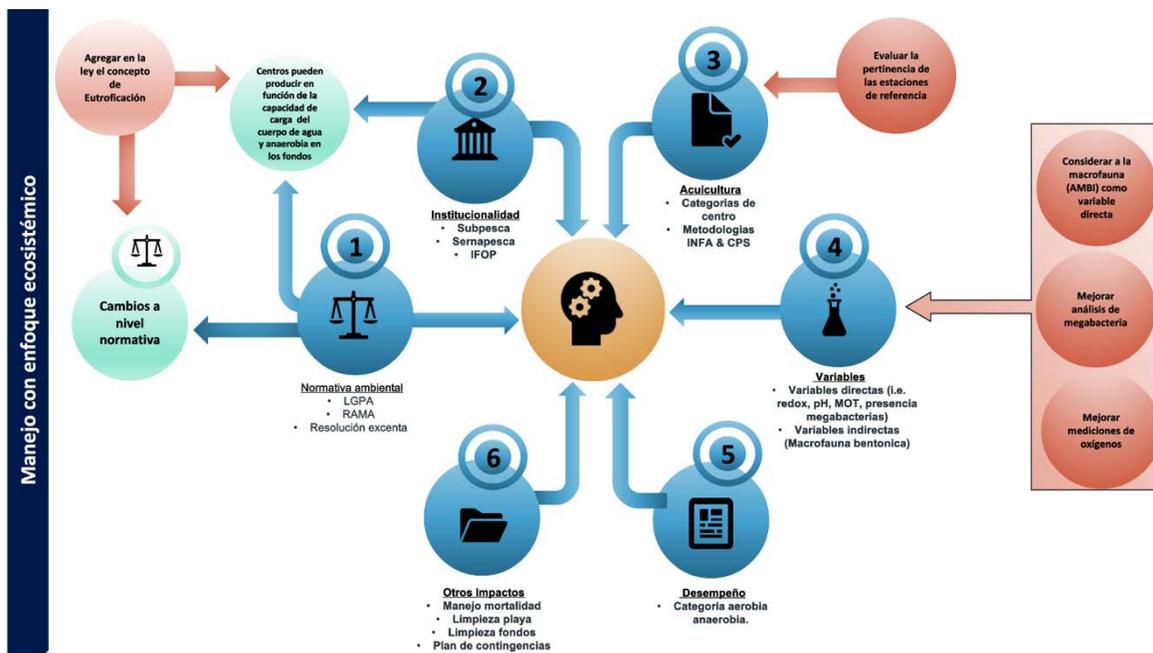


Figura 55. Esquema de propuesta de mejoras y modificaciones legales y/o normativas para la evaluaci3n (gesti3n) ambiental de la acuicultura.

4.3.4. Análisis económicos: Propuesta de mejoras al modelos de evaluación ambiental.

Este apartado se proponen mejoras o actualizaciones a los modelos, procesos, medidas y disposiciones para la evaluación de las condiciones ambientales de los fondos asociados a la acuicultura, y, por otra parte, también proponer mejoras a mecanismos o sistemas tecnológicos que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños, para finalmente realizar un análisis económico definiendo el costo de una potencial implementación de ambas propuestas. Se presenta un análisis económico de nivel referencial, ya que, el desarrollo del estudio estuvo mayormente focalizado en recopilar y discutir las potenciales mejoras a los informes ambientales (INFAS) y a los mecanismos de prevención de situaciones ambientales negativas; estos propósitos, siendo los principales acapararon los recursos investigativos del proyecto. Sumado a lo anterior, hubo cierta dificultad para valorizar servicios no disponibles en el medio, junto a la insuficiente colaboración de los privados en el sentido de aportar con costos. En este escenario, se optó por aplicar herramientas cualitativas como entrevistas con productores y consultoras proveedoras de servicios ambientales, de manera de obtener información económica cualitativa y cuantitativa.

Las mejoras que el estudio desarrolló dicen relación con la mejora del Informe ambiental (INFA) tanto en el ámbito de los análisis contenidos en el informe propiamente tal, como también en el proceso de muestreos de los mismos, y una recomendación referida a la transparencia del proceso en la etapa de remediación en el caso de los centros cuya INFA resulte anaerobia.

El propósito del informe ambiental (INFA) es reportar el desempeño ambiental de los centros acuícolas, mediante la evaluación de la condición ambiental de la columna de agua y fondos utilizados. Se entiende que se supera la capacidad de un cuerpo de agua cuando el área de sedimentación o la columna de agua, según corresponda, presente condiciones anaeróbicas (Artículo 3° D.S. MINECON 320/2001, SUBPESCA 2023). Por otra parte, los centros de cultivo en porción de agua y fondo durante su vida operativa deben realizar un seguimiento de las condiciones ambientales del centro en el período de máxima biomasa, incorporando, por lo tanto, el monitoreo de aquellas variables ambientales definidas para la categoría de cada centro de cultivo, de acuerdo con las especificaciones de la Resolución acompañante del RAMA (Res. Ex. Subpesca N° 3612 de 2009, SUBPESCA 2023).

En los centros de engorda del cultivo del salmón, el INFA está referido a establecer resultados que identifiquen la ocurrencia o no, de situaciones anaeróbicas en el área de influencia del centro, al término de un ciclo productivo, es decir, previo a la cosecha. Si el resultado del INFA arroja que tanto la columna de agua como el fondo, presentan una condición aeróbica el centro puede seguir operando, en caso contrario se prohíbe el inicio del siguiente ciclo productivo, hasta que se demuestre con un nuevo INFA que se superó la condición de anaerobia. El propósito de este apartado es realizar un análisis económico de las mejoras propuestas a este importante instrumento de evaluación ambiental, de manera de perfeccionarlo en dos ámbitos: en cuanto a los criterios de análisis y evaluación del área de operación de los centros de cultivo, y adicionalmente en relación a su fiabilidad como instrumento de fiscalización.

En el ámbito de los criterios de análisis y evaluación, para los centros de categoría 3, fondos blandos, el estudio ha analizado la implementación de indicadores bióticos, y el análisis de nutrientes en la columna de agua (con miras a un Índice de Eutroficación). Para los centros con fondos duros y semi duros (categorías 4 y 5), en los análisis focalizados en el fondo, se propone restringir el límite de aceptabilidad del resultado del registro visual del fondo y la identificación de bacterias anaerobias en



el sedimento (DNA ambiental); y, en la columna de agua se propone ampliar la profundidad de la medición de oxígeno e incorporar el análisis de nitrato. En el ámbito de la fiabilidad, se propone la reimplementación de la verificación de las actividades de muestreo para los análisis que generan los INFAS.

Los centros objeto de este estudio, son aquellos clasificados en las categorías 3, 4 y 5. La diferencia de estos centros radica en el tipo y profundidad del fondo, características claves en la determinación del tipo de medición, de acuerdo con las correspondientes categorías.

- **Centros de categoría 3, fondos blandos: Costos Incorporación de indicadores bióticos.**

El costo estimativo de la implementación de indicador AMBI, asciende a 1.873 Unidades de Fomento (UF), desembolso a realizar solo una vez, ya que, en los siguientes años, se espera que AMBI se encuentre incorporado en la capacidad técnica de análisis de las consultoras, y su costo sea integrado a la batería de análisis de los INFA.

Tabla 40. Costo estimativo de la implementación de indicador AMBI. HP: Horas Persona.

COSTO ESTIMATIVO DEL PROYECTO AMBI							
	mes 0	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
INVERSIÓN							
1 notebooks	1.000.000						
1 servidor (*)	20.000.000						
Equipos de laboratorio	1.000.000						
Software	0						
Teléfono celular	400.000						
COSTOS Remuneraciones							
Coordinación general (HP)		24	24	24	24	24	24
11.000		264.000	264.000	264.000	264.000	264.000	264.000
Revisión de muestras biológicas (HP)		32	32	32	32	32	32
10.000		320.000	320.000	320.000	320.000	320.000	320.000
Mantenimiento de servidores (HP)		20	20	20	20	20	20
10.000		200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Identificación de especies (HP)		160	160	160	160	160	160
21.500		3.440.000	3.440.000	3.440.000	3.440.000	3.440.000	3.440.000
Evaluación económica y social							
17.000		0	0	0	0	0	0
Administración		16	16	16	16	16	16
10.000		160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000
Fungibles y materiales		50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Movilización		200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000



TOTAL INVERSIÓN	2.400.000						
TOTAL COSTOS		4.634.000	4.634.000	4.634.000	4.634.000	4.634.000	4.634.000
IMPREVISTOS	3%	139.020	139.020	139.020	139.020	139.020	139.020
OVERHEAD	8%	381.842	381.842	381.842	381.842	381.842	381.842
TOTAL	2.400.000	5.154.862	5.154.862	5.154.862	5.154.862	5.154.862	5.154.862
TOTAL (\$)	71.066.227						
TOTAL (UF = \$37945,72, octubre 2024)	1.873						
(*) Inversión ya realizada para el sistema de actual funcionamiento (MACROBENT)							

- **Costo de implementación índice de eutroficación.**

Conocer la concentración de estos componentes, permitiría la elaboración de un Índice de eutroficación, cuya formulación fue descrita previamente. El precio de análisis de laboratorio de un set de muestras de los componentes del índice de eutroficación tiene un valor de \$30.500, el cual asciende a \$1.176.734 y \$1.765.100, al considerar muestras en 8 estaciones, en tres estratos de profundidad, y dos y tres réplicas, respectivamente. Para efecto de incorporar la reajustabilidad del peso (\$), los valores de costos del análisis de laboratorio de los nutrientes se han transformado a Unidades de Fomento (UF), calibrado al valor de la UF del 10 de octubre del año en curso. De esta manera, el análisis de nutrientes en la columna de agua tiene un costo estimativo de 38,581 UF a 57,872 UF, ().

Tomando como referencia el costo promedio de un INFA, 121,6 UF (SERNAPESCA, 2023), se estima que la incorporación del índice de eutroficación a la batería de indicadores del INFA aumentaría solo por costo de análisis, entre un 32% y 48% el costo actual del INFA dependiendo de la cantidad de réplicas (2 y 3 respectivamente, (ANEXO 10, hoja: costo índice de eutroficación). A este monto, se debe agregar el costo de muestreo propiamente tal, considerando que se requiere equipos y personal especializado, lo cual se estima en un alza del 50% del costo actual del INFA. Es relevante considerar que, aunque el costo del INFA es cubierto por los privados, el presupuesto anual con el que cuenta SERNAPESCA para contratar estos servicios, requiere de gestiones presupuestarias previas en la Dirección de Presupuesto (DIPRES) del Ministerio de Hacienda, las que deben estar bien respaldadas en base a su proyección anual y el precio de los servicios (SERNAPESCA, 2023). El amonio, componente de mayor costo, además requiere de un tratamiento especial por la inestabilidad de la muestra razón, por lo cual, se recomienda su análisis *in situ*. Para ello se requiere un equipo transportable como, el Trilogy Laboratory Fluorometer, que contiene módulos para análisis de nutrientes y clorofila, y tiene un valor aproximado de \$13.000.000 (<https://www.cascoantiguopro.com/es/oceanografia/fluorometro-trilogy.html>).

Contar un índice de eutroficación permitiría una mejora considerable del INFA, sin embargo, dado su alto costo y su desconocimiento empírico de aplicación, se propone la realización de un estudio específico del mismo, para evaluar su real factibilidad en términos técnicos y económicos y respaldar apropiadamente la efectividad de su aplicación.

Todas las variables:

Tabla 41. Contar un índice de eutroficación con todas las variables.

Nutriente	(\$/muestra)	UF/muestra (oct 2024)	Total muestras con 2 réplicas (UF)	Total muestras con 3 réplicas (UF)	Estaciones	8
NH ₄	10.000	0,264	12,650	18,974	Estratos	3
NO ₃	6.000	0,158	7,590	11,385	Réplica 1	2
NO ₂	3.500	0,092	4,427	6,641	Réplica 2	3
PO ₄ ³⁻	4.000	0,105	5,060	7,590	Valor de la UF (*)	\$37.946
DSi	3.500	0,092	4,427	6,641	(*) SII, 10 oct 2024	
Silicato	3.500	0,092	4,427	6,641		
Total	30.500	0,804	38,581	57,872		
			\$1.464.000	\$2.196.000		
costo promedio INFA UF		121,60	160,18	179,47		
% de aumento			32%	48%		

Solo nitrato:

Una alternativa, de menor costo y con mayor factibilidad de implementación a corto plazo, es complementar la medición de oxígeno disuelto, con la medición de nitrato, nutriente que suele estar relacionado con la presencia de bacterias anaeróbicas gigantes (Gallardo et al, 2013, Teske & Salman, 2014). El costo del análisis de nitrato en laboratorio tiene un valor de 0,158 UF/muestra, monto que asciende a 7,59 UF/INFA y 11,39 UF/INFA, al considerar que se requiere analizar las muestras provenientes de 8 estaciones, en tres niveles de profundidad y con 2 o 3 réplicas. Incorporar el nitrato, aumentaría el costo del INFA entre un 6% y 9%, considerando solo el análisis de laboratorio, pues no sería necesario muestreos extras que signifiquen mayor empleo de recursos, ya que, se podría obtener de la muestra que actualmente se toma para el análisis del oxígeno disuelto.

Tabla 42. Contar un índice de eutroficación con solo nitrato.

Nutriente	(\$/muestra)	UF/muestra (oct 2024)	Total, muestras con 2 réplicas (UF)	Total, muestras con 3 réplicas (UF)	Estaciones	8
NO ₃	6.000	0,158	7,590	11,385	Estratos	3
Total	6.000	0,158	7,590	11,385	Réplica 1	2
					Réplica 2	3
					Valor de la UF (*)	\$37.946
costo promedio INFA UF		121,60	129,19	132,98	(*) SII, 10 oct 2024	
% de aumento			6%	9%		

- **Costos de mejora para monitoreo de centros de categoría 4 y 5, fondos duros y semiduros.**

El mayor inconveniente que presenta la actual métrica de fondos duros es la imposibilidad de muestrear el sedimento, razón por la que actualmente se utiliza como método de evaluación la observación visual del fondo, mediante filmaciones remotas, las que luego se analizan en gabinete, con el propósito de detectar en los fondos con cubiertas blanquecinas, la existencia de microorganismos y/o burbujas de gas, que se reconocen como indicadores de situación anaeróbica. Este análisis, es muy dependiente de la interpretación del analista, y además frecuentemente se dificulta por las características oceanográficas del área en el momento de la filmación. Tomando en consideración estos elementos, el resultado presenta cierto grado de incertidumbre respecto de la correcta evaluación de la situación aeróbica de los fondos de estos centros. Si se considera que cerca del 20% de los INFA, resultan anaerobios, resulta altamente pertinente aumentar la precisión de la medición, y de esta manera lograr mayor evidencia de la condición aeróbica (o no) del centro y consecuentemente mejorar la gestión técnica-financiera del sistema de evaluación ambiental de la acuicultura de salmones, en el sentido que se logren los mejores resultados en relación con los recursos empleados.

- **La propuesta de mejora para los INFAS:**

1. En relación con las filmaciones submarinas cuyo objeto es observar presencia o ausencia de cubiertas bacterianas, se propone reducir de 2 a 1 transecta, el límite de aceptabilidad de transectas con microorganismos visibles y/o burbujas de gas. Este límite es el utilizado en Canadá. Si bien no resuelve las dificultades asociadas al registro filmico del fondo, agrega exigencia al indicador y con ello amplía el enfoque precautorio de la medición. Esta mejora, no tiene costo incremental.
2. Aumentar el rango de profundidad de la medición del oxígeno disuelto en la columna de agua, de manera de conocer la concentración del mismo en la zona inmediatamente adyacente al fondo, que es el área de mayor afectación. Requiere la filmación remota para identificar fondos con cubierta blanquecina, una vez detectados se procede a la obtención una muestra de agua del fondo y su medición *in situ*, con un equipo multiparamétrico. Esta mejora, refuerza el INFA, en el sentido de complementar con una medición objetiva el análisis del registro visual que está sujeto a la interpretación humana. El precio estimativo de este servicio (filmación, extracción de muestra con ROV, y análisis con equipo multiparamétrico) asciende a 27,5 UF/centro, monto que aumentaría el costo del INFA en un 23% aproximadamente (**ANEXO 10**, costo O₂ profundo). Adicionalmente el proveedor deberá invertir en un equipo multiparamétrico que tiene un valor aproximado de 68,5 UF (**ANEXO 10**, multiparamétrico).
3. Implementar el DNA ambiental (gen ARNr 16S), una vez observada la cubierta bacteriana, se propone la toma de muestras con un sistema remoto submarino (ROV) portátil para la identificación de las bacterias indicadoras de fondos anaerobios. El desarrollo inextenso del DNA ambiental es parte de un proyecto de investigación en actual ejecución (FIPA 2023-15: "Uso de tecnología de detección de material genético (ADN) de microorganismos visibles o mantos blanquecinos en fondos acuáticos Categoría 4"), por lo cual, en el presente estudio no se avanzó mayormente en su análisis, debido a que sus resultados estarán disponibles una vez terminado el proyecto ejecutado por la Universidad de Los Lagos.
4. Implementar el análisis de nutrientes en la columna de agua, particularmente nitrato que suele estar relacionado con la presencia de bacterias gigantes indicadoras de ambientes anaeróbicos. Se recomienda en complementariedad con la medición de oxígeno disuelto en el agua adyacente al fondo (punto 2). El costo de análisis de laboratorio de nitrato es de 0,158 UF/muestra, no se considera un costo extra de muestreo, ya que, se podría utilizar la misma muestra de agua extraída para la medición de oxígeno.

Tabla 43. Mediciones actuales y propuestas de mejora para los centros de fondos duros y semiduros.

N°	Mediciones	Actual	Propuesta	Impacto en el INFA	Costo
1	Registro visual del fondo respecto de la presencia de microorganismos visibles y/o burbujas de gas.	Límite de aceptabilidad es menor o igual a 2 transectas con presencia de microorganismos visibles y/o burbujas de gas	Restringir el límite de aceptabilidad a 1 transecta con señales de anaerobia.	Bajo impacto, ya que no resuelve las dificultades del método actual (filmaciones del fondo)	0
2	Oxígeno disuelto en la columna de agua.	Mide hasta 1 metro del fondo.	Aumentar el rango de medición de la columna de agua, extrayendo una muestra de agua del fondo. Amplía la medición de O ₂ a la zona de mayor afectación.	Alto impacto, en el sentido que agrega una medición objetiva de una variable ampliamente utilizada y con un límite de aceptabilidad conocido en la detección de ambientes anaerobios.	Aumenta en un 23% app. el precio del INFA
3	DNA ambiental Identificación de bacterias	No se realiza	Una vez observado el tapiz bacteriano, se propone la toma de muestras con un sistema remoto submarino (ROV) portátil.	Alto impacto. Identifica bacterias indicadoras de anaerobia. Requiere de visualización previa (filmación).	Resultado de otro proyecto de actual ejecución.
4	Análisis de nutrientes, en particular Nitrito	No se realiza	Medir nutrientes en muestras de agua, particularmente nitrato, que suele estar relacionado con la presencia de bacterias indicadoras de ambientes anaerobios	Mediano impacto. Aporta una medición complementaria, podría utilizarse en conjunto con 1 y/o 2.	Aumenta entre un 6% y 9% el precio del INFA

Tabla 44. Costo de toma de muestra en profundidad de oxígeno disuelto.

INVERSIÓN	UF	\$		
ROV	48.5	1,839,412		
Equipo multiparamétrico	68.5	2,600,000		
COSTO INCREMENTAL	UF	UF	\$	
Insumos (**)	3.5	17.3	656,000	
Filmación submarina (*)	24	24	910,697	
Total	27.5			
(*)	Se estima en un quinto del precio del INFA de centros de categoría 4 y 5 (80UF/INFA)			80
(**)	Se estima que los insumos para el equipo paramétrico cubrirían 4 muestreos			4
	valor de la UF, SII, 10 oct 2024			37,946
	precio promedio de un INFA			121.7
	% de aumento del precio del INFA			23%

Se recomienda retomar la verificación en terreno de los muestreos, realizada en años anteriores (2013 al 2016), la que tuvo un costo promedio anual de **24.102 UF** (ANEXO 10 hoja: costo de verificación en terreno). Esta verificación se operativizó mediante el proyecto Verificación de los Procedimientos de Muestreos y Análisis de las Variables Oceanográficas Requeridas para la Elaboración de INFAS (ID 701-30-LP12, 13 y 14) en los Centros de Cultivo de Salmónidos y Mitílicos ubicados en las regiones de Los Ríos, Los Lagos y Aysén, y las comunas de Castro y Quellón, de acuerdo a los procedimientos y metodologías establecidas en la R.E N°3612.

Un aspecto clave en cualquier instrumento de evaluación, es la confiabilidad, concepto que, en el caso de un instrumento de evaluación con fines de fiscalización, cobra mayor importancia. Una manera de contribuir al cumplimiento del objetivo de la evaluación, en este caso la evaluación ambiental de la acuicultura de salmones y con ello a la confiabilidad del instrumento, es implementar la verificación en terreno de los procedimientos de muestreo. Acreditar el cumplimiento de que la recolección de las muestras se realice con técnicas, materiales, equipos y documentación adecuada, que permitan su posterior identificación, trazabilidad y análisis en el laboratorio, otorgan validez al proceso (DIRECTEMAR, 2021, Programa de Observación del Ambiente Litoral).

La verificación en terreno, realizada por un tercero independiente calificado, proporciona garantía tanto al ejecutor del INFA (consultoras), como al centro acuícola, y al organismo fiscalizador (SERNAPESCA), de que los procesos de muestreo se han realizado conforme a la norma. La importancia de que el ente verificador sea independiente otorga credibilidad y fiabilidad a los informes resultantes, ya que, se basan en información cuya generación fue verificada por un tercero desprovisto de conflictos de interés.

Tabla 45. Precio de los servicios según contratos.

PRECIO DE LOS SERVICIOS SEGÚN CONTRATOS		
valor \$	año	valor UF
85,500,000.0	2013	22,837.1
118,000,000.0	2014	23,312.6
203,000,000.0	2015	24,627.1
210,000,000.0	2016	25,629.1
PROMEDIO		24,101.5

Tabla 46. Costo mejoras ambientales INFA.

Mejora a los Informes Ambientales (INFA).			Costo	
Recomendaciones dirigidas a los estamentos de regulación y fiscalización del desempeño ambiental de la acuicultura.	Ámbito técnico	Categoría 3	Indicadores bióticos (AMBI)	1.873 UF, solo una vez.
			Análisis de nutrientes en especial nitrato	7,6 a 11,4 UF/INFA
		Categorías 4 y 5	Mayor exigencia de aceptabilidad al indicador actual	0 UF
			Ampliar la profundidad de la muestra de oxígeno disuelto	
			Incorporar la medición de nutrientes, en especial nitrato.	7,6 a 11,4 UF/INFA
		Incorporar análisis de bacterias indicadoras de condición anaeróbica en los mantos blanquecinos.	En estudio en un proyecto en ejecución.	
Ámbito estratégico	Todas las categorías	Verificación en terreno de los procedimientos de muestreo	24.102 UF anual	
Recomendaciones de mecanismos preventivos			Ranking	
Mecanismos preventivos de la remediación de las zonas anaerobias. Recomendaciones dirigidas a los privados (productores de salmón)	Calificación , 93%.	Monitoreo y gestión de la alimentación	Primero	
	Calificación , 85%.	Tecnología de monitoreo y control ambiental (sensores)	Segundo	
	Calificación , 85%.	Rotación de áreas de cultivo Sistemas RAS	Tercero	
	Calificación entre 72% y 74%.	Jaulas flotantes, móviles y sumergibles Aireación y sistemas de burbujeo Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas Jaulas cerradas y semicerradas	Cuarto	

Fuente: Elaboración propia.

- **Propuesta de para la implementación de mecanismos o sistemas tecnológicos para disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños.**

El equipo técnico del proyecto realizó una búsqueda acuciosa de los mecanismos o sistemas tecnológicos utilizados en Chile y en otros países con acuicultura de salmónidos, que permitan disminuir o evitar la sedimentación de materia orgánica en los fondos aledaños. Se identificaron trece mecanismos o tecnologías de prevención de situaciones anaerobias, su descripción, los países donde se ha probado y sus resultados, se han resumido en la **Tabla 47**.

Tabla 47. Descripción de los mecanismos de prevención, países donde se ha implementado y sus resultados.

Mecanismos o Tecnologías	Descripción	Países donde se ha implementado	Resultados
1. Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	Ubicar las jaulas en áreas con corrientes naturales para dispersar sedimentos. Aumentar la distancia entre jaulas y el fondo marino.	Noruega Escocia	Los estudios muestran que esta tecnología ha reducido significativamente la acumulación de residuos en el fondo marino, mejorando la calidad ambiental de las áreas.
2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	Minimizan el contacto con el fondo marino, evitan la acumulación de sedimentos y mejor dispersión de los desechos orgánicos.	Noruega, Canadá Chile	Bajas cargas bacterianas y caligus, bajas pérdidas por ataques de lobos marinos, Baja adhesión de fouling
3. Sistemas de recolección de residuos	Bandejas recolectoras y sistemas de succión para evitar que los residuos lleguen al fondo marino.	Escocia, Noruega Chile	Mørenot reporta 60-70 % de reducción de residuos.
4. Aireación y sistemas de burbujeo	Sistemas de aireación y difusores de aire mantienen los sedimentos en suspensión para que las corrientes los dispersen.	Noruega, Honduras, Chile	63% reducción en consumo de energía en comparación con 3). 58% menor consumo de oxígeno en comparación con 3). Es el sistema utilizado localmente para la recuperación de condición aeróbica de centros.
5. Monitoreo y gestión de la alimentación	Sistemas de alimentación controlada y sensores para reducir el exceso de alimento no consumido, minimizando desechos.	Noruega, Chile	Alimentación y monitoreo remoto, optimización de la cantidad de alimento, evita riesgos al personal, reduce pérdidas de alimento al ambiente.
6. Rotación de áreas de cultivo y descansos.	Rotar las áreas de cultivo para permitir que el ecosistema marino debajo de las jaulas se recupere de la sedimentación.	Noruega, Escocia Chile	Tras la crisis del virus ISA, la ley estableció la operación de la industria a través de agrupaciones de concesiones o "barrios ". Los centros de cultivo de un barrio descansan al mismo tiempo durante al menos 3 meses. Este descanso, aunque se genera con un objetivo sanitario permite la recuperación del fondo y columna de agua.
7. Tecnología de monitoreo y control ambiental	Utilización de sensores para el monitoreo de variables medioambientales	Noruega, Escocia Chile	Fáciles de instalar y escalables, capacidad de registro de datos, red de sensores de múltiples parámetros.
8. Sistemas RAS	Sistema de permite reutilizar el agua mediante un ciclo a través de un sistema de filtración para que pueda volver a utilizarse, principalmente en agua dulce.	Noruega, Escocia, Chile	Optimización de uso de agua. Reducción de riesgos por factores climáticos, impactos de enfermedades y parásitos Permite la producción segura de especies exóticas. Elimina potencialmente la liberación de parásitos a las aguas receptoras.
9. Jaulas cerradas y semicerradas	En estos sistemas se contienen los residuos dentro de la estructura de la jaula lo que facilita su recolección y manejo sin que se liberen al entorno marino circundante.	Noruega	Peces libres de piojos, mejora en los índices de conversión del alimento, reducción de la mortalidad y eliminación de los escapes.
10. Bioremediación	Uso de microorganismos para descomponer materia orgánica acumulada.	Noruega y China	Mejora las condiciones ambientales bajo las jaulas de cultivo, por efecto de la descomposición realizada por bacterias y/o microorganismos consumidores de materia orgánica.
11. Policultivos	Integración de especies que actúan como biofiltros para absorber nutrientes.	Canadá	Reducción del 40% de nutrientes disueltos en el agua, incorporando cultivos de organismos filtradores. Requiere alta biomasa de filtradores.
12. Bioacumuladores	Algunos organismos tienen la capacidad de acumular nutrientes en sus tejidos, ayudando a reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo en el entorno.	China	Por ejemplo, pepinos de mar, organismos que consumen materia orgánica, reduciendo los efectos negativos en los sedimentos y mejorando las condiciones del ecosistema.
13. Agentes químicos	Uso de agentes químicos para modificar propiedades del sedimento y agua. Flocculantes, oxidantes y/o neutralizadores de PH.	Mundial.	Mejora de la calidad del agua y reducción de eutrofización, usándose con precaución.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque se contó con algunos costos de los mecanismos identificados, su unidad no fue estándar, lo que dificultó establecer una estimación de costos para los mismos. En este escenario, y considerando que la mayoría de los mecanismos, ya se encuentran implementados en nuestro país, se consideró más informativo, dado el enfoque del estudio, realizar un análisis de priorización de los mismos, en el sentido de establecer un ranking de recomendación. Este análisis es parte del Objetivo 2, se realizó a partir de la información recopilada sobre los mecanismos y/o tecnologías identificadas y se detalla en los resultados de dicho objetivo. Se identificaron trece mecanismos o tecnologías de prevención, los cuales fueron calificados en relación a seis criterios (**Tabla 48**), con una calificación que pondera: probabilidad de éxito y magnitud del impacto (**Tabla 49**).

Tabla 48. Elementos propios de cada mecanismo de prevención de remediación, sometidos a evaluación.

Criterios de evaluación
1.Presencia en el mercado internacional
2.Presencia en el mercado nacional
3.Factibilidad técnica
4.Impacto Ambiental
5.Escalabilidad
6.Efectividad de la tecnología

Tabla 49. Criterios de evaluación de los mecanismos preventivos de remediación.

Criterios de calificación	1= Baja	2= Media	3= Alta
Probabilidad de ocurrencia	Ocurre raramente.	Ocurre ocasionalmente	Ocurre frecuentemente
Magnitud del impacto	Mínimo impacto	Significativo impacto	Alto impacto

Los mecanismos identificados, junto a los elementos de evaluación y sus criterios de calificación, se sometieron a la evaluación de tres expertos (investigadores del proyecto), sistematizada mediante la herramienta Matriz de Oportunidades. El ranking de priorización de recomendación (**Tabla 50**), arrojó en los tres primeros lugares el Monitoreo y gestión de la alimentación (93%), Tecnología de monitoreo y control ambiental (85%), Rotación de áreas de cultivo y Sistemas RAS (80%). El mecanismo mejor evaluado en el sentido preventivo es el monitoreo y gestión de la alimentación, que incorpora a la automatización de la alimentación, módulos remotos de control en relación a la optimización de la calidad y cantidad del alimento entregado y el análisis de datos relativos a la operación y la comunicación entre centros. Nótese que estos mecanismos y tecnologías, se encuentran implementadas en Chile, en diferentes etapas y niveles, lo que señala que los productores ya han evaluado su conveniencia y este estudio consolida tal ejecución.

Tabla 50. Ranking de evaluación en términos de la prevención de la sedimentación de los fondos aledaños a los centros.

N°	Mecanismo o tecnología evaluada	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Priorización
1	Monitoreo y gestión de la alimentación	94,44	94,44	88,89	92,59	93%
2	Tecnología de monitoreo y control ambiental (sensores)	81,48	85,19	88,89	85,19	85%
3	Rotación de áreas de cultivo	75,93	70,37	94,44	80,25	80%
4	Sistemas RAS	68,52	77,78	94,44	80,25	80%
5	Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	79,63	68,52	74,07	74,07	74%
6	Aireación y sistemas de burbujeo	53,70	83,33	83,33	73,46	73%
7	Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	79,63	74,07	64,81	72,84	73%
8	Jaulas cerradas y semicerradas	59,26	72,22	83,33	71,60	72%
9	Sistemas de recolección de residuos	61,11	66,67	66,67	64,81	65%
10	Biorremediación	51,85	37,04	85,19	58,02	58%
11	Policultivos	29,63	42,59	62,96	45,06	45%
12	Bioacumuladores	33,33	33,33	62,96	43,21	43%
13	Agentes Químicos	22,22	11,11	59,26	30,86	31%

Fuente: Elaboración propia.

El 2022 se realizaron 378 INFA's de centros de cultivo de salmónidos, el 24% de estos fueron calificados en situación de anaerobia. El año siguiente (2023) se realizaron 424 INFA's, de las cuales, el 17% resultó en situación anaeróbica. La baja en el porcentaje de INFA's anaeróbicas, podría ser el resultado de que los centros acuícolas están implementando mecanismos de prevención, de manera de evitar caer en situación anaeróbica.

Siendo la salmonicultura una actividad productiva, de alto impacto económico, que conlleva altos montos de inversión y de costos, tener un resultado ambiental negativo (INFA anaeróbica), significa incurrir en altos costos, no solo por la elaboración de nueva INFA y la aplicación de mecanismos de remediación, sino también por la pausa del proceso productivo que el centro debe efectuar mientras realiza la remediación. En este sentido, parece de menor costo implementar mecanismos de prevención, ejercicio que ya han realizado los productores, los que han implementado uno o varios mecanismos de prevención.

4.3.5. Taller de difusi3n

- Invitaci3n del taller:



60
Años de investigación en pesca y acuicultura
IFOP

INVITACI3N

Gast3n Vidal Santana, Jefe de la Divisi3n de Investigaci3n en Acuicultura del Instituto de Fomento Pesquero, saluda atentamente a usted y tiene el agrado de invitarle al taller de difusi3n de resultados del proyecto FIPA2023-11 “**Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluaci3n del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmoneicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentaci3n y acumulaci3n de materia orgánica en los fondos**”.

La actividad se realizará vía plataforma Teams el día **29 de enero de 2025**, entre **10:00 y 13:00 horas**.

Agradecemos su confirmaci3n y esperamos contar con su valiosa presencia

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Gobierno de Chile

Ingresa al Seminario clicando aquí o escaneando el código qr



Puerto Montt, enero de 2025

www.ifop.cl 

Figura 56. Invitaci3n del taller.

▪ Programa del taller:



PROGRAMA DIFUSIÓN RESULTADOS

FIPA 2023-11: "Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos".

Miércoles 29 de Enero del 2025, 10:00 hrs. vía Microsoft Teams ([Link](#))

10:00-10:15 Palabras de bienvenida
Dra. Alejandra Oyanedel / Jefatura de Departamento de Medio Ambiente / División de Investigación en Acuicultura / Instituto de Fomento Pesquero.

10:15-11:00 Desafiando la Sedimentación: Nuevas Tecnologías para el Cultivo de Salmón en Chile y el Mundo
Carolina Sotomayor / Investigador Semi-senior / Departamento de Medio Ambiente / División de Investigación en Acuicultura / Instituto de Fomento Pesquero.

11:00-11:45 Modelo de Gestión Ambiental de la Acuicultura de Salmónidos: Análisis Comparativo y Propuesta de Mejoramiento.
Vladimir Murillo / Investigador Senior / Departamento de Medio Ambiente / División de Investigación en Acuicultura / Instituto de Fomento Pesquero.

11:45 -12:30 Ronda de preguntas y cierre de taller

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Gobierno de Chile

www.ifop.cl 

Figura 57. Programa del taller.

▪ **Asistentes del taller****Tabla 51.** Asistencia al taller de difusión.

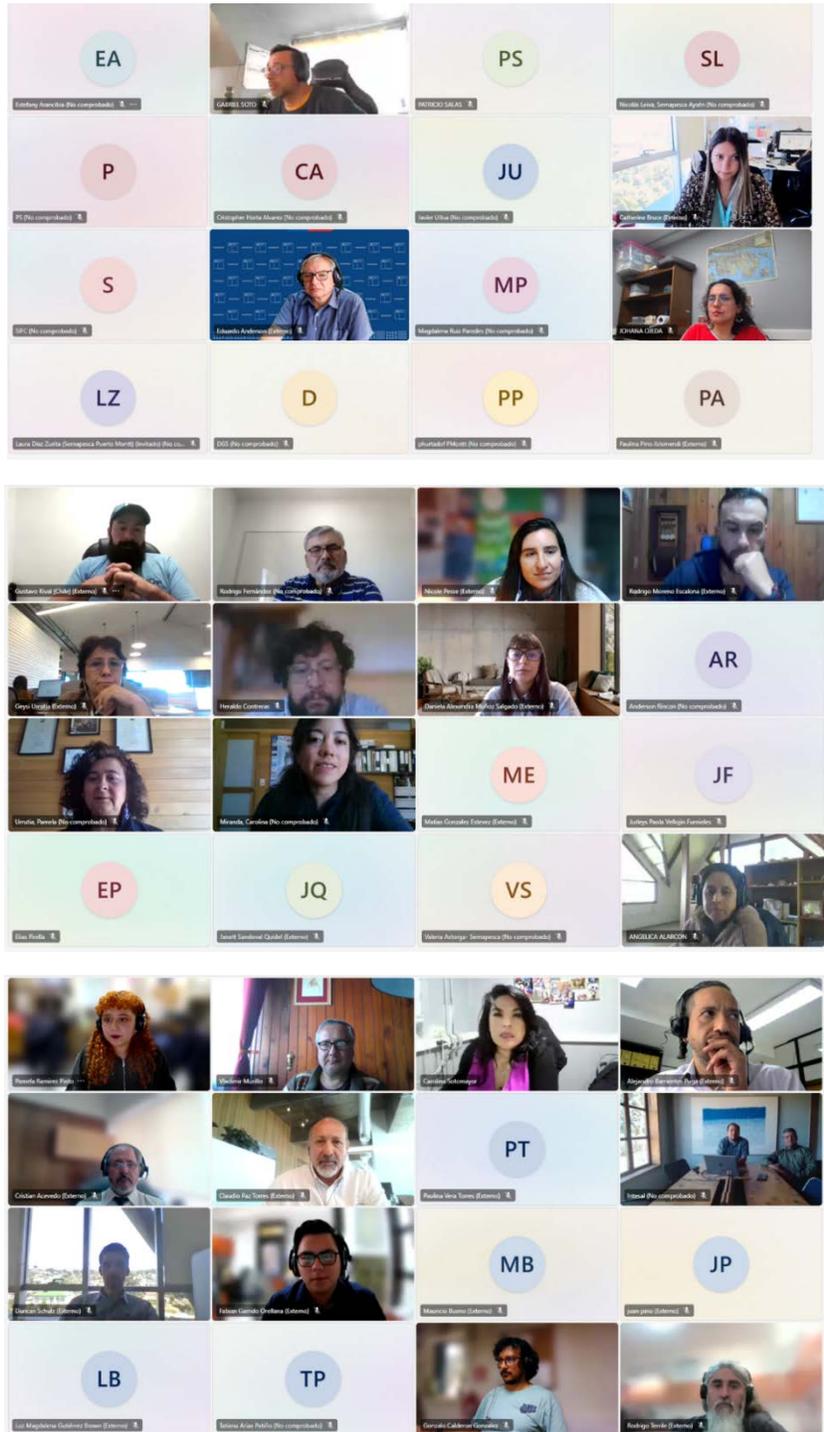
Nombre completo	Correo	Institución
Javier Ulloa	julloa@australplus.com	Austral Plus
Gustavo Llanos Cortes	gllanos@australis-sa.com	Australis Mar
Paula Strasser	pstrasser@australis-sa.com	Australis Mar S.A.
Claudia Kiekebusch	ckiekebusch@australis-sa.com	Australis Mar S.A.
Claudio Paz Torres	cpazt@caletabay.cl	Caleta Bay
Gustavo Rival Cortez	g.rival@cascoantiguo.com	casco antiguo
Karla Garcia	karla.garcia@cermaq.com	Cermaq Chile S.A.
Camilo Oñate Ojeda	camilo.onate@cermaq.com	Cermaq Chile S.A.
Cristian Vásquez	cvasquez@oceanografia.udec.cl	COPAS Coastal-UdeC
Tatiana Arias Patiño	tarias@dvstecnología.cl	DVS Tecnología S.A
Rodrigo Fernández	rfernandez@dvstecnologia.cl	DVS Tecnología S.A
Rodrigo Terrile	rterrile@dvstecnologia.cl	DVS Tecnología S.A
Rodrigo Moreno Escalona	rmoreno@iacspa.cl	IA Consultores SpA
Matías Gargiulo	mgargiulo@iacspa.cl	IA Consultores SpA
Janett Sandoval	jsandoval@iacspa.cl	IA Consultores SpA
Pamela Ramirez	pamela.ramirez@ifop.cl	IFOP
Alejandra Oyanedel	alejandra.oyanedel@ifop.cl	IFOP
Camila Soto Riquelme	camila.soto@ifop.cl	IFOP
Vladimir Murillo Haro	vladimir.murillo@ifop.cl	IFOP
Cristian Segura	cristian.segura@ifop.cl	IFOP
Lilian Díaz	lilian.diaz@ifop.cl	IFOP
Rodrigo Jaramillo Teufert	rodrigo.jaramillo@ifop.cl	IFOP
Nicole Pesse Lastra	nicole.pesse@ifop.cl	IFOP
Cristian Ruiz		IFOP
Sandra Silva	sandra.silva@ifop.cl	IFOP
Christian Espinoza	christian.espinoza@ifop.cl	IFOP
Johana Ojeda Palma	johana.ojeda@ifop.cl	IFOP
Alejandra Lafon Vilugron	alejandra.lafon@ifop.cl	IFOP
Patricio Salas	patricio.salas@ifop.cl	IFOP
Angélica Alarcón	angelica.alarcon@ifop.cl	IFOP
Alejandra Montaner	alejandra.montaner@ifop.cl	IFOP
Felipe Tucca	f.tucca@intesar.cl	INTESAL
Ximena Rojas	xrojas@intesar.cl	INTESAL
Alexander Jaramillo	ajaramillo@intesar.cl	INTESAL
Omar Cheuquepil Ojeda	hedilberto.cheuquepil@invermar.cl	Invermar



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

Johanna Mendoza	johanna.mendoza@invermar.cl	Invermar
Carlos Leal Bastidas	cleal@keepex.cl	KEEPEX
Mauricio Bueno	mauricio.bueno@kran.cl	Kran Nanobubble
Felipe Garcia	felipe.garcia@kran.cl	Kran Nanobubble
Diego Caceres	diego.caceres@kran.cl	Kran Nanobubble
Pilar Señoret	pilar.senoret@kran.cl	Kran nanobubble
Carolina Miranda Nail	carolina.miranda@mowi.com	Mowi
Pamela Urrutia	pamela.urrutia@mowi.com	Mowi
Geysi Urrutia	gurrutia@multi-xsalmon.com	Multi X S.A.
Natalia Rocha Donoso	natalia.rocha@salmonesaustral.cl	Salmones Austral
Jorge Moreira Gonzalez	jorge.moreira@salmonesaustral.cl	Salmones Austral
Roxana Quichapai Rantul	roxana.quichapai@salmonesaustral.cl	Salmones Austral
Anderson Rincón	arincon@salmonesaysen.cl	Salmones Aysén S.A.
Daniela Muñoz S.	danielaalexandra.munoz@blumar.com	Salmones Blumar S.A.
Christian Reimers	christian.reimers@blumar.com	Salmones Blumar S.A.
Luz Gutiérrez Brown	luz.gutierrez@blumar.com	Salmones Blumar S.A.
Duncan Schulz	duncan.schulz@camanchaca.cl	SALMONES CAMANCHACA
Loreto Urquieta G	loreto.urquieta@salmonesdechile.com	Salmones de Chile S.A.
Sergio Flores Claramunt	sflores@sernapesca.cl	Sernapesca
Karen Montecinos	kmontecinos@sernapesca.cl	Sernapesca
Viviana Rosales Garcés	vrosales@sernapesca.cl	Sernapesca
Oriana Rojas	orjasv@sernapesca.cl	Sernapesca
Valeria astorga wells	vastorga@sernapesca.cl	sernapesca
Fabián Garrido Orellana	Practica_sanitaria@subpesca.cl	Subpesca
Susana Giglio Muñoz	sgiglio@subpesca.cl	Subpesca
Cecilia Pérez Hernández	cperez@subpesca.cl	Subpesca
Matías González	practica_ua@subpesca.cl	Subpesca
Allan Gómez Aravena	agomez@subpesca.cl	Subpesca
Alejandro Barrientos	abarrientos@subpesca.cl	Subpesca
Eduardo Anderson Germain	eanderson@subpesca.cl	Subpesca
Cristián Acevedo Vergara	cristianac@subpesca.cl	Subpesca
Benjamin Solari	bsolari@oceandeeep.cl	UnderDeep
Sebastian Escobar	sescobar@oceandeeep.cl	UnderDeep
Patricio Hurtado Flores	phurtadof@sernapesca.cl	
Pablo Salgado Garrido	pablo.salgado@ifop.cl	IFOP
Antonio López Muñoz	alopez@fishingpartners.cl	Fishing Partners
Carolina Sotomayor	carolina.sotomayor@ifop.cl	IFOP

▪ Registro visual



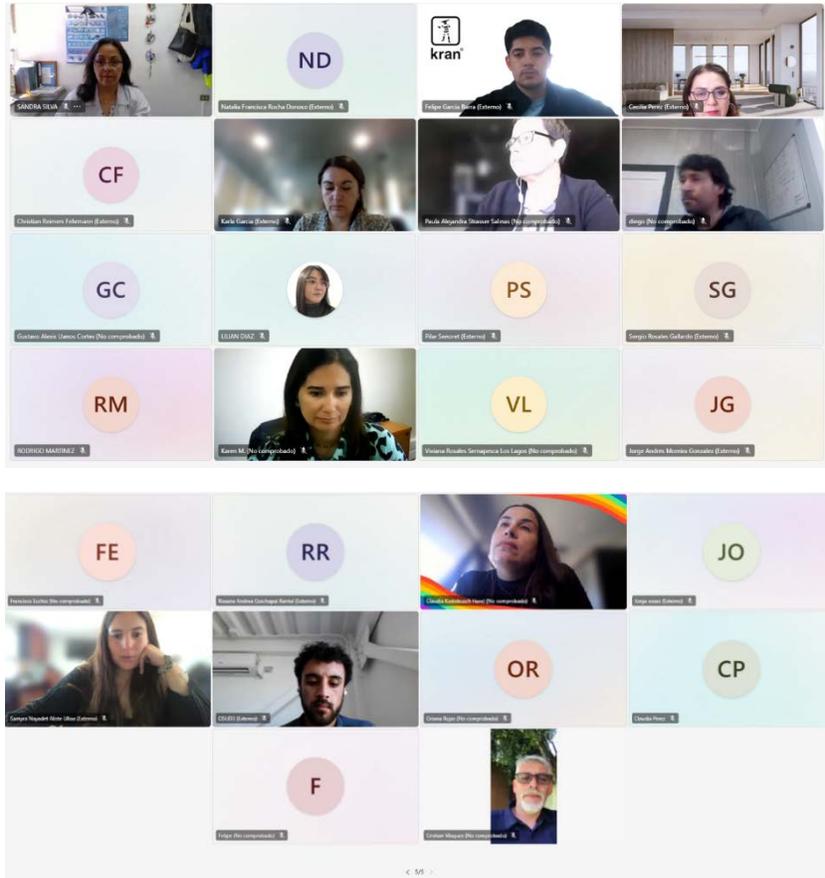


Figura 58. Registro visual Taller de difusión.

5. DISCUSIÓN

Modelos de evaluación ambiental de la Salmonicultura

La evaluación ambiental de la acuicultura ha evolucionado a nivel global en respuesta a los impactos ecológicos asociados a esta actividad. La presente revisión comparativa entre modelos nacionales e internacionales revela enfoques diversos, con metodologías específicas adaptadas a las condiciones ambientales y regulatorias de cada país. En este contexto, el modelo chileno de evaluación ambiental sectorial de la acuicultura en cuerpos de agua y fondos marinos se encuentra en una etapa de madurez, pero con oportunidades de mejora al contrastarlo con modelos implementados en otros países productores de salmónidos.

1. Modelos Internacionales y sus Enfoques

- **Canadá:** Posee un enfoque basado en regulaciones federales y provinciales, destacando la Aquaculture Activities Regulations (AAR), donde el monitoreo ambiental se centra en la medición de sulfuros totales libres (S^{2-}) y potencial redox (Eh) para evaluar el estado del sedimento. Se incorporan metodologías como monitoreos bentónicos visuales y muestreos físicos, además de una regulación estricta sobre los límites de biomasa por centro de cultivo. Un aspecto destacable es la existencia de Planes de Gestión Integrada de la Acuicultura, que permiten la participación de diversos actores en la toma de decisiones y la evaluación de impactos.
- **Noruega:** Su sistema se estructura bajo la norma NS-9410:2016, con un modelo de gestión adaptativa basado en el régimen de semáforo, que ajusta la biomasa permitida según impactos ambientales y la presencia de piojos de mar. Su evaluación se divide en Monitoreo B y C, donde el primero se centra en parámetros físicos y químicos del sedimento, mientras que el segundo amplía la evaluación al ecosistema circundante. La regulación noruega también establece límites estrictos sobre la presencia de macrofauna oportunista y la acumulación de materia orgánica.
- **Escocia:** Destaca por su enfoque preventivo mediante el uso de modelos predictivos (AutoDEPOMOD) para delimitar el Área de Efecto Permitido (AZE) antes del establecimiento de los centros de cultivo. Además, introduce el concepto de Depositional Zone Rules, limitando la dispersión de residuos orgánicos a 100 metros de la concesión. Su sistema de monitoreo autónomo por parte de los operadores, certificado por el Measurement Assurance and Certification Scotland (MACS), permite una evaluación más ágil y una respuesta rápida ante impactos negativos.
- **Irlanda:** Posee una regulación ambiental basada en la interacción entre biomasa total y corrientes marinas, clasificando los centros de cultivo en distintos niveles de monitoreo. Su enfoque integra el análisis de macrofauna bentónica, carbono orgánico total y potencial redox, dependiendo de la intensidad del impacto del cultivo en el ecosistema circundante. Se enfatiza el uso de modelos de dispersión de partículas para definir el AZE, asegurando que los residuos orgánicos no superen la capacidad de carga del área.



2. Comparación con el Modelo Chileno.

Chile, como uno de los principales productores de salmónidos a nivel mundial, ha desarrollado una regulación sectorial basada en la Resolución Exenta N°3612/2009 y otras normativas complementarias. Sin embargo, al compararlo con los modelos internacionales, se observan algunas diferencias clave:

- **Enfoque del monitoreo:** Mientras que países como Noruega y Canadá han adoptado metodologías integradas basadas en múltiples indicadores físico-químicos y biológicos, en Chile el monitoreo aún se centra en variables más limitadas, como oxígeno disuelto y registros visuales en centros con fondo duro. Sería recomendable incluir parámetros como sulfuros totales libres, carbono orgánico total y macrofauna bentónica, los cuales han demostrado ser eficaces en la detección temprana del impacto ambiental.
- **Gestión de biomasa:** Chile define límites de producción basados en estimaciones de capacidad de carga, pero no implementa un sistema dinámico como el régimen de semáforo noruego, que permite ajustes en función del estado ambiental del sitio. Incorporar un sistema adaptativo permitiría una regulación más eficiente de la producción y la reducción de impactos acumulativos.
- **Uso de Modelos Predictivos:** A diferencia de Escocia e Irlanda, donde el modelado computacional es un requisito obligatorio para evaluar la dispersión de residuos orgánicos, en Chile aún no se exige de manera generalizada la modelación del AZE antes del establecimiento de nuevos centros de cultivo. Integrar herramientas como AutoDEPOMOD o sistemas de modelado hidrodinámico podría mejorar significativamente la planificación de los emplazamientos acuícolas.
- **Monitoreo Autónomo y Certificación:** Escocia ha implementado un sistema donde los operadores de centros de cultivo realizan sus propias evaluaciones bajo un protocolo estandarizado y certificado por entidades gubernamentales. En Chile, el monitoreo ambiental es fiscalizado por SERNAPESCA, pero la certificación independiente de los datos por parte de organismos externos podría aumentar la transparencia y reducir la carga administrativa.

Tecnología y mecanismos sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos

La sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos asociados al cultivo de salmón constituyen un desafío significativo para la sostenibilidad de la salmonicultura en Chile, por lo que es esencial la investigación y aplicación de mecanismos o tecnologías que reduzcan o eliminen la sedimentación y que sean aplicados principalmente desde un enfoque preventivo, más que reactivo como se realiza actualmente en el país.

Los mecanismos físicos autorizados en Chile para ser aplicados por las empresas acuícolas, mediante Resolución Exenta N°1141/2022 de 2 de junio de 2022, corresponden a los que usan tecnologías de aireación o agua enriquecida con oxígeno, específicamente la aplicación de nanoburbujas, microburbujas e inyección de agua de mar. La finalidad del uso de estos sistemas mecánicos es sobresaturar de oxígeno la capa más profunda de la columna de agua y con esto proporcionar un ambiente favorable para la colonización de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica, logrando un equilibrio ecológico en el fondo que facilite su recuperación. Estos sistemas, llevan poco tiempo de uso o implementación en la actividad acuícola nacional, debido a ello hay escasa información sobre su efectividad en la remediación de fondos asociados a la acuicultura. Un intento por evaluarlos ha sido la realización del proyecto FONDEF IDEA 2024



ID24110236, denominado "Modelo para la evaluación e investigación de mecanismos de mitigación y remediación aplicados a ambientes marinos alterados por acuicultura" que actualmente está en proceso de ejecución. Se espera que, una vez finalizado el proyecto, éste de luces sobre la eficiencia del uso de estos mecanismos en la recuperación o remediación de los fondos asociados a centros de cultivo en el país.

Por otro lado, el presente estudio ha tenido como objetivo identificar y analizar los mecanismos enfocados en la disminución y/ o eliminación de la sedimentación y la acumulación de materia orgánica en los sistemas de cultivo de salmón, para proporcionar así una base fundamentada para el desarrollo de prácticas más sostenibles en la industria. De acuerdo a los resultados, se identificaron 13 mecanismos con un enfoque preventivo, siendo 9 de tipo físico, 3 biológicos y uno de tipo químico. La mayoría de ellos ya se han aplicado en Chile al menos de manera experimental. Para poder realizar una propuesta del uso de estas tecnologías acorde a la realidad de nuestro país, se realizó un análisis de oportunidad con el propósito de establecer un ranking de recomendación. La elaboración y el concepto del análisis de oportunidad es una modificación de un análisis de riesgo. Para ello, se ha invertido la lógica tradicional, enfocándose en oportunidades y potencial (enfoque positivo). Se realizó una adaptación metodológica, ya que se toma una herramienta conocida (matriz de riesgo) y se transforma para un propósito diferente de manera creativa, demostrando que las metodologías establecidas pueden reinterpretarse de manera innovadora. Con ello se genera una cuantificación de lo cualitativo, debido a que convierte conceptos subjetivos como "oportunidad" y "potencial" en métricas medibles y comparables, facilitando la toma de decisiones basada en datos sin perder la riqueza del análisis cualitativo.

El análisis de oportunidad identificó tecnologías de mayor impacto y eficiencia, las cuales fueron las que obtuvieron los puntajes más altos, reflejando las opciones más efectivas para disminuir el ingreso de materia orgánica al sistema. Estas tecnologías también tendrían una implementación más exitosa y representarían una inversión estratégica para la sostenibilidad en acuicultura.

El resultado del análisis posicionó el Monitoreo y gestión de la alimentación (93%), Tecnología de monitoreo y control ambiental (85%) y Rotación de áreas de cultivo y Sistemas RAS (80%) en los primeros tres lugares del ranking de recomendación de uso. El mecanismo mejor evaluado en el sentido preventivo es el monitoreo y gestión de la alimentación, que incorpora a la automatización de la alimentación, módulos remotos de control en relación a la optimización de la calidad y cantidad del alimento entregado y el análisis de datos relativos a la operación y la comunicación entre centros.

Este resultado concuerda con lo expuesto durante la realización del Taller de Expertos, en donde se señaló que en los centros de cultivo acuícolas nacionales, se está promoviendo la automatización del proceso de alimentación de peces y la incorporación de cámaras submarinas de alta calidad, las que permiten monitorear el comportamiento de los peces y detectar desperdicios de alimento, lo que ayuda a reducir pérdidas y mejorar la eficiencia del proceso.

Durante el taller de expertos, quedó de manifiesto también que varias de las tecnologías identificadas en este estudio, presentan problemas para ser implementadas. En la normativa chilena actual, existen restricciones que prohíben el dragado y el arado de los fondos marinos en áreas de

concesiones acuícolas, debido a los efectos negativos significativos de estas prácticas, que incluyen la resuspensión de materiales orgánicos y sedimentos acumulados en el fondo. Equipos avanzados, como aspiradoras que retiran material orgánico sin tocar el fondo, han sido propuestos por empresas internacionales, pero la legislación chilena limita su aplicación en aguas nacionales. Un ejemplo es la tecnología japonesa que succiona los desechos de las jaulas sin alteración directa del sustrato.



Este marco regulatorio plantea desafíos para la industria y requiere evaluación constante frente a la evolución de las tecnologías de manejo ambiental.

Con respecto al uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de las balsas jaulas, se dificulta su implementación debido a que las solicitudes de las concesiones se realizaron en áreas protegidas y no se pueden relocalizar. Además, algunos centros de cultivo están en áreas acuícolas de pequeño tamaño en donde no es posible una relocalización.

La modelación hidrodinámica avanzada ha permitido a la industria acuícola evaluar las características específicas de cada sitio, como las corrientes y la dispersión de partículas. Estos modelos ofrecen una perspectiva detallada sobre cómo el movimiento del agua afecta la dispersión de desechos, lo que contribuye a determinar si un área puede manejar mayores o menores volúmenes de producción. Sin embargo, la capacidad de carga es compleja de definir y aún está en desarrollo. La legislación actual establece ciertos límites basados en las condiciones anóxicas del fondo, pero la necesidad de integrar estos conocimientos más avanzados en las normativas podría optimizar la sostenibilidad, facilitando que las empresas ajusten su producción según las condiciones locales de cada concesión.

La implementación de jaulas sumergibles para centros de cultivo es una tecnología en desarrollo, que ya se está probando en Chile y que ofrece beneficios significativos, como la reducción del riesgo de parásitos que suelen encontrarse en los primeros centímetros de profundidad. Estas jaulas también son útiles en áreas expuestas a temporales, permitiendo mantener condiciones óptimas en lugares con oleajes y condiciones adversas. No obstante, su costo es considerablemente alto, lo que plantea la necesidad de evaluar su viabilidad en función del costo-beneficio. Las pruebas actuales indican que esta tecnología podría ser especialmente beneficiosa en el litoral chileno debido a las condiciones de oxígeno y temperatura. El uso de jaulas sumergibles podría abrir nuevas oportunidades para la expansión de la acuicultura en áreas hasta ahora poco exploradas, siempre y cuando se establezcan normativas claras y se realicen análisis económicos detallados.

De acuerdo a la información recopilada durante la visita técnica a NORCE, si bien hay similitudes en la actividad acuícola de salmones en Chile y Noruega, existen muchas diferencias, como por ejemplo los problemas ambientales-sanitarios que enfrentan, que en el caso de Noruega corresponde al principalmente a la infección por *Caligus*, siendo el enriquecimiento orgánico de los fondos un problema menor, a diferencia de Chile. Lo anterior puede explicarse porque la acuicultura en Noruega ha ido migrando a zonas menos protegidas, más profundas, en donde la sedimentación de partículas es menor debido a una mejor circulación. Por otro lado, la acuicultura en tierra o "indoor" ha crecido, aunque representa una fracción más pequeña en comparación con la acuicultura en mar abierto. El uso de los sistemas RAS (Recirculating Aquaculture Systems) ofrece ventajas, como un mejor control de las condiciones ambientales, la reducción del riesgo de enfermedades y una menor dependencia de las condiciones marinas. Parece ser que lo más importante es el enfoque más integral y proactivo en la regulación y monitoreo de la acuicultura, con un énfasis en la restauración y un sistema de gestión ambiental más desarrollado. Noruega ha implementado un sistema de gestión denominado MOM (Modeling-Ongrowing fish-Monitoring) que consiste en la integración de los elementos de evaluación de impacto ambiental, monitoreo de impacto y estándares de calidad ambiental en un solo sistema. Si un centro es mal evaluado ambientalmente se le exige restaurar el sistema para volver a producir. Para ello existen empresas como Lift Up y Morenor que ofrecen una tecnología de captación de residuos generados en la balsas jaula antes de que sedimente, como lo ofrece la empresa Biolift en Chile. Finalmente cabe destacar también, el gran avance en investigación biotecnológica relacionada al uso de los desechos de la acuicultura para generar productos valorizados. Todo en su conjunto favorece una acuicultura del salmón más sustentable.

6. CONCLUSIÓN

Modelos de evaluación ambiental de la Salmonicultura

El análisis de la información disponible a nivel nacional e internacional sobre la evaluación ambiental en la acuicultura revela una diversidad de enfoques regulatorios y metodológicos utilizados en distintos países. Se observa que, si bien existe un marco normativo en Chile para la evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo, su comparación con modelos internacionales muestra oportunidades de mejora, especialmente en la integración de nuevas tecnologías y metodologías de monitoreo.

Los países analizados han implementado estrategias basadas en la capacidad de carga de los ecosistemas, la regulación de la biomasa máxima permitida y el uso de indicadores biogeoquímicos específicos, como los sulfuros totales libres y la macrofauna bentónica, para determinar el impacto ambiental de la acuicultura. Además, algunos han adoptado enfoques de monitoreo adaptativo y modelación predictiva para evaluar la deposición de materia orgánica y su impacto en los fondos marinos. En contraste, el modelo chileno, aunque robusto, presenta oportunidades para fortalecer la evaluación de impacto en fondos duros, optimizar la metodología de registro visual y mejorar la integración de índices bióticos avanzados.

El análisis bibliométrico realizado evidencia una brecha en la investigación sobre tecnologías que reduzcan la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos marinos aledaños a los centros de cultivo. Asimismo, se observa que la innovación en acuicultura ha estado más enfocada en la optimización productiva y sanitaria que en la mitigación de impactos ambientales, lo que sugiere la necesidad de mayor investigación en producción limpia desde una perspectiva ecológica.

En este contexto, la comparación del modelo chileno con las experiencias internacionales ofrece valiosos insumos para fortalecer la regulación ambiental de la acuicultura en el país. Incorporar metodologías más avanzadas, como el uso de ADN ambiental para el monitoreo de comunidades microbianas y la modelación de dispersión de residuos, permitiría una evaluación más precisa de los impactos de los centros de cultivo. Además, la implementación de estrategias de manejo adaptativo, como las adoptadas en Escocia y Noruega, podría mejorar la capacidad de respuesta ante cambios en la condición ambiental de los ecosistemas acuáticos.

En conclusión, la información recopilada sugiere que la evolución del modelo de evaluación ambiental en la acuicultura chilena debería enfocarse en la integración de herramientas tecnológicas innovadoras, la optimización del monitoreo en fondos duros y la incorporación de modelos predictivos basados en capacidad de carga. Esto permitiría una gestión más eficiente y sostenible, asegurando la protección de los ecosistemas marinos y la viabilidad de la actividad acuícola a largo plazo.

Tecnología y mecanismos sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos

Uso de tecnologías de remediación

- La realización de una búsqueda de las tecnologías a nivel nacional e internacional ha sido de vital importancia para conocer lo que está disponible en el mercado y categorizar su aplicabilidad en la industria de la acuicultura nacional.
- Las tecnologías presentadas para prevenir y aminorar la sedimentación son útiles y vitales para el manejo de la acuicultura, tales como el Monitoreo y gestión de la alimentación, la utilización de sensores, la incorporación de inteligencia artificial y los mecanismos físicos.



- El monitoreo y gestión de alimentación, se percibe como el mecanismo de mayor beneficio, ya que, desde la perspectiva social ambiental impacta positivamente la mantención de fondos aeróbicos y, desde el punto de vista de los beneficios privados, contribuye a una reducción del costo de alimento y de la duración del ciclo productivo.
- Internacionalmente los métodos de remediación no son utilizados y prevalecen los métodos de la prevención de la sedimentación, por medio de barreras físicas o búsqueda de lugares que eviten la sedimentación, como lugares conocidos como de alta energía, como canales o zonas costeras abiertas.
- El sistema de aireación del fondo es ampliamente usado como mecanismo de remediación, como mecanismo preventivo permanente o semipermanente se percibe de alto costo y dependiente de variables oceanográficas que mermarían su eficacia

Uso de tecnologías de prevención

- Los mecanismos de prevención utilizados actualmente tienen la misma dirección que los utilizados en otros países y tienen alta oportunidad de mejora (ya sea de fondo blando o fondo duro)
- La rotación de áreas es un mecanismo implementado y normado en los barrios (agrupación de concesiones de centros acuícolas).
- Las tecnologías que incorporan mega estructuras (jaulas sumergibles u oceánicas) aún no se han masificado, dado su alto costo de implementación y brechas de factibilidad técnica no completamente resueltas, se recomiendan para el futuro como opciones de una estrategia ante el cambio climático.
- A pesar de que las innovaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías siempre ha acompañado al desarrollo acuícola y es vital para mejorar los efectos de acuicultura, actualmente en temas de remediación de fondo marino los únicos estudios que han visto son efectivos en la recuperación de la macrofauna de los fondos son los descansos, por tanto, es el único método que se puede recomendar como remediación actualmente y que tiene respaldo científico.
- Se propone evaluar los descansos prolongados y las evaluaciones de las capacidades de carga, antes de la utilización de métodos de remediación mediante oxigenación del fondo, o métodos de movimiento de las masas de agua verticalmente, ya que estos métodos a pesar de generar cambios químicos, como el aumento de la concentración de oxigenación del agua, no tiene evidencias sólidas de contribuir a recuperación de los fondos de los ecosistemas marinos.
- Se recomienda fomentar alianzas entre la industria, el gobierno y el mundo académico para desarrollar las soluciones a medida.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams, Thomas P.; Black, Kevin; Black, Kenny; Carpenter, Trevor; Hughes, Adam; Reinardy, Helena C.; Weeks, Rebecca J. (2020). Parameterising resuspension in aquaculture waste deposition modelling. *Aquaculture Environment Interactions*.
2. Akhter, Fowzia; Siddiquei, Hasin Reza; Alahi, Md Eshrat E.; Mukhopadhyay, Subhas C. (2021). Recent Advancement of the Sensors for Monitoring the Water Quality Parameters in Smart Fisheries Farming. *Computers*.
3. Alaliyat, Saleh (2014). Ecosystem-Based Approach to Norwegian Aquaculture Management. *European Scientific Journal*.
4. Aller, Robert C. (1980). Diagenetic Processes Near the Sediment-Water Interface of Long Island Sound. I.: Decomposition and Nutrient Element Geochemistry (S, N, P). *Advances in Geophysics*.
5. Amundsen, Vilde Steiro; Gauteplass, Asle Årthun; Bailey, Jennifer Leigh (2019). Level up or game over: the implications of levels of impact in certification schemes for salmon aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*.
6. Andersen, FØ; Kristensen, Erik (1988). Oxygen microgradients in the rhizosphere of the mangrove *Avicennia marina*. *Marine Ecology Progress Series*.
7. Anderson, Donald (2014). HABs in a changing world: a perspective on harmful algal blooms, their impacts, and research and management in a dynamic era of climactic and environmental change.
8. Aqua's, Hauge (2012). *Egget, Jaula cerrada*.
9. Aranda, Carlos P.; Valenzuela, Cristian; Matamala, Yessica; Godoy, Félix A.; Aranda, Nicol (2015). Sulphur-cycling bacteria and ciliated protozoans in a Beggiatoaceae mat covering organically enriched sediments beneath a salmon farm in a southern Chilean fjord. *Marine Pollution Bulletin*.
10. Aranda, Carlos; Paredes, Javier; Valenzuela, Cristian; Lam, Phyllis; Guillou, Laure (2010). 16S rRNA gene-based molecular analysis of mat-forming and accompanying bacteria covering organically-enriched marine sediments underlying a salmon farm in Southern Chile (Calbuco Island). *Gayana (Concepción)*.
11. Araújo, Maria Amélia V. C.; García-García, Luz; Aldridge, John (2022). Implementation of a 3D Coupled Hydrodynamic–Biogeochemical Model in Kuwait Bay. *Sustainability*.
12. Arismendi, I.; Soto, D. (2012). Are salmon-derived nutrients being incorporated in food webs of invaded streams? Evidence from southern Chile. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*.
13. Armstrong, Ethan G.; Verhoeven, Joost T. P. (2020). Machine learning analyses of bacterial oligonucleotide frequencies to assess the benthic impact of aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*.
14. ASC (2024). About ASC - ASC International.
15. ASC (2022). Whitepaper on Standards for Aquaculture Impacts on Benthic Habitat, Biodiversity and Ecosystem Function.
16. Asche, Frank; Roll, Kristin H. (2013). Determinants of Inefficiency in Norwegian Salmon Aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*.



17. Ayouqi, Hossein; Knowler, Duncan; Reid, Gregor; Cox, Sean (2021). Marginal damage cost functions for particulate organic carbon loading from open-net pen salmon farms in British Columbia, Canada. *Ecological Economics*.
18. Backman, D. C.; DeDominicis, S. L.; Johnstone, R. (2009). Operational decisions in response to a performance-based regulation to reduce organic waste impacts near Atlantic salmon farms in British Columbia, Canada. *Journal of Cleaner Production*.
19. Badiola, M.; Basurko, O. C.; Piedrahita, R.; Hundley, P.; Mendiola, D. (2018). Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*.
20. Badiola, M.; Mendiola, D.; Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*.
21. Badiola, Maddi; Mendiola, Diego; Bostock, John (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*.
22. Bannister, Raymond J.; Johnsen, Ingrid A.; Hansen, Pia K.; Kutti, Tina; Asplin, Lars (2016). Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science*.
23. Bannister, Raymond; Valdemarsen, Thomas; Hansen, Pia; Holmer, Marianne; Ervik, A (2014). Changes in benthic sediment conditions under an Atlantic salmon farm at a deep, well-flushed coastal site. *Aquaculture Environment Interactions*.
24. Bascur Retamal, Gonzalo (2023). LOS DELITOS DE LA LEY N° 18.892 “GENERAL DE PESCA Y ACUICULTURA”. *Revista de Derecho (Concepción)*.
25. BCN (2010). Ley 20434 Firma electrónica MODIFICA LA LEY GENERAL DE PESCA Y ACUICULTURA EN MATERIA DE ACUICULTURA.
26. BCN (2001). Decreto 320 REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LA ACUICULTURA.
27. BCN (2009). Resolución 3612 EXENTA APRUEBA RESOLUCIÓN QUE FIJA LAS METODOLOGÍAS PARA ELABORAR LA CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE SITIO (CPS) Y LA INFORMACIÓN AMBIENTAL (INFA).
28. Berner, Robert A (1984). Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
29. Berner, Robert A. (1971). Principles of Chemical Sedimentology.
30. Berner, Robert A. (1981). A new geochemical classification of sedimentary environments. *Journal of Sedimentary Research*.
31. Berthelsen, A.; Atalah, J.; Clark, D.; Goodwin, E.; Patterson, M.; Sinner, J. (2018). Relationships between biotic indices, multiple stressors and natural variability in New Zealand estuaries. *ECOLOGICAL INDICATORS*.
32. Black, K. D. (2001). Environmental Impacts of Aquaculture | Request PDF. ResearchGate.
33. Black, Kenneth D; Hansen, Pia Kupka; Holmer, Marianne (2008). Salmon Aquaculture Dialogue Working Group Report on Benthic Impacts and Farm Siting.
34. Black, Kenneth D.; Calder, Lois A.; Nickell, Thomas D.; Sayer, Martin D. J.; Orr, Heather; Brand, Tim; Cook, Elizabeth J.; Magill, Shona H.; Katz, Timor; Eden, Noa; Jones, Kenneth J.; Tsapakis, Manolis; Angel, Dror (2012). Chlorophyll, lipid profiles and bioturbation in sediments around a fish cage farm in the Gulf of Eilat, Israel. *Aquaculture*.
35. Borja, A; Franco, J; Pérez, V (2000). A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*.

36. Borja, A.; Dauer, D. M. (2008). Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: Comparing methodologies and indices. *Ecological Indicators*.
37. Borja, Angel; Barbone, Enrico; Basset, Alberto; Borgersen, Gunhild; Brkljacic, Marijana; Elliott, Michael; Mikel Garmendia, Joxe; Marques, Joao Carlos; Mazik, Krysia; Muxika, Inigo; Magalhaes Neto, Joao; Norling, Karl; German Rodriguez, J.; Rosati, Ilaria; Rygg, Brage; Teixeira, Heliana; Trayanova, Antoaneta (2011). Response of single benthic metrics and multi-metric methods to anthropogenic pressure gradients, in five distinct European coastal and transitional ecosystems. *MARINE POLLUTION BULLETIN*.
38. Borja, Angel; Marin, Sandra L.; Muxika, Inigo; Pino, Loreto; Rodriguez, Jose G. (2015). Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures?. *Mar. Pollut. Bull.*
39. Borja, Ángel; Marín, Sandra; Núñez, Rosa; Muxika, Iñigo (2014). Is there a significant relationship between the benthic status of an area, determined by two broadly-used indices, and best professional judgment?. *Ecological Indicators*.
40. Borja, Angel; Muxika, Iñigo; AZTI, Department of Oceanography and Marine Environment, Herrera Kaia, Portualdea sin 20110 Pasaia, Spain (2005). Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin*.
41. Borja, Angel; Rodriguez, J. German; Black, Kenneth; Bodoy, Alain; Emblow, Chris; Fernandes, Teresa; Forte, Janez; Karakassis, Ioannis; Muxika, Iñigo; Nickell, Thom; Papageorgiou, Nafsika; Pranovi, Fabio; Sevastou, Katerina; Tomassetti, Paolo; Angel, Dror (2009). Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. *Aquaculture*.
42. Bostock, John; McAndrew, Brendan; Richards, Randolph; Jauncey, Kim; Telfer, Trevor; Lorenzen, Kai; Little, David; Ross, Lindsay; Handisyde, Neil; Gatward, Iain; Corner, Richard (2010). *Aquaculture: global status and trends*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.
43. Branch, Legislative Services (2019). Consolidated federal laws of Canada, Fisheries Act.
44. Bravo, Francisco; Grant, Jonathan (2018). Modelling sediment assimilative capacity and organic carbon degradation efficiency at marine fish farms. *Aquaculture Environment Interactions*.
45. Breivik, Oyvind; Carrasco, Ana; Haakenstad, Hilde; Aarnes, Ole; Behrens, Arno; Bidlot, Jean; Björkqvist, Jan-Victor; Bohlinger, Patrik; Furevik, Birgitte; Staneva, Joanna; Reistad, Magnar (2022). The Impact of a Reduced High-Wind Charnock Parameter on Wave Growth With Application to the North Sea, the Norwegian Sea, and the Arctic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.
46. Brigolin, Daniele; Meccia, Virna Loana; Venier, Chiara; Tomassetti, Paolo; Porrello, Salvatore; Pastres, Roberto (2014). Modelling biogeochemical fluxes across a Mediterranean fish cage farm. *Aquaculture Environment Interactions*.
47. Brigolin, Daniele; Pastres, Roberto; Nickell, Thomas D.; Cromey, Chris J.; Aguilera, David R.; Regnier, Pierre (2009). Modelling the impact of aquaculture on early diagenetic processes in sea loch sediments. *Marine Ecology Progress Series*.
48. Broch, Ole J.; Daae, Ragnhild L.; Ellingsen, Ingrid H.; Nepstad, Raymond; Bendiksen, Eldar Å.; Reed, Jenny L.; Senneset, Gunnar (2017). Spatiotemporal Dispersal and Deposition of Fish Farm Wastes: A Model Study from Central Norway. *Frontiers in Marine Science*.
49. Brooks, Kenneth M.; Mahnken, Conrad V. W. (2003). Interactions of Atlantic salmon in the Pacific northwest environment - II. Organic wastes. *Fisheries Research*.



50. Brooks, Kenneth M.; Stierns, Annette R.; Backman, Clare (2004). Estudio de remediación de siete años en la granja de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) de Carrie Bay en el archipiélago de Broughton, Columbia Británica, Canadá. *Aquaculture*.
51. Brooks, Kenneth M.; Stierns, Annette R.; Mahnken, Conrad V. W.; Blackburn, Dale B. (2003). Chemical and biological remediation of the benthos near Atlantic salmon farms. *Aquaculture*.
52. Brooks, Kenneth; Mahnken, Conrad (2003). Interactions of Atlantic salmon in the Pacific northwest environment: II. Organic wastes. *Fisheries Research*.
53. Brown, J.R.; Gowen, R.J.; McLusky, D.S. (1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch.
54. Brown, Kristina; McGreer, Eric; Taekema, Bernie; Cullen, Jay (2011). Determination of Total Free Sulphides in Sediment Porewater and Artefacts Related to the Mobility of Mineral Sulphides. *Aquatic Geochemistry*.
55. Bueno, Guilherme Wolff; Bureau, Dominique; Skipper-Horton, James Owen; Roubach, Rodrigo; Mattos, Flávia Tavares de; Bernal, Francisco Ernesto Moreno (2017). Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Pesq. agropec. bras.*
56. Burbank, Jacob; Drake, D. Andrew R.; Power, Michael (2022). Use of stable isotopes for assessing urbanization impacts on freshwater fishes. *Frontiers in Environmental Science*.
57. Burrige, Les; Weis, Judith S.; Cabello, Felipe; Pizarro, Jaime; Bostick, Katherine (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*.
58. Buschmann, Alejandro H (2001). EL ESTADO DE LA INVESTIGACION EN CHILE Y EL MUNDO: UN ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE LOS AVANCES Y RESTRICCIONES PARA UNA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN LOS SISTEMAS ACUÁTICOS.
59. Buschmann, Alejandro H.; Cabello, Felipe; Young, Kyle; Carvajal, Juan; Varela, Daniel A.; Henríquez, Luis (2009). Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean & Coastal Management*.
60. Buschmann, Alejandro H.; López, Daniel A.; Medina, Alberto (1996). A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. *Aquacultural Engineering*.
61. Buschmann, Alejandro H.; Riquelme, Verónica A.; Hernández-González, María C.; Varela, Daniel; Jiménez, Jaime E.; Henríquez, Luis A.; Vergara, Pedro A.; Guíñez, Ricardo; Filún, Luis (2006). A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science*.
62. Buschmann, Alejandro; Fortt, Antonia (2005). Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Ambiente y Desarrollo*.
63. Bužančić, Mia; Ninčević Gladan, Živana; Marasović, Ivona; Kušpilić, Grozdan; Grbec, Branka (2016). Eutrophication influence on phytoplankton community composition in three bays on the eastern Adriatic coast. *Oceanologia*.
64. Byron, Carrie; Bengtson, David; Costa-Pierce, Barry; Calanni, John (2011). Integrating science into management: ecological carrying capacity of bivalve shellfish aquaculture. *Marine Policy*.
65. Byron, Carrie; Link, Jason; Costa-Pierce, Barry; Bengtson, David (2011). Modeling ecological carrying capacity of shellfish aquaculture in highly flushed temperate lagoons. *Aquaculture*.



66. Caamaño, José M; Saavedra, Nicolás; Wulff, Cristian; Salazar, Luis A (2012). La Respuesta Terapéutica a Ezetimiba en Ratones C57BL/6 es Mediada por Cambios en la Expresión de NPC1L1, ABCG5 y ABCG8 en el Enterocito. *International Journal of Morphology*.
67. Cáceres, Mario; Valle-Levinson, Arnoldo; Sepúlveda, Héctor H.; Holderied, Kristine (2002). Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord. *Continental Shelf Research*.
68. Canfield, Donald E.; Thamdrup, Bo; Hansen, Jens W. (1993). The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: Iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
69. Carballeira Braña, Carlos Brais; Cerbule, Kristine; Senff, Paula; Stolz, Insa Kristina (2021). Towards Environmental Sustainability in Marine Finfish Aquaculture. *Frontiers in Marine Science*.
70. CARCAMO, NOLBERTO ANTONIO (2008). SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO CENTRALIZADO PARA PECES EN BALSAS JAULAS.
71. Carroll, Michael L; Cochrane, Sabine; Fieler, Reinhold; Velvin, Roger; White, Patrick (2003). Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*.
72. Carvajalino-Fernández, M. A.; Sævik, P. N.; Johnsen, I. A.; Albretsen, J.; Keeley, N. B. (2020). Simulating particle organic matter dispersal beneath Atlantic salmon fish farms using different resuspension approaches. *Marine Pollution Bulletin*.
73. Castillo-Illabaca, C.; Gutiérrez, M. H.; Aranda, M.; Jessen, G.; Henríquez, K.; Fernández, C.; Lincoñir, P.; Núñez, L.; Pantoja-Gutiérrez, S. (2023). Enhanced Remineralization (Priming) of Organic Pollutants in Anoxic Coastal Marine Sediments.
74. Castillo, Manuel (2012). Circulación y mezcla en el fiordo Reloncaví.
75. Castine, Sarah A.; Erler, Dirk V.; Trott, Lindsay A.; Paul, Nicholas A.; Nys, Rocky de; Eyre, Bradley D. (2012). Denitrification and Anammox in Tropical Aquaculture Settlement Ponds: An Isotope Tracer Approach for Evaluating N₂ Production. *PLOS ONE*.
76. Caswell, Bryony A.; Frid, Chris L. J.; Borja, Angel (2019). An ecological status indicator for all time: Are AMBI and M-AMBI effective indicators of change in deep time?. *Mar. Pollut. Bull.*
77. Chamberlain, J.; Stucchi, D. (2007). Simulating the effects of parameter uncertainty on waste model predictions of marine finfish aquaculture. *Aquaculture*.
78. Chang, B D; Coombs, K A (2016). A history of the Southwest New Brunswick Aquaculture Environmental Coordinating Committee: the first 25 years, 1989-2014.
79. Chang, B. D.; Coombs, K. A.; Page, F. H. (2014). The Development of the Salmon Aquaculture Industry in Southwestern New Brunswick, Bay of Fundy, Including Steps Toward Integrated Coastal Zone Management. *Aquaculture Economics & Management*.
80. Chanton, Jeffrey P; Martens, Christopher S; Goldhaber, Martin B (1987). Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin. 7. Sulfur mass balance, oxygen uptake and sulfide retention. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
81. Chary, Killian; Callier, Myriam D; Covès, Denis; Aubin, Joël; Simon, Julien; Fiandrino, Annie (2021). Scenarios of fish waste deposition at the sub-lagoon scale: a modelling approach for aquaculture zoning and site selection. *ICES Journal of Marine Science*.
82. Chaudhary, Adit; Kauser, Imrose; Ray, Anirban; Poretsky, Rachel (2018). Taxon-Driven Functional Shifts Associated with Storm Flow in an Urban Stream Microbial Community. *mSphere*.

83. Chávez-Crooker, Pamela; Obreque-Contreras, Johanna (2010). Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opinion in Biotechnology*.
84. Chen, Y.S; Beveridge, M.C.M; Telfer, T.C; Roy, W.J (2003). Nutrient leaching and settling rate characteristics of the faeces of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the implications for modelling of solid waste dispersion | Request PDF. ResearchGate.
85. Chiu, Grace S.; Wu, Margaret A.; Lu, Lin (2013). Model-Based Assessment of Estuary Ecosystem Health Using the Latent Health Factor Index, with Application to the Richibucto Estuary. *PLOS ONE*.
86. Choi, Ayeon; Kim, Bomina; Mok, Jin-Sook; Yoo, Jungsik; Kim, Jeong Bae; Lee, Won-Chan; Hyun, Jung-Ho (2020). Impact of finfish aquaculture on biogeochemical processes in coastal ecosystems and elemental sulfur as a relevant proxy for assessing farming condition. *Marine Pollution Bulletin*.
87. CHONOS (2024). Qué es CHONOS?.
88. Colt, J.; Watten, B.; Rust, M. (2009). Modeling carbon dioxide, pH, and un-ionized ammonia relationships in serial reuse systems. *Aquacultural Engineering*.
89. Comeau, Luc A.; Guyondet, Thomas; Drolet, David; Sonier, Rémi; Clements, Jeff C.; Tremblay, Réjean; Filgueira, Ramón (2023). Revisiting ecological carrying capacity indices for bivalve culture. *Aquaculture*.
90. Conides, Alexis; Zoulias, Theodoros; Pavlidou, Alexandra; Zachioti, Panagiota; Androni, Afroditi; Kabouri, Georgia; Rouselaki, Eleni; Konstantinopoulou, Aggeliki; Pagou, Kaliopi; Kloudatos, Dimitris (2022). A Bayesian Approach to Carrying Capacity Estimate: The Case of Greek Coastal Cage Aquaculture. *Journal of Marine Science and Engineering*.
91. Cranford, P. J.; Hargrave, B. T.; Doucette, L. I. (2009). Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*.
92. Cranford, Peter J.; Brager, Lindsay; Wong, David (2017). A dual indicator approach for monitoring benthic impacts from organic enrichment with test application near Atlantic salmon farms. *Marine Pollution Bulletin*.
93. Cranford, Peter; Brager, Lindsay; Elvines, Deanna; Wong, David; Law, Brent (2020). A revised classification system describing the ecological quality status of organically enriched marine sediments based on total dissolved sulfides. *Marine Pollution Bulletin*.
94. Cranford, Peter; Hargrave, B.T.; Doucette, Lisa (2009). Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*.
95. Cranford, Peter; Kamermans, P.J.; Krause, Gesche; Mazurie, Joseph; Buck, Bela; Dolmer, Per; Fraser, D.; Nieuwenhove, Kris; O'Beirn, F.X.; Sánchez-Mata, Adoracion; Thorarinsdóttir, Gudrun; Strand, Øivind (2012). An ecosystem-based approach and management framework for the integrated evaluation of bivalve aquaculture impacts. *Aquacult. Environ. Interact.*
96. Cranford, Peter; R, Anderson; Archambault, Philippe; T, Balch; Bates, Stephen; Bugden, Gary; Callier, Myriam; Carver, Claire; Comeau, Luc; Hargrave, B.T.; W.G, Harrison; Horne, Edward; P.E, Kepkay; W.K.W, Li; Mallet, André; M, Ouellette; P, Strain (2006). Indicators and Thresholds for Use in Assessing Shellfish Aquaculture Impacts on Fish Habitat.
97. Cranford, Pj; Kamermans, P; Krause, G; Mazurié, J; Buck, Bh; Dolmer, P; Fraser, D; Van Nieuwenhove, K; O'Beirn, Fx; Sanchez-Mata, A; Thorarinsdóttir, Gg; Strand, Ø (2012). An ecosystem-based approach and management framework for the integrated evaluation of bivalve aquaculture impacts. *Aquacult. Environ. Interact.*



98. Crawford, C. (2003). Environmental management of marine aquaculture in Tasmania, Australia. *Aquaculture*.
99. Crawford, C.; Macleod, C. (2009). 21 - Predicting and assessing the environmental impact of aquaculture. *New Technologies in Aquaculture*.
100. Crawford, David W.; Montero, Paulina; Daneri, Giovanni (2021). Blooms of *Alexandrium catenella* in Coastal Waters of Chilean Patagonia: Is Subantarctic Surface Water Involved?. *Frontiers in Marine Science*.
101. Cromey, C. J.; Thetmeyer, Helmut; Lampadariou, N.; Black, K. D.; Kögeler, J.; Karakassis, I. (2012). MERAMOD - predicting the deposition and benthic impact of aquaculture in the Eastern Mediterranean. *Aquaculture Environment Interactions*.
102. Cromey, Chris J; Nickell, Thomas D; Black, Kenneth D (2002). DEPOMOD—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*.
103. Cromey, Chris J.; Nickell, Thomas D.; Treasurer, Jim; Black, Kenneth D.; Inall, Mark (2009). Modelling the impact of cod (*Gadus morhua* L.) farming in the marine environment—CODMOD. *Aquaculture*.
104. Dalsgaard, Johanne; Lund, Ivar; Thorarinsdottir, Ragnheidur; Drengstig, Asbjørn; Arvonen, Kaj; Pedersen, Per Bovbjerg (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*.
105. Dalsgaard, T.; Krause-Jensen, D. (2006). Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*.
106. Dame, R.F. (2016). *Ecology of marine bivalves: An ecosystem approach, second edition*.
107. Daniel Vega Salinas, Puerto (2018). Técnicas del SRF para la recuperación de fondos marinos impactados por la salmicultura, sin efectos de resuspensión de material sedimentario.
108. Dauvin, Jean-Claude; Andrade, Hector; De-la-Ossa-Carretero, Jose; Del-Pilar-Ruso, Yoana; Riera, Rodrigo (2016). Polychaete/amphipod ratios: An approach to validating simple benthic indicators. *Ecological Indicators*.
109. Dempster, Tim; Korsøen, Øyvind; Folkedal, Ole; Juell, Jon-Erik; Oppedal, Frode (2009). Submergence of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial scale sea-cages: A potential short-term solution to poor surface conditions. *Aquaculture*.
110. Dempster, Tim; Sanchez-Jerez, Pablo (2008). *Aquaculture and Coastal Space Management in Europe: An Ecological Perspective*. *Aquaculture in the Ecosystem*.
111. Dempster, Tim; Sanchez-Jerez, Pablo; Fernandez-Jover, Damian; Bayle-Sempere, Just; Nilsen, Rune; Bjørn, Pal-Arne; Uglem, Ingebrigt (2011). Proxy measures of fitness suggest coastal fish farms can act as population sources and not ecological traps for wild gadoid fish. *PLoS One*.
112. Department of agriculture, Fisheries and Food (2008). *Monitoring Protocol No.1 for Offshore Finfish Farms - Benthic Monitoring*.
113. Diaz, Robert J.; Rabalais; Breitburg (2012). Agriculture's impact on aquaculture: Hypoxia and eutrophication in marine waters. *Advancing the Aquaculture Agenda*.
114. Diaz, Robert; Solan, Martin; Valente, Raymond (2004). A review of approaches for classifying benthic habitat and evaluating habitat quality. *Journal of environmental management*.
115. Dimitriou, P. D.; Apostolaki, E. T.; Papageorgiou, N.; Reizopoulou, S.; Simboura, N.; Arvanitidis, C.; Karakassis, I. (2012). Meta-analysis of a large data set with Water Framework Directive indicators and calibration of a Benthic Quality Index at the family level. *Ecological Indicators*.
116. Dimitriou, Panagiotis D.; Papageorgiou, Nafsika; Arvanitidis, Christos; Assimakopoulou, Georgia; Pagou, Kalliopi; Papadopoulou, Konstantia N.; Pavlidou, Alexandra; Pitta, Paraskevi;



- Reizopoulou, Sofia; Simboura, Nomiki; Karakassis, Ioannis (2015). One Step forward: Benthic Pelagic Coupling and Indicators for Environmental Status. PLOS ONE.
117. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vannforskriften (2018). Klassifiseringsveileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.
118. Dizdaroglu, Didem; Yigitcanlar, Tan; Dawes, Les (2010). Assessing the Sustainability of Urban Ecosystems: an Innovative Approach.
119. Dowe, Eddy; Pochon, Xavier; Keeley, Nigel; Wood, Susanna A. (2015). Assessing the effects of salmon farming seabed enrichment using bacterial community diversity and high-throughput sequencing. FEMS Microbiology Ecology.
120. Edgar, Graham; Davey, Adam; Shepherd, Colin (2010). Application of biotic and abiotic indicators for detecting benthic impacts of marine salmonid farming among coastal regions of Tasmania. Aquaculture.
121. Edgar; Davey; Shepherd (2010). Application of biotic and abiotic indicators for detecting benthic impacts of marine salmonid farming among coastal regions of Tasmania. Aquaculture.
122. Ellis, Tim; Turnbull, James F.; Knowles, Toby G.; Lines, Jeff A.; Auchterlonie, Neil A. (2016). Trends during development of Scottish salmon farming: An example of sustainable intensification?. Aquaculture.
123. Environment Agency, United Kingdom (2014). Infaunal quality index: Water Framework Directive classification scheme for marine benthic invertebrates.
124. Environment and Climate Change, Canada (2015). Management of Canadian aquaculture.
125. Environment Protection Authority of tasmanian (2022). Review of Tasmanian and international regulatory requirements for salmonid aquaculture.
126. Ervik, Arne; Hansen, Pia Kupka; Aure, Jan; Stigebrandt, Anders; Johannessen, Per; Jahnsen, Terje (1997). Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring). Aquaculture.
127. F. Ostergaard (1987). Comparison of oxygen microgradients, oxygen flux rates and electron transport system activity in coastal marine sediments. Deep Sea Research Part B. Oceanographic Literature Review.
128. FAO (2024). Irlanda - National Aquaculture Legislation Overview.
129. FAO (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma.
130. Fenchel, Tom (1969). The ecology of marine microbenthos IV. Structure and function of the benthic ecosystem, its chemical and physical factors and the microfauna communities with special reference to the ciliated protozoa. Ophelia.
131. Fenchel, Tom; Riedl, R. (1970). The sulfide system: a new biotic community underneath the oxidized layer of marine and bottoms. Marine Biology.
132. Fernandez-Jover, Damian; Jimenez, Jose Angel Lopez; Sanchez-Jerez, Pablo; Bayle-Sempere, Just; Casalduero, Francisca Gimenez; Lopez, Francisco Javier Martinez; Dempster, Tim (2007). Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*, Steindachner, 1868) associated to sea cage fish farms. Marine Environmental Research.
133. Fernandez-Jover, Damian; Martínez Rubio, Laura; Sanchez-Jerez, Pablo; Bayle-Sempere, Just T.; López-Jiménez, José Ángel; Martínez-López, Francisco Javier; Bjørn, Pal-Arne; Uglem,



- Ingebrigtsen, Dempster, Tim (2011). Waste feed from coastal fish farms: a trophic subsidy with compositional side-effects for wild gadoids.
134. Ferreira, J. G.; Hawkins, A. J. S.; Bricker, S. B. (2007). Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture — the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture*.
135. Ferreira, J. G.; Hawkins, A. J. S.; Monteiro, P.; Moore, H.; Service, M.; Pascoe, P. L.; Ramos, L.; Sequeira, A. (2008). Integrated assessment of ecosystem-scale carrying capacity in shellfish growing areas. *Aquaculture*.
136. Ferreira, Joao G.; Bernard-Jannin, Leonard; Cubillo, Alhambra; Lencart e Silva, Joao; Diedericks, Gerhardus P. J.; Moore, Heather; Service, Matthew; Nunes, Joao Pedro (2023). From soil to sea: An ecological modelling framework for sustainable aquaculture. *Aquaculture*.
137. Filgueira, R.; Guyondet, T.; Comeau, L. A.; Grant, J. (2014). Physiological indices as indicators of ecosystem status in shellfish aquaculture sites. *Ecological Indicators*.
138. Filgueira, Ramón; Grant, Jon; Bacher, Cédric; Carreau, Michel (2012). A physical–biogeochemical coupling scheme for modeling marine coastal ecosystems. *Ecological Informatics*.
139. Filgueira, Ramón; Grant, Jon; Strand, Øivind (2014). Implementation of marine spatial planning in shellfish aquaculture management: modeling studies in a Norwegian fjord. *Ecological Applications*.
140. Filgueira, Ramón; Grant, Jon; Strand, Øivind; Asplin, Lars; Aure, Jan (2010). A simulation model of carrying capacity for mussel culture in a Norwegian fjord: role of induced upwelling. *Aquaculture*.
141. Fisher, Jeffrey; Angel, Dror; Callier, Myriam; Cheney, Daniel; Filgueira, Ramon; Hudson, Bobbi; McKindsey, Christopher W.; Milke, Lisa; Moore, Heather; O’Beirn, Francis; O’Carroll, Jack; Rabe, Berit; Telfer, Trevor; Byron, Carrie J. (2023). Ecological carrying capacity in mariculture: Consideration and application in geographic strategies and policy. *Marine Policy*.
142. Fletcher, L; Bennett, H; Elvines, D; Preece, M; Broekhuizen, N; Ford, R; Heath, P; Murray, C; Jorgensen, E; Wade, O; Ferguson, G (2022). Best management practice guidelines for salmon farms in the Marlborough Sounds: Part 1: Benthic environmental quality standards and monitoring protocol (Version 1.2 August 2022).
143. Forster, Dominik; Filker, Sabine; Kochems, Rebecca; Breiner, Hans-Werner; Cordier, Tristan; Pawlowski, Jan; Stoeck, Thorsten (2019). A Comparison of Different Ciliate Metabarcoding Genes as Bioindicators for Environmental Impact Assessments of Salmon Aquaculture. *Journal of Eukaryotic Microbiology*.
144. Fox, Clive; Webb, Chris; Grant, Jon; Brain, Stevie; Fraser, Stephen; Abell, Richard; Hicks, Natalie (2023). Measuring and modelling the dispersal of salmon farm organic waste over sandy sediments. *Aquaculture Environment Interactions*.
145. Frühe, Larissa; Cordier, Tristan; Dully, Verena; Breiner, Hans-Werner; Lentendu, Guillaume; Pawlowski, Jan; Martins, Catarina; Wilding, Thomas A.; Stoeck, Thorsten (2021). Supervised machine learning is superior to indicator value inference in monitoring the environmental impacts of salmon aquaculture using eDNA metabarcodes. *Molecular Ecology*.
146. Gaitán-Espitia, Juan Diego; Gómez, Daniela; Hobday, Alistair J.; Daley, Ross; Lamilla, Julio; Cárdenas, Leyla (2017). Spatial overlap of shark nursery areas and the salmon farming industry influences the trophic ecology of *Squalus acanthias* on the southern coast of Chile. *Ecology and Evolution*.



147. Gallardo, Víctor Ariel; Espinoza, Carola; Fonseca, Alexis; Musleh, Selim (2013). Las grandes bacterias del Sulfureto de Humboldt. Gayana (Concepción).
148. Garcés, Chaverra (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: alternativas para una gestión sostenible. Orinoquía.
149. Garcés, Jonathan (2023). ¿Qué porcentaje del salmón producido en Chile tiene certificación ASC?.
150. García, Guanche; Fuentes, Jurado; Eizaguirre, Ondiviela; de la Peña, Juanes (2016). Dispositivo flotante offshore de acuicultura para el cultivo de diversas especies de peces - Universidad Complutense de Madrid.
151. Geček, Sunčana; Legović, Tarzan (2010). Towards carrying capacity assessment for aquaculture in the Bolinao Bay, Philippines: A numerical study of tidal circulation. Ecological Modelling.
152. Giles, Hilke (2008). Using Bayesian networks to examine consistent trends in fish farm benthic impact studies. Aquaculture.
153. Gillibrand, Philip; Gubbins, Mj; Greathead, Clare; Davies, Ian (2002). Scottish executive locational guidelines for fish farming: predicted levels of nutrient enhancement and benthic impact.
154. Glibert, P.; Burkholder, Joann (2011). Harmful algal blooms and eutrophication: "strategies" for nutrient uptake and growth outside the Redfield comfort zone. Chinese Journal of Oceanology and Limnology.
155. Glud, Ronnie (2008). Oxygen dynamics of marine sediments. Marine Biology Research - MAR BIOL RES.
156. Gouvernement du Canada, Pêches et Océans Canada (2015). Règlement sur les activités d'aquaculture - Document d'orientation.
157. Government of Canada (2021). STANDARD OPERATING PROCEDURES FOR THE ENVIRONMENTAL MONITORING OF MARINE AQUACULTURE IN NOVA SCOTIA.
158. Government of Norway (2016). NS 9410:2016.
159. Government of Nova Scotia (2021). Environmental monitoring program framework for marine aquaculture in Nova Scotia.
160. Government of Tasmania (2021). Marine Farming Planning Act 1995.
161. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2013). Aquaculture Activities Regulations.
162. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2013). Policy on Managing Bycatch.
163. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2019). Monitoring benthic impacts at BC aquaculture sites.
164. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2019). Framework for Aquaculture Risk Management: Application of the aquaculture Pathways of Effects in aquaculture activities decisions.
165. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2009). Sustainable fisheries framework.
166. Government of Canada, Fisheries and Oceans Canada (2013). Science related.
167. Government of Scottish, scottish environment protection agency (2019). Environmental standards | Scottish environment protection agency (SEPA). SEPA.
168. Government of Scottish, scottish environment protection agency (2019). Environmental standards \textbar Scottish environment protection agency (SEPA).
169. Government of Tasmanian (2024). Existing Marine Farming Development Plans and Proposals.
170. Gowen; Ezzi (1992). Assessment and prediction of the potential for hypereutrophication and eutrophication associated with cage culture of salmonids in Scottish coastal waters.



171. Grall, J., M.; Glémarec, M. (1997). Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest.
172. Grant, Jonathan (2010). Coastal communities, participatory research, and far-field effects of aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*.
173. Gray, J.; Wu, Rudolf; Or, YY (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology-Progress Series*.
174. Grégoire, Marilaure; Oschlies, Andreas; Canfield, Donald; Castro, Ca G (2023). Ocean oxygen: The role of the Ocean in the oxygen we breathe and the threat of deoxygenation.
175. Grieshaber, M. K.; Völkel, S. (1998). Animal adaptations for tolerance and exploitation of poisonous sulfide. *Annual Review of Physiology*.
176. Guenther, E. A.; Johnson, K. S.; Coale, K. H. (2001). Direct ultraviolet spectrophotometric determination of total sulfide and iodide in natural waters. *Anal Chem*.
177. Guyondet, T.; Comeau, L. A.; Bacher, C.; Grant, J.; Rosland, R.; Sonier, R.; Filgueira, R. (2015). Climate Change Influences Carrying Capacity in a Coastal Embayment Dedicated to Shellfish Aquaculture. *Estuaries and Coasts*.
178. Hadley, Scott; Wild-Allen, Karen; Johnson, Craig; Macleod, Catriona (2016). Quantification of the impacts of finfish aquaculture and bioremediation capacity of integrated multi-trophic aquaculture using a 3D estuary model. *J Appl Phycol*.
179. Hadley, Scott; Wild-Allen, Karen; Johnson, Craig; Macleod, Catriona (2018). Investigation of broad scale implementation of integrated multitrophic aquaculture using a 3D model of an estuary. *Marine Pollution Bulletin*.
180. Hale, Rachel; Depree, Craig; Broekhuizen, Niall (2023). Simulating fish farm enrichment and fallowing impacts reveals unequal biogeochemical recovery of benthic variables. *Aquac. Environ. Interact*.
181. Hale, Rachel; Depree, Craig; Broekhuizen, Niall (2023). Simulating fish farm enrichment and fallowing impacts reveals unequal biogeochemical recovery of benthic variables. *Aquaculture Environment Interactions*.
182. Hallegraeff, Gustaaf (1993). A Review of Harmful Algal Blooms and Their Apparent Global Increase. *Phycologia*.
183. Hamoutene, D.; Hua, K.; Lacoursière-Roussel, A.; Page, F.; Baillie, S. M.; Brager, L.; Salvo, F.; Coyle, T.; Chernoff, K.; Black, M.; Wong, D.; Nelson, E.; Bungay, T.; Gaspard, D.; Ryall, E.; Mckindsey, C. W.; Sutherland, T. F. (2021). Assessing trace-elements as indicators of marine finfish aquaculture across three distinct Canadian coastal regions. *Marine Pollution Bulletin*.
184. Hamoutene, Dounia (2014). Sediment sulphides and redox potential associated with spatial coverage of *Beggiatoa* spp. at finfish aquaculture sites in Newfoundland, Canada. *ICES Journal of Marine Science*.
185. Hamoutene, Dounia; Salvo, Flora; Bungay, Terrence; Mabrouk, Gehan; Couturier, Cyr; Ratsimandresy, Andry; Dufour, Suzanne C. (2015). Assessment of Finfish Aquaculture Effect on Newfoundland Epibenthic Communities through Video Monitoring. *North American Journal of Aquaculture*.
186. Hamoutene, Dounia; Salvo, Flora; Cross, Shannon; Dufour, Suzanne C.; Donnet, Sebastien (2018). Linking the presence of visual indicators of aquaculture deposition to changes in epibenthic richness at finfish sites installed over hard bottom substrates. *Environ Monit Assess*.



187. Hamoutene, Dounia; Salvo, Flora; Donnet, Sebastien; Dufour, Suzanne C. (2016). The usage of visual indicators in regulatory monitoring at hard-bottom finfish aquaculture sites in Newfoundland (Canada). *Marine Pollution Bulletin*.
188. Han, Aiqin; Kao, Shuh-Ji; Lin, Wenfang; Lin, Qiaoyun; Han, Lili; Zou, Wenbin; Tan, Ehui; Lai, Yao; Ding, Guangmao; Lin, Hui (2021). Nutrient Budget and Biogeochemical Dynamics in Sansha Bay, China: A Coastal Bay Affected by Intensive Mariculture. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*.
189. Hansen, Pia Kupka; Ervik, Arne; Schaanning, Morten; Johannessen, Per; Aure, Jan; Jahnsen, Terje; Stigebrandt, Anders (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*.
190. Hansen, Pia; Ervik, Arne; Schaanning, Morten; Johannessen, Per; Aure, Jan; Jahnsen, Terje; Stigebrandt, Anders (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*.
191. Hargrave, B. T. (2010). Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*.
192. Hargrave, B. T.; Filgueira, R.; Grant, J.; Law, B. A. (2022). Combined models of growth, waste production, dispersal and deposition from cage-cultured Atlantic salmon to predict benthic enrichment. *Aquaculture Environment Interactions*.
193. Hargrave, B. T.; Holmer, M.; Newcombe, C. P. (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*.
194. Hargrave, B. T.; Phillips, G. A.; Doucette, L. I.; White, M. J.; Milligan, T. G.; Wildish, D. J.; Cranston, R. E. (1997). Assessing benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Water, Air, and Soil Pollution*.
195. Hargrave, B.T.; Doucette, Lisa; Cranford, Peter; Law, Brent; Milligan, Timothy (2008). Influence of mussel aquaculture on sediment organic enrichment in a nutrient-rich coastal embayment. *Marine Ecology Progress Series*.
196. Hargrave, B.T.; Holmer, M.; Newcombe, C.P. (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*.
197. Harrison, Jesse P.; Chronopoulou, Panagiota-Myrsini; Salonen, Iina S.; Jilbert, Tom; Koho, Karoliina A. (2021). 16S and 18S rRNA Gene Metabarcoding Provide Congruent Information on the Responses of Sediment Communities to Eutrophication. *Frontiers in Marine Science*.
198. He, Xiaoping; Gilmore, Scott R.; Sutherland, Terri F.; Hajibabaei, Mehrdad; Miller, Kristina M.; Westfall, Kristen M.; Pawlowski, Jan; Abbott, Cathryn L. (2021). Biotic signals associated with benthic impacts of salmon farms from eDNA metabarcoding of sediments. *Molecular Ecology*.
199. He, Xiaoping; Sutherland, Terri F.; Pawlowski, Jan; Abbott, Cathryn L. (2019). Responses of foraminifera communities to aquaculture-derived organic enrichment as revealed by environmental DNA metabarcoding. *Molecular Ecology*.
200. Heal, O. W.; Fenchel, T.; Blackburn, T. H. (1981). Bacteria and Mineral Cycling.. *The Journal of Ecology*.
201. Hebert, Paul D. N.; Cywinska, Alina; Ball, Shelley L.; deWaard, Jeremy R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings. Biological Sciences*.



202. Heilskov, Anna (2001). Effects of benthic fauna on organic matter mineralization in fish-farm sediments: Importance of size and abundance. *Ices Journal of Marine Science - ICES J MAR SCI*.
203. Heilskov, Anna C.; Alperin, Marc; Holmer, Marianne (2006). Benthic fauna bio-irrigation effects on nutrient regeneration in fish farm sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*.
204. Heisler, J.P.; Glibert, P.; Burkholder, Joann; Anderson, Donald; Cochlan, William; Dennison, William; Dortch, Quay; Gobler, Christopher; Heil, Cynthia; Humphries, E.; Lewitus, Alan; Magnien, Robert; Marshall, Harold; Sellner, K.; Stockwell, D.A.; Stoecker, Diane; Suddleson, M. (2008). *Eutrophication and Harmful Algal Blooms: A Scientific Consensus. Harmful Algae*.
205. Henderson, A. R.; Davies, I. M. (2000). Review of aquaculture, its regulation and monitoring in Scotland. *Journal of Applied Ichthyology*.
206. Henrik (2019). Regulation of effluents and the release of organic nutrients from Norwegian aquaculture.
207. Hernández-Miranda, Eduardo; Estrada, Romina; Strange, Poliana; Veas, Rodrigo; Krautz, M. Cristina; Quiñones, Renato A. (2021). Macrofauna community patterns in a Chiloe Island channel used intensely for aquaculture: the ecological status of its benthic environment. *Revista Chilena de Historia Natural*.
208. Hernández-Miranda, Eduardo; Veas, Rodrigo; Krautz, M. Cristina; Hidalgo, Nelson; San Martín, Filoromo; Quiñones, Renato A. (2021). Efecto del tamaño de tamiz en la caracterización de la macrofauna marina bentónica: Implicancias para su uso en líneas de base, caracterizaciones preliminares de sitios para la acuicultura y monitoreos ambientales en Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*.
209. Hersoug, Bjørn (2021). Why and how to regulate Norwegian salmon production? – The history of Maximum Allowable Biomass (MAB). *Aquaculture*.
210. Holmer, Marianne; Hansen, Pia Kupka; Karakassis, Ioannis; Borg, Joseph A.; Schembri, Patrick J. (2008). Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. *Aquaculture in the Ecosystem*.
211. Holmer, Marianne; Hansen, Pia; Karakassis, Ioannis; Borg, Joseph A; Schembri, Patrick (2007). Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. In: Holmer M., Black K., Duarte C., Marba N., & Karakassis I. (editors) *Aquaculture in the Ecosystem*.
212. Holmer, Marianne; Kristensen, Erik (1996). Seasonality of Sulfate Reduction and Pore Water Solutes in a Marine Fish Farm Sediment: The Importance of Temperature and Sedimentary Organic Matter. *Biogeochemistry*.
213. Holmer, Marianne; Kristensen, Erik (1992). Impact of fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. *Marine Ecology Progress Series*.
214. Holmer, Marianne; Marbá, Núria; Terrados, Jorge; Duarte, Carlos M.; Fortes, Mike D. (2002). Impacts of milkfish (*Chanos chanos*) aquaculture on carbon and nutrient fluxes in the Bolinao area, Philippines. *Marine Pollution Bulletin*.
215. Holmer, Marianne; Wildish, Dave; Hargrave, Barry (2005). Organic Enrichment from Marine Finfish Aquaculture and Effects on Sediment Biogeochemical Processes. *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*.
216. Hornick, Katherine M.; Buschmann, Alejandro H. (2018). Insights into the diversity and metabolic function of bacterial communities in sediments from Chilean salmon aquaculture sites. *Annals of Microbiology*.



217. Howarth, R. W. (1979). Pyrite: its rapid formation in a salt marsh and its importance in ecosystem metabolism. Science (New York, N.Y.).
218. Howarth, Robert W.; Jørgensen, Bo Barker (1984). Formation of 35S-labelled elemental sulfur and pyrite in coastal marine sediments (Limfjorden and Kysing Fjord, Denmark) during short-term 35SO₄²⁻ reduction measurements. Geochimica et Cosmochimica Acta.
219. Huiro regenerativo, regenerativo (2023). Huiro regenerativo.
220. Hurlbert, Stuart H. (1971). The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters.
221. Husa, Vivian; Kutti, Tina; Ervik, Arne; Sjøtun, Kjersti; Hansen, Pia Kupka; Aure, Jan (2014). Regional impact from fin-fish farming in an intensive production area (Hardangerfjord, Norway). Marine Biology Research.
222. IFAAquaculture (2017). Chapter III: Environment. The farmed salmonid health andbook.
223. IFOP (2021). Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico y su Relación con Procesos Biogeoquímicos en la Patagonia Norte..
224. Inglis, G.; Hayden, B.; Ross, A. (2002). An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture.
225. ITG, Chile (2024). Sistema De Oxigenación NANOOX.
226. Iturria (2018). An unusual habitat for a common shark: life history, ecology and demographics of the spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in Macquarie Harbour, Tasmania.
227. Iversen, Audun; Asche, Frank; Hermansen, Øystein; Nystøyl, Ragnar (2020). Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003–2018. Aquaculture.
228. Ives, Sc; Armstrong, Jd; Collins, C; Moriarty, M; Murray, Ag (2023). Salmon lice loads on Atlantic salmon smolts associated with reduced welfare and increased population mortalities. Aquaculture Environment Interactions.
229. James, Mark; Hartstein, Neil; Giles, Hilke (2018). Assessment of ecological effects of expanding salmon farming in Big Glory Bay, Stewart Island – Part 2 Assessment of effects.
230. Jansen, Henrice; Broch, Ole; Bannister, Raymond; Cranford, Peter; Handå, Aleksander; Husa, Vivian; Jiang, Zengjie; Strohmeier, Tore; Strand, Øivind (2018). Spatio-temporal dynamics in the dissolved nutrient waste plume from Norwegian salmon cage aquaculture. Aquaculture Environment Interactions.
231. Jansen, Henrice; Reid, G.K.; Bannister, Raymond; Husa, Vivian; Robinson, Shawn; Cooper, John; Quinton, Cheryl; Strand, Øivind (2016). Discrete water quality sampling at open-water aquaculture sites: Limitations and strategies. Aquaculture Environment Interactions.
232. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP) (1991). REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACTS OF COASTAL AQUACULTURE.
233. Jørgensen, Bo Barker (1982). Mineralization of organic matter in the sea bed—the role of sulphate reduction. Nature.
234. Jørgensen, Bo Barker (1977). The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark)1. Limnology and Oceanography.
235. Jorquera, Alberto; Castillo, Cristóbal; Murillo, Vladimir; Araya, Juan; Pinochet, Javier; Narváez, Diego; Pantoja-Gutiérrez, Silvio; Urbina, Mauricio A. (2022). Physical and anthropogenic drivers shaping the spatial distribution of microplastics in the marine sediments of Chilean fjords. Science of The Total Environment.
236. Kalantzi, Ioanna; Karakassis, Ioannis (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. Marine Pollution Bulletin.



237. Karakassis, I.; Tsapakis, M.; Hatziyanni, E.; Papadopoulou, K.-N; Plaiti, W. (2000). Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Science*.
238. Karakassis, Ioannis; Papageorgiou, Nafsika; Kalantzi, Ioanna; Sevastou, Katerina; Koutsikopoulos, Constantin (2013). Adaptation of fish farming production to the environmental characteristics of the receiving marine ecosystems: A proxy to carrying capacity. *Aquaculture*.
239. Keeley, N. B. (2013). Quantifying and predicting benthic enrichment: lessons learnt from southern temperate aquaculture systems.
240. Keeley, Nigel (2022). Synthesis of Environmental Responses to Aquaculture in Dispersive Coastal Ecosystems Based on International Case Studies. *Salt Ecology Report*.
241. Keeley, Nigel B.; Forrest, Barrie M.; Crawford, Christine; Macleod, Catriona K. (2012). Exploiting salmon farm benthic enrichment gradients to evaluate the regional performance of biotic indices and environmental indicators. *Ecological Indicators*.
242. Keeley, Nigel B.; Forrest, Barrie M.; Macleod, Catriona K. (2015). Benthic recovery and re-impact responses from salmon farm enrichment: Implications for farm management. *Aquaculture*.
243. Keeley, Nigel B.; Forrest, Barrie M.; Macleod, Catriona K. (2013). Novel observations of benthic enrichment in contrasting flow regimes with implications for marine farm monitoring and management. *Marine Pollution Bulletin*.
244. Keeley, Nigel B.; Forrest, Barrie M.; Macleod, Catriona K. (2015). Benthic recovery and re-impact responses from salmon farm enrichment: Implications for farm management. *Aquaculture*.
245. Keeley, Nigel B.; Macleod, Catriona K.; Forrest, Barrie M. (2012). Combining best professional judgement and quantile regression splines to improve characterisation of macrofaunal responses to enrichment.
246. Keeley, Nigel B.; Macleod, Catriona K.; Hopkins, Grant A.; Forrest, Barrie M. (2014). Spatial and temporal dynamics in macrobenthos during recovery from salmon farm induced organic enrichment: When is recovery complete?. *Marine Pollution Bulletin*.
247. Keeley, Nigel B.; Macleod, Catriona K.; Taylor, David; Forrest, Reid (2017). Comparison of three potential methods for accelerating seabed recovery beneath salmon farms. *Aquaculture*.
248. Keeley, Nigel; Cromey, C.; Goodwin, Eric; Gibbs, Mark; Macleod, Catriona (2013). Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*.
249. Keeley, Nigel; Forrest, Barrie; Crawford, Christine; Macleod, Catriona (2012). Exploiting salmon farm benthic enrichment gradients to evaluate the regional performance of biotic indices and environmental indicators. *Ecological Indicators*.
250. Keeley, Nigel; Macleod, Catriona; Forrest, Barrie (2012). Combining best professional judgement and quantile regression splines to improve characterisation of macrofaunal responses to enrichment. *Ecological Indicators*.
251. Keeley, Nigel; Valdemarsen, Thomas; Woodcock, Skye; Holmer, Marianne; Husa, Vivian; Bannister, Raymond (2019). Resilience of dynamic coastal benthic ecosystems in response to large-scale finfish farming. *Aquaculture Environment Interactions*.
252. Keeley, Nigel; Wood, Susanna A.; Pochon, Xavier (2018). Development and preliminary validation of a multi-trophic metabarcoding biotic index for monitoring benthic organic enrichment. *Ecological Indicators*.
253. Kendrick, Gary A; Althaus, Franziska; Bishop, Melanie; Brooke, Brendan; Butler, Ian; Caley, Julian; Connell, Sean D; Edyvane, Karen; Ferrari, Renata; Ierodiaconou, Daniel; Miller, Karen;



- Oliver, Jamie; Post, Alix; Przeslawski, Rachel; Schlacher, Thomas; Sinclair, Elizabeth; Steinberg, Peter; Tanner, Jason; Verges, Adriana; Wernberg, Thomas; Whalan, Steve (2014). White Paper: Benthic Ecosystems. National Marine Science Plan, Biodiversity Conservation and Ecosystem Health White.
254. Khan, M. Nasir; Mohammad, Firoz (2014). Eutrophication: Challenges and Solutions. Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2.
255. Khuntia, Snigdha; Kumar M., Subrata; Ghosh, Pallab (2024). Removal of Ammonia from Water by Ozone Microbubbles. ResearchGate.
256. Khuntia, Snigdha; Majumder, Subrata Kumar; Ghosh, Pallab (2014). Oxidation of As(III) to As(V) using ozone microbubbles. Chemosphere.
257. Kinoshita, Kyoko; Tamaki, Sayaka; Yoshioka, Miho; Srithonguthai, Sarawut; Kunihiro, Tadao; Hama, Daigo; Ohwada, Kouichi; Tsutsumi, Hiroaki (2008). Bioremediation of organically enriched sediment deposited below fish farms with artificially mass-cultured colonies of a deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I. Fish Sci.
258. Klebert, Pascal; Lader, Pål; Gansel, Lars; Oppedal, Frode (2013). Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. Ocean Engineering.
259. Kluger, Lotta C.; Filgueira, Ramón; Byron, Carrie J. (2019). Using media analysis to scope priorities in social carrying capacity assessments: A global perspective. Marine Policy.
260. Koepke, James Francis Hart (2021). AQUACULTURE AND THE BENTHIC HABITAT: BAY-SCALE VARIABILITY IN RESPONSE TO ORGANIC LOADING AND NOVEL APPROACHES TO INFORM REGULATORY MONITORING PRACTICES.
261. Kucuksezgin, Filiz; Pazi, Idil; Gonul, L. Tolga (2022). Environmental impact of fish farming: assessment of metal contamination and sediment geochemistry at three aquaculture areas from the eastern Aegean coast. Environ Monit Assess.
262. Kunihiro, Tadao; Miyazaki, Tomoaki; Uramoto, Yuuta; Kinoshita, Kyoko; Inoue, Akihiro; Tamaki, Sayaka; Hama, Daigo; Tsutsumi, Hiroaki; Ohwada, Kouichi (2008). The succession of microbial community in the organic rich fish-farm sediment during bioremediation by introducing artificially mass-cultured colonies of a small polychaete, *Capitella* sp. I. Marine Pollution Bulletin.
263. Kutti, Tina; Hansen, Pia Kupka; Ervik, Arne; Høisæter, Tore; Johannessen, Per (2007). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. Aquaculture.
264. Lee, Angela; Cloutier de Repentigny, Pierre (2018). Farming the Sea, a False Solution to a Real Problem: Critical Reflections on Canada's Aquaculture Regulations. Ottawa law review.
265. Lefrançois, Philippe; Puigagut, Jaume; Chazarenc, Florent; Comeau, Yves (2010). Minimizing phosphorus discharge from aquaculture earth ponds by a novel sediment retention system. Aquacultural Engineering.
266. Lehoux, Alizée P.; Petersen, Karina; Leppänen, Matti T.; Snowball, Ian; Olsen, Marianne (2020). Status of contaminated marine sediments in four Nordic countries: assessments, regulations, and remediation approaches. J Soils Sediments.
267. Leiva, Germán; Fuentes, Norika; Zelada, Sara; Ríos-Henríquez, Catalina (2019). Application of the Lake Biotic Index (LBI) in the ecological characterization of a North Patagonian Lake in Chile. Heliyon.
268. Lejzerowicz, Franck; Esling, Philippe; Pillet, Loïc; Wilding, Thomas A.; Black, Kenneth D.; Pawlowski, Jan (2015). High-throughput sequencing and morphology perform equally well for benthic monitoring of marine ecosystems. Sci Rep.



269. Leontidou, Kleopatra; Rubel, Verena; Stoeck, Thorsten (2023). Comparing quantile regression spline analyses and supervised machine learning for environmental quality assessment at coastal marine aquaculture installations. *PeerJ*.
270. Letelier, Jaime; Soto-Mardones, Luis; Salinas, Sergio; Osuna, Pedro; López-Acevedo, Diego; Sepúlveda, Héctor; Pinilla, Elias; Rodrigo, Cristian (2011). Variability of wind, waves and currents in the northern region of the Chilean Patagonian fjords. *Revista de Biología Marina Y Oceanografía*.
271. Lin, David T.; Bailey-Brock, Julie H. (2008). Partial recovery of infaunal communities during a fallow period at an open-ocean aquaculture. *Marine Ecology Progress Series*.
272. Liu, Dongyan; Keesing, John; Dong, Zhijun; Zhen, Yu; Di, Baoping; Shi, Yajun; Fearn, Peter; Shi, Ping (2010). Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms. *Marine pollution bulletin*.
273. Lu, L.; Wu, R. S. S. (1998). Recolonization and succession of marine macrobenthos in organic-enriched sediment deposited from fish farms. *Environmental Pollution*.
274. Luthman, O.; Jonell, M.; Troell, M. (2019). Governing the salmon farming industry: Comparison between national regulations and the ASC salmon standard. *Marine Policy*.
275. Macleod, Catriona K.; Crawford, Christine M.; Moltschaniwskyj, Natalie A. (2004). Assessment of long term change in sediment condition after organic enrichment: defining recovery. *Marine Pollution Bulletin*.
276. Macleod, Catriona K.; Moltschaniwskyj, Natalie A.; Crawford, Christine M. (2006). Evaluation of short-term fallowing as a strategy for the management of recurring organic enrichment under salmon cages. *Marine Pollution Bulletin*.
277. Macleod, Catriona; Bissett, Andrew; Burke, Chris; Forbes, Susan; Holdsworth, Danny; Nichols, Peter; Revill, Andrew; Volkman, John (2004). Development of novel methods for the assessment of sediment condition and determination of management protocols for sustainable finfish cage aquaculture Final Report for Aquafin CRC Project 4.1.
278. Macleod, Catriona; Eriksen, Ruth; Simpson, Stuart; Davey, Adam; Ross, Donald; Macleod, C; Eriksen, R; Simpson, Stuart (2014). Assessment of the environmental impacts and sediment remediation potential associated with copper contamination from antifouling paint (and associated recommendations for management).
279. Macleod, Catriona; Moltschaniwskyj, Natalie; Crawford, Christine; Forbes, SE (2007). Biological recovery from organic enrichment: Some systems cope better than others. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*.
280. Macleod, Edited Catriona; Forbes, Susan (2004). Guide to the assessment of sediment condition at marine finfish farms in Tasmania.
281. Madariaga, Sandra T; Marín, Sandra L (2017). Sanitary and environmental conditions of aquaculture sludge. *Aquaculture Research*.
282. Magris, Rafael A.; Ban, Natalie C. (2019). A meta-analysis reveals global patterns of sediment effects on marine biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*.
283. Margalef, Ramón (1958). Information theory in ecology.
284. Marín, Sandra L.; Borja, Ángel; Soto, Doris; Farias, Daniela R. (2021). Salmon Farming: Is It Possible to Relate Its Impact to the Waste Remediation Ecosystem Service?. *Ecosystem Services in Patagonia: A Multi-Criteria Approach for an Integrated Assessment*.



285. Marin, Sandra; Arcos, Jonathan; Outeiro, Luis; Nahuelhual, Laura; Vergara, Ximena; Fulton, Elizabeth (2024). A tools to anticipate the potential impacts of expanding marine salmon farming.
286. Marin, Sandra; Hernández, Estrella; Núñez, Rosa; Núñez, Claudia; Borja, Angel; Muxika, Iñigo (2018). Levantamiento de información de las comunidades bentónicas submareales de fondos blandos y caracterización de su condición ambiental usando índices biológicos (AMBI) y variables físicas y químicas en la zona sur (1ra etapa).
287. Marine Scotland Science (2024). Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters.
288. Marine Scotland Science, MSS (2024). Locational Guidelines for the Authorisation of Marine Fish Farms in Scottish Waters.
289. Marinescotland (2024). Marine Scotland - National Marine Plan Interactive.
290. Martins, C. I.; Eding, E. H.; Verdegem, M. C. J.; Heinsbroek, L. T. N.; Schneider, O.; Blancheton, J. P.; dÓrbcastel, E. Roque; Verreth, J. a. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*.
291. Mata Almonacid, Pablo; Medel, Carolina (2022). A structure-preserving model for the dynamics of estuarine ecosystems and its application in western Patagonia fjords. *Ecological Modelling*.
292. Mayor, Daniel J.; Solan, Martin (2011). Complex interactions mediate the effects of fish farming on benthic chemistry within a region of Scotland. *Environmental Research*.
293. Mayor, Daniel J.; Zuur, Alain F.; Solan, Martin; Paton, Graeme I.; Killham, Ken (2010). Factors Affecting Benthic Impacts at Scottish Fish Farms. *Environ. Sci. Technol.*
294. McDaniels, Timothy L.; Dowlatabadi, Hadi; Stevens, Sara (2005). Multiple scales and regulatory gaps in environmental change: the case of salmon aquaculture. *Global Environmental Change*.
295. McGrath, Keegan P.; Pelletier, Nathan L.; Tyedmers, Peter H. (2015). Life Cycle Assessment of a Novel Closed-Containment Salmon Aquaculture Technology. *Environ. Sci. Technol.*
296. McIntosh, P.; Barrett, L. T.; Warren-Myers, F.; Coates, A.; Macaulay, G.; Szetey, A.; Robinson, N.; White, C.; Samsing, F.; Oppedal, F.; Folkedal, O.; Klebert, P.; Dempster, T. (2022). Supersizing salmon farms in the coastal zone: A global analysis of changes in farm technology and location from 2005 to 2020. *Aquaculture*.
297. McKindsey, CHRISTOPHER W. (2013). Carrying capacity for sustainable bivalve aquaculture. Sustainable food production.
298. McKindsey, Christopher W.; Thetmeyer, Helmut; Landry, Thomas; Silvert, William (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*.
299. McKindsey, Christopher; Archambault, Philippe; Callier, Myriam; Olivier, Frédéric (2013). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: A review. *Canadian Journal of Zoology*.
300. McMullin, Rebecca M.; Wing, Stephen R.; Sabadel, Amandine JM; Hageman, Kimberley J. (2022). Experimentally derived biochemical modelling parameters to improve understanding of aquaculture's effect on marine food webs. *MARINE ENVIRONMENTAL RESEARCH*.
301. Ménesguen; Perrot; Dussauze (2010). Ulva mass accumulations on brittany beaches: explanation and remedies deduced from models.
302. Mente, Eleni; Pierce, Graham J.; Santos, Maria Begona; Neofitou, Christos (2006). Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquac. Int.*



303. Milewski, Inka; Smith, Ruth E. (2019). Sustainable aquaculture in Canada: Lost in translation. *Marine Policy*.
304. Millanao B, Ana; Barrientos H, Marcela; Gómez C, Carolina; Tomova, Alexandra; Buschmann, Alejandro; Dölz, Humberto; Cabello, Felipe C. (2011). [Injudicious and excessive use of antibiotics: public health and salmon aquaculture in Chile]. *Revista Medica De Chile*.
305. Milne, Jacqueline E; Marvin, Christopher H; Yerubandi, Ram; McCann, Kevin; Moccia, Richard D (2017). Monitoring and modelling total phosphorus contributions to a freshwater lake with cage-aquaculture. *Aquaculture Research*.
306. MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN; SUBSECRETARIA DE PESCA (2001). DECRETO 320 REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LA ACUICULTURA.
307. MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y RECONSTRUCCIÓN; SUBSECRETARIA DE PESCA (2001). DECRETO 320 REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LA ACUICULTURA.
308. Miranda, Claudio D.; Godoy, Felix A.; Lee, Matthew R. (2018). Current Status of the Use of Antibiotics and the Antimicrobial Resistance in the Chilean Salmon Farms. *Frontiers in Microbiology*.
309. Moe Føre, Heidi; Thorvaldsen, Trine; Osmundsen, Tonje C.; Asche, Frank; Tveterås, Ragnar; Fagertun, Jan Tore; Bjelland, Hans V. (2022). Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture Reports*.
310. Moreno, David; Lyle, Jeremy; Semmens, Jayson; Morash, Andrea; Stehfest, Kilian; McAllister, Jaime; Bowen, Bailee; Barrett, Neville (2020). Vulnerability of the endangered Maugean Skate population to degraded environmental conditions in Macquarie Harbour.
311. Mott, RL (2006). *Mecanica de Fluidos 6 Ed.*
312. Muxika, Iñigo; Borja, Angel; Bald, Juan (2007). Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*.
313. Muxika, Iñigo; Borja, Ángel; Bald, Juan (2007). Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive.
314. Nahuelhual, Laura; Defeo, Omar; Vergara, Ximena; Blanco, Gustavo; Marín, Sandra L.; Bozzeda, Fabio (2019). Is there a blue transition underway?. *Fish and Fisheries*.
315. Nanoox, Cada Nanoburbuja (2024). ALTA CONCENTRACIÓN DE CARGAS NEGATIVAS.
316. Niklitschek, Edwin J.; Soto, Doris; Lafon, Alejandra; Molinet, Carlos; Toledo, Pamela (2013). Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. *Reviews in Aquaculture*.
317. Niklitschek, Edwin; Soto, D.; Lafon, Alejandra; Molinet, Carlos; Toledo, Pamela (2013). Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: Main environmental challenges. *Reviews in Aquaculture*.
318. Nilsen, Arve; Nielsen, Kristoffer Vale; Bergheim, Asbjørn (2020). A closer look at closed cages: Growth and mortality rates during production of post-smolt Atlantic salmon in marine closed confinement systems. *Aquacultural Engineering*.
319. Nilsson, Hans; Rosenberg, Rutger (2000). Succession in marine benthic habitats and fauna in response to oxygen deficiency: Analysed by sediment profile-imaging and by grab samples. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*.
320. Nippard, L.; Ciocan, C. (2019). Potential Impact of Aquaculture Effluents in Loch Creran, Scotland. *Vie Milieu*.



321. Niu, Shan; Chen, Ruiwen; Hageman, Kimberly J.; McMullin, Rebecca M.; Wing, Stephen R.; Ng, Carla A. (2023). Understanding impacts of organic contaminants from aquaculture on the marine environment using a chemical fate model. *Journal of Hazardous Materials*.
322. Nobre, Ana M. (2009). An ecological and economic assessment methodology for coastal ecosystem management. *Environmental Management*.
323. Norkko, Joanna; Shumway, Sandra (2011). *Shellfish Aquaculture and the Environment*.
324. NSK (2022). *Havfarm 1 • NSK Ship Design*.
325. O'Donncha, Fearghal; Grant, Jon (2019). Precision Aquaculture. *IEEE Internet of Things Magazine*.
326. Obe, Russel Griggs (2022). A Review of the Aquaculture Regulatory Process in Scotland.
327. Oh, E. S.; Edgar, G. J.; Kirkpatrick, J. B.; Stuart-Smith, R. D.; Barrett, N. S. (2015). Broad-scale impacts of salmon farms on temperate macroalgal assemblages on rocky reefs. *Marine Pollution Bulletin*.
328. Olaussen, Jon Olaf (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*.
329. Olsen, Lasse; Holmer, Marianne; Olsen, Yngvar (2008). Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters: Literature review with evaluated state of knowledge.
330. Olsen, Marit Schei; Thorvaldsen, Trine; Osmundsen, Tonje C. (2021). Certifying the public image? Reputational gains of certification in Norwegian salmon aquaculture. *Aquaculture*.
331. Onyancha, Douglas; Mavura, Ward; Ngila, J. Catherine; Ongoma, Peter; Chacha, Joseph (2008). Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algae biosorbents, *Spirogyra condensata* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*. *Journal of Hazardous Materials*.
332. Oppedal, Frode; Dempster, Tim; Stien, Lars H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture*.
333. Ortiz, Paula; Quiroga, Eduardo; Montero, Paulina; Hamame, Madeleine; Betti, Federico (2021). Trophic structure of benthic communities in a Chilean fjord (45°S) influenced by salmon aquaculture: Insights from stable isotopic signatures. *Marine Pollution Bulletin*.
334. Ory, Nicolas; Chagnon, Catherine; Felix, Fernando; Fernández, César; Ferreira, Joana Lia; Gallardo, Camila; Garcés Ordóñez, Ostin; Henostroza, Aida; Laaz, Enrique; Mizraji, Ricardo; Mojica, Hermes; Murillo Haro, Vladimir; Ossa Medina, Luis; Preciado, Mercy; Sobral, Paula; Urbina, Mauricio A.; Thiel, Martin (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*.
335. Otero, Xosé L.; Calvo de Anta, R. M.; Macías, Felipe (2006). Sulphur partitioning in sediments and biodeposits below mussel rafts in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain). *Marine Environmental Research*.
336. Outeiro, Luis; Byron, Carrie; Angelini, Ronaldo (2018). Ecosystem maturity as a proxy of mussel aquaculture carrying capacity in Ria de Arousa (NW Spain): A food web modeling perspective. *Aquaculture*.
337. OXYMAR (2024). OXYMAR.
338. Pashaei, Reza; Zahedipour-Sheshglani, Pari; Dzingelevičienė, Reda; Abbasi, Sajjad; Rees, Robert M. (2022). Effects of pharmaceuticals on the nitrogen cycle in water and soil: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*.
339. Pawar, Lokesh; Nag, Mayuri; Sidiq, M. Junaid (2020). Integrated Multi-Trophic Aquaculture Systems (IMTA): A Sustainable Approach for Better Resource Utilization. *JOURNAL OF AQUACULTURE*.



340. Pawlowski, Jan; Esling, Philippe; Lejzerowicz, Franck; Cedhagen, Tomas; Wilding, Thomas A. (2014). Environmental monitoring through protist next-generation sequencing metabarcoding: assessing the impact of fish farming on benthic foraminifera communities. *Molecular Ecology Resources*.
341. Pearson, T.; Rosenberg, Rutger (1977). Pearson TH, Rosenberg R.. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 16: 229-311. *Oceanography and Marine Biology*.
342. Pereira, Paula M. F; Black, Kenneth D; McLusky, Donald S; Nickell, Thom D (2004). Recovery of sediments after cessation of marine fish farm production. *Aquaculture*.
343. Phillips, M J; Munkung, R; Enyuan, F; Ngan, T T; Gavine, F; White, P G; Yamamoto, K; Hooi, T K; Yokoyama, H; Kutty, M N; Lopez, N A (2009). Review of environmental impact assessment and monitoring in aquaculture in Asia-Pacific. *FAO*.
344. Pielou, E.C (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections.
345. Pincetti, Letizia (2023). Sustainable coastal development: a comparative analysis of environmental impacts between floating platforms and dredging.
346. Pinilla, Elías; Castillo, Manuel I.; Pérez-Santos, Iván; Venegas, Oliver; Valle-Levinson, Arnoldo (2020). Water age variability in a Patagonian fjord. *Journal of Marine Systems*.
347. Pino, Loreto; Marin, Sandra L.; Nunez, Rosa (2015). Biotic indicators and their relationship to the lower limit of the definition of the macrofauna. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*
348. Pitta, Paraskevi; Apostolaki, Eugenia; Tsagaraki, Tatiana; Tsapakis, Manolis; Karakassis, Ioannis (2006). Fish Farming Effects on Chemical and Microbial Variables of the Water Column: A Spatio-temporal Study Along the Mediterranean Sea. *HYDROBIOLOGIA*.
349. Plugge, Caroline M.; Zhang, Weiwen; Scholten, Johannes C. M.; Stams, Alfons J. M. (2011). Metabolic Flexibility of Sulfate-Reducing Bacteria. *Frontiers in Microbiology*.
350. Poblete, Exequiel Gonzalez; Drakeford, Benjamin M.; Ferreira, Felipe Hurtado; Barraza, Makarena Garrido; Failler, Pierre (2019). The impact of trade and markets on Chilean Atlantic salmon farming. *Aquacult Int*.
351. Pochon, X.; Wood, S. A.; Keeley, N. B.; Lejzerowicz, F.; Esling, P.; Drew, J.; Pawlowski, J. (2015). Accurate assessment of the impact of salmon farming on benthic sediment enrichment using foraminiferal metabarcoding. *Mar Pollut Bull*.
352. Preisler, André; de Beer, Dirk; Lichtschlag, Anna; Lavik, Gaute; Boetius, Antje; Jørgensen, Bo Barker (2007). Biological and chemical sulfide oxidation in a Beggiatoa inhabited marine sediment. *The ISME Journal*.
353. Price, Carol Seals; Morris Jr., James A. (2013). Marine cage culture and the environment: twenty-first century science informing a sustainable industry.
354. Quetrox (2023). INYECTORES DE NANOBURBUJAS.
355. Quinton, M. (2013). Weight ratios of the kelps, *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*, required to sequester dissolved inorganic nutrients and supply oxygen for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems. *Aquaculture*.
356. Quiñones, Renato A.; Fuentes, Marcelo; Montes, Rodrigo M.; Soto, Doris; León-Muñoz, Jorge (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*.
357. Quiroga, Eduardo; Ortiz, Paula; Reid, Brian; Gerdes, Dieter (2013). Classification of the ecological quality of the Aysen and Baker Fjords (Patagonia, Chile) using biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*.



358. Quiral R, Vilma; Morales G, Carla; Sepúlveda L, Marcela; Schwartz M, Marco (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista chilena de nutrición*.
359. Rector, Megan E.; Weitzman, Jenny; Filgueira, Ramón; Grant, Jon (2022). Environmental indicators in salmon aquaculture research: A systematic review. *Reviews in Aquaculture*.
360. Reimers, Clare E. (1987). Un instrumento de microperfilado *in situ* para medir gradientes de agua interfacial: métodos y perfiles de oxígeno del Océano Pacífico Norte. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*.
361. Revsbech, Niels Peter; Sorensen, Jan; Blackburn, Thomas Henry; Lomholt, Jens Peter (1980). Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes. *Limnology and Oceanography*.
362. Rickard, Graham (2020). Three-dimensional hydrodynamic modelling of tidal flows interacting with aquaculture fish cages. *Journal of Fluids and Structures*.
363. Rodil, I. F.; Lohrer, A. M.; Hewitt, J. E.; Townsend, M.; Thrush, S. F.; Carbines, M. (2013). Tracking environmental stress gradients using three biotic integrity indices: Advantages of a locally-developed traits-based approach. *Ecological Indicators*.
364. Romero, F.; Sanchez-Jerez, P.; Martínez, G.; Hernandez-Contreras, A.; Fernandez-Gonzalez, V.; Agraso, M. M.; Toledo-Guedes, K. (2023). A proxy for carrying capacity of Mediterranean aquaculture. *Aquaculture*.
365. Rooney, Rebecca C.; Podemski, Cheryl L. (2010). Freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming affects sediment and pore-water chemistry. *Marine and Freshwater Research*.
366. Rosenberg, Rutger; Blomqvist, Mats; Nilsson, Hans; Cederwall, Hans; Dimming, Anna (2004). Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*.
367. Ross, Lindsay; Telfer, Trevor; Falconer, Lynne; Soto, D.; Aguilar-Manjarrez, Jose; Asmah, Ruby; Bermúdez, J.; Beveridge, M.C.M.; Byron, C.; Clément, A.; Corner, Richard; Costa-Pierce, Barry; Cross, S.; de Wit, Martin; Dong, S.; Ferreira, J.G.; Kapetsky, James; Karakassis, Ioannis; Leschen, Will; Zhu, Changbo (2013). Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. *Site Selection and Carrying Capacities for Inland and Coastal Aquaculture*.
368. Ross; Wild-Allen; Andrewartha; Stehfest; MacLeod (2018). Understanding oxygen dynamics and the importance for benthic recovery in Macquarie Harbour-Progress Report.
369. Ruellet, Thierry; Dauvin, Jean-Claude (2007). Benthic indicators: analysis of the threshold values of ecological quality classifications for transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*.
370. Ryan, Kevin A.; Palacios, Lenny Chaverra; Encina, Francisco; Graeber, Daniel; Osorio, Sebastian; Stubbins, Aron; Woelfl, Stefan; Nimptsch, Jorge (2022). Assessing inputs of aquaculture-derived nutrients to streams using dissolved organic matter fluorescence. *The Science of the Total Environment*.
371. Rygg, B. (2002). Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway.
372. Rygg, Brage; Norling, Karl (2013). Norwegian Sensitivity Index (NSI) for marine macroinvertebrates, and an update of Indicator Species Index (ISI).
373. Salman, Verena; Amann, Rudolf; Girnth, Anne-Christin; Polerecky, Lubos; Bailey, Jake V.; Høgslund, Signe; Jessen, Gerhard; Pantoja, Silvio; Schulz-Vogt, Heide N. (2011). A single-cell

- sequencing approach to the classification of large, vacuolated sulfur bacteria. *Systematic and Applied Microbiology*.
374. Salman, Verena; Bailey, Jake V.; Teske, Andreas (2013). Phylogenetic and morphologic complexity of giant sulphur bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*.
375. Salvo, Flora; Dufour, Suzanne C.; Hamoutene, Dounia (2017). Temperature thresholds of opportunistic annelids used as benthic indicators of aquaculture impact in Newfoundland (Canada). *Ecological Indicators*.
376. Salvo, Flora; Mersereau, Joseph; Hamoutene, Dounia; Belley, Rénaud; Dufour, Suzanne C. (2017). Spatial and temporal changes in epibenthic communities at deep, hard bottom aquaculture sites in Newfoundland. *Ecological Indicators*.
377. Sanchis, Carlos; Soto, Eulogio H.; Quiroga, Eduardo (2021). The importance of a functional approach on benthic communities for aquaculture environmental assessment: Trophic groups – A polychaete view. *Marine Pollution Bulletin*.
378. Sandoval-Estrada, Marco; Celis-Hidalgo, José; Stolpe-Lau, Neil; Capulín-Grande, Juan (2010). Efecto de enmiendas con lodos urbanos y de salmoneicultura en la estructura de un Entisol y un Alfisol en Chile. *Agrociencia*.
379. Sanz-Lázaro, Carlos; Belando, María Dolores; Marín-Guirao, Lázaro; Navarrete-Mier, Francisco; Marín, Arnaldo (2011). Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maërl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research*.
380. Sanz-Lazaro, Carlos; Casado-Coy, Nuria; Calderero, Edwin Moncayo; Villamar, Ulises Avendaño (2021). The environmental effect on the seabed of an offshore marine fish farm in the tropical Pacific. *Journal of Environmental Management*.
381. Schaanning, M. (1993). Distribution of sediment properties in coastal areas adjacent to fish farms and environmental evaluation of five locations surveyed in Oktober.
382. Schaanning, Morten; Kupka Hansen, Pia (2005). The Suitability of Electrode Measurements for Assessment of Benthic Organic Impact and Their use in a Management System for Marine Fish Farms.
383. Scott, David (2011). A review of the regulation of salmon farming in Scotland - [openasfa.title](#).
384. Scottish Environment Protection Agency (2024). Authorisation of marine fish farms in Scottish waters: locational guidelines.
385. Scottish Environment Protection Agency (SEPA) (2017). *Fish Farm Manual*.
386. Scottish Environment Protection Agency, SEPA (2022). *Seabed environmental standards Demonstrating compliance: Guidance for operators*.
387. Scottish Environment Protection Agency, SEPA (2022). *Baseline survey design*.
388. Scottish Environment Protection Agency, SEPA (2022). *Seabed mixing zone limit: Compliance assessment methodology*.
389. SEPA (2023). *Aquaculture | Scottish Environment Protection Agency (SEPA). Regulatory framework for marine pen fish farms*.
390. SEPA (2023). *Aquaculture | Scottish Environment Protection Agency (SEPA)*.
391. SEPA (2024). *Environmental standards | Scottish Environment Protection Agency (SEPA)*.
392. SERNAPESCA (2024). *Agrupación de Concesiones de Salmónidos – sernapesca*.
393. SERNAPESCA (2018). *Informe Técnico Situación Ambiental de la Acuicultura en Chile*.
394. Shumway, S.; Davis, C.; Downey, R.; Karney, R.; Kraeuter, J.; Rheault, R.; Wikfors, G. (2003). *Shellfish aquaculture — In praise of sustainable economies and environments*.



395. Sievers, Michael; Korsøen, Øyvind; Warren-Myers, Fletcher; Oppedal, Frode; Macaulay, Georgia; Folkedal, Ole; Dempster, Tim (2022). Submerged cage aquaculture of marine fish: A review of the biological challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*.
396. Sievert, Stefan M.; Wieringa, Elze B. A.; Wirsén, Carl O.; Taylor, Craig D. (2007). Growth and mechanism of filamentous-sulfur formation by *Candidatus Arcobacter sulfidicus* in opposing oxygen-sulfide gradients. *Environmental Microbiology*.
397. Silva, Hugo; Soto, Raimundo (2022). Externalidades y Regulación de la Industria del Salmón en Chile y el resto del mundo.
398. Simboura, Nomiki; Zenetos, Argyro (2002). Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Science*.
399. Simões, Fabiano dos Santos; Moreira, Altair B.; Bisinoti, Márcia Cristina; Gimenez, Sonia M. Nobre; Yabe, Maria Josefa Santos (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*.
400. Simone, Michelle; Grant, Jon (2020). Visually-based alternatives to sediment environmental monitoring. *Marine Pollution Bulletin*.
401. Simonini, Roberto; Grandi, Valentina; Massamba-N'Siala, Gloria; Iotti, Mirko; Montanari, Giuseppe; Prevedelli, Daniela (2009). Assessing the ecological status of the North-western Adriatic Sea within the European Water Framework Directive: a comparison of Bentix, AMBI and M-AMBI methods. *Marine Ecology*.
402. Siwertsson, Anna; Husson, Bérengère; Arneberg, Per; Assmann, Karen; Assmy, Philipp; Aune, Magnus; Bogstad, Bjarte; Børsheim, Knut; Colchrane, Sabine; Daase, Malin; Fauchald, Per; Frainer, André; Fransson, Agneta; Hop, Haakon; Höffle, Hannes; Gerland, Sebastian; Ingvaldsen, Randi; Jentoft, Sissel; Kovacs, Kit; Øien, Nils (2023). Panel-based Assessment of Ecosystem Condition of Norwegian Barents Sea Shelf Ecosystems.
403. Sjøtun, Svein Gunnar; Fløysand, Arnt; Wiig, Heidi; Zenteno Hopp, Joaquin (2022). Multi-level agency and transformative capacity for environmental risk reduction in the Norwegian salmon farming industry. *Frontiers in Human Dynamics*.
404. Skákala, Jozef; Awty-Carroll, Katie; Menon, Prathyush P.; Wang, Ke; Lessin, Gennadi (2023). Future digital twins: emulating a highly complex marine biogeochemical model with machine learning to predict hypoxia. *Frontiers in Marine Science*.
405. Skogen, Morten D.; Eknes, Mette; Asplin, Lars C.; Sandvik, Anne D. (2009). Modelling the environmental effects of fish farming in a Norwegian fjord. *Aquaculture*.
406. Smaal, A. C.; Schellekens, T.; Van Stralen, M. R.; Kromkamp, J. C. (2013). Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing?. *Aquaculture*.
407. Solås, Ann-Magnhild; Kvalvik, Ingrid; Simonsen, Knud; Thorarinsdottir, Ragnheidur; Young, Nathan; Johnsen, Jahn Petter; Sønvisen, Signe A; Robertsen, Roy (2022). Salmon farming in the North.
408. Solås, Ann-Magnhild; Kvalvik, Ingrid; Simonsen, Knud; Thorarinsdottir, Ragnheidur; Young, Nathan; Johnsen, Jahn; Sønvisen, Signe; Robertsen, Roy (2020). Salmon farming in the North Regulating societal and environmental impacts.
409. Solbio, Chile Store (2023). Biorremediación con bacterias. aplicaciones-para-empresas-e-industrias/acuicultura-y-piscicultura/.



410. Soto, D.; Norambuena, F. (2004). Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology*.
411. Soto, Doris; León-Muñoz, Jorge; Soria-Galvarro, Yuri; Quiñones, Renato; Marin, Sandra (2020). Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura Chilena a escala de ecosistemas.
412. Sparrow, Ben D.; Edwards, Will; Munroe, Samantha E.M.; Wardle, Glenda M.; Guerin, Greg R.; Bastin, Jean-Francois; Morris, Beryl; Christensen, Rebekah; Phinn, Stuart; Lowe, Andrew J. (2020). Effective ecosystem monitoring requires a multi-scaled approach. *Biological Reviews*.
413. Stigebrandt, Anders (2011). Carrying capacity: general principles of model construction. *Aquaculture Research*.
414. Stigebrandt, Anders; Aure, Jan; Ervik, Arne; Hansen, Pia Kupka (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 system. *Aquaculture*.
415. Stoeck, Thorsten; Frühe, Larissa; Forster, Dominik; Cordier, Tristan; Martins, Catarina I. M.; Pawlowski, Jan (2018). Environmental DNA metabarcoding of benthic bacterial communities indicates the benthic footprint of salmon aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*.
416. Stoeck, Thorsten; Kochems, Rebecca; Forster, Dominik; Lejzerowicz, Franck; Pawlowski, Jan (2018). Metabarcoding of benthic ciliate communities shows high potential for environmental monitoring in salmon aquaculture. *Ecological Indicators*.
417. Stumm, Werner; Morgan, James J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*.
418. SUBPESCA (2017). Informe técnico DAC n° 573 de 20 de junio. Propuesta modificación resolución acompañante del reglamento ambiental para la acuicultura. (RESOLUCION N° 3612/2009).
419. SUBPESCA (2003). Política Nacional de Acuicultura (PNA) (D.S. N°125 de 2003).
420. SUBPESCA, 2 (2022). Res. Ex. N° 1141-2022 Autoriza los Mecanismos Físico, Destinados a Modifica las Condiciones de Oxígeno del Área de Sedimentación y Fija Los Requisitos y Condiciones para su Uso, en Conformidad al Artículo 8 Bis del D.S. N° 320 de 2001, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (Publicado en Página Web 02-06-2022) (F.D.O. 08-06-2022). SUBPESCA Normativa.
421. System, Seafarming; Salmar (2019). *Aquatraz, Jaulas semi cerradas*.
422. Ta, Xuxiang; Wei, Yaoguang (2018). Research on a dissolved oxygen prediction method for recirculating aquaculture systems based on a convolution neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*.
423. Tallar, Robby Yussac; Suen, Jian-Ping (2016). Aquaculture Water Quality Index: a low-cost index to accelerate aquaculture development in Indonesia. *Aquacult Int*.
424. Taplin, Steven B. (2012). Sediment removal apparatus and method for removing sediment from open waterways.
425. Taranger, Geir Lasse; Karlsen, Ørjan; Bannister, Raymond John; Glover, Kevin Alan; Husa, Vivian; Karlsbakk, Egil; Kvamme, Bjørn Olav; Boxaspen, Karin Kroon; Bjørn, Pål Arne; Finstad, Bengt; Madhun, Abdullah Sami; Morton, H. Craig; Svåsand, Terje (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*.
426. Tasmanian, Government of (2024). Existing Marine Farming Development Plans and Proposals.



427. Tekile, Andinet (2024). Applications of Ozone Micro- and Nanobubble Technologies in Water and Wastewater Treatment: Review. ResearchGate.
428. Telfer, Trevor; Falconer, Lynne; Kaas, Hanne; Jackson, David (2018). TAPAS - Tools for Assessment and Planning of Aquaculture Sustainability - Horizon2020. Impact.
429. Telfer, Trevor; H, Atkin; Corner, Richard (2009). Review of EIA and Monitoring in Aquaculture in Europe and North America.
430. Temesgen, Tatek; Bui, Thi Thuy; Han, Mooyoung; Kim, Tschung-il; Park, Hyunju (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*.
431. Teske, Andreas; Salman, Verena (2014). The Family Beggiatoaceae. *The Prokaryotes: Gammaproteobacteria*.
432. The Environment, Climate Change and Land Reform (ECCLR) Committee (2018). Environmental impacts of salmon farming. *Environmental impacts of salmon farming*.
433. Thefishsite (2024). Canada confirms severe salmon farming restrictions in BC. *The Fish Site*.
434. THODE-ANDERSEN, SØREN; Jørgensen, Bo (1989). Sulfate reduction and the formation of ^{35}S -labeled FeS , FeS_2 , and S_0 in coastal marine sediments. *Limnology and Oceanography - LIMNOL OCEANOGR*.
435. Tironi, Antonio; Marin, Víctor H.; Campuzano, Francisco J. (2010). A Management Tool for Assessing Aquaculture Environmental Impacts in Chilean Patagonian Fjords: Integrating Hydrodynamic and Pellets Dispersion Models. *Environmental Management*.
436. Troell, Max; Joyce, Alyssa; Chopin, Thierry; Neori, Amir; Buschmann, Alejandro H.; Fang, Jian-Guang (2009). Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*.
437. Tryggvason, Ágúst Þorri (2016). A Systematic View on a Recirculating Aquaculture System: Causality Relation Between Variables.
438. Tsagaraki, Tatiana M.; Petihakis, George; Tsiaras, Kostas; Triantafyllou, George; Tsapakis, Manolis; Korres, Gerasimos; Kakagiannis, George; Frangoulis, Constantin; Karakassis, Ioannis (2011). Beyond the cage: Ecosystem modelling for impact evaluation in aquaculture. *Ecological Modelling*.
439. Tsagaraki, Tatiana; Pitta, Paraskevi; Frangoulis, Constantin; Petihakis, G.; Karakassis, Ioannis (2013). Plankton response to nutrient enrichment is maximized at intermediate distances from fish farms. *Marine Ecology Progress Series*.
440. Tsiaras, Kostas; Tsapakis, Manolis; Gkanassos, Athanassios; Kalantzi, Ioanna; Petihakis, George; Triantafyllou, George (2022). Modelling the impact of finfish aquaculture waste on the environmental status in an Eastern Mediterranean Allocated Zone for Aquaculture. *Continental Shelf Research*.
441. Urbina, Mauricio A. (2016). Temporal variation on environmental variables and pollution indicators in marine sediments under sea Salmon farming cages in protected and exposed zones in the Chilean inland Southern Sea. *Science of The Total Environment*.
442. Van Beusekom, Justus E. E. (2018). Eutrophication. *Handbook on Marine Environment Protection : Science, Impacts and Sustainable Management*.
443. Vandeplass, Stormy (2023). Effects of an Aquaculture Fish Farm on the Sediment Geochemistry of a Naturally Anoxic Basin.



444. vannforskriften, Direktoratgruppen for gjennomføringen av (2018). Klassifiseringsveileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver..
445. Vasquez-Cardenas, Diana; Hidalgo-Martinez, Silvia; Hulst, Lucas; Thorleifsdottir, Thorgerdur; Helgason, Gudmundur Vidir; Eiriksson, Thorleifur; Geelhoed, Jeanine S.; Agustsson, Thorleifur; Moodley, Leon; Meysman, Filip J. R. (2022). Biogeochemical impacts of fish farming on coastal sediments: Insights into the functional role of cable bacteria. *Frontiers in Microbiology*.
446. Vaz, Leandro; Sousa, Magda C.; Gómez-Gesteira, Moncho; Dias, João M. (2021). A habitat suitability model for aquaculture site selection: Ria de Aveiro and Rias Baixas. *Science of The Total Environment*.
447. Vega, Daniel (2018). Técnicas del SRF para la recuperación de fondos marinos impactados por la salmicultura, sin efectos de resuspensión de material sedimentario.
448. Vergara, M (2003). La acuicultura en Chile. Comercialización.
449. Verhoeven, Joost T. P.; Salvo, Flora; Knight, Robyn; Hamoutene, Dounia; Dufour, Suzanne C. (2018). Temporal Bacterial Surveillance of Salmon Aquaculture Sites Indicates a Long Lasting Benthic Impact With Minimal Recovery. *Frontiers in Microbiology*.
450. Villnäs, A.; Perus, J.; Bonsdorff, E. (2011). Structural and functional shifts in zoobenthos induced by organic enrichment — Implications for community recovery potential. *Journal of Sea Research*.
451. Vince, Joanna; Haward, Marcus (2017). Hybrid governance of aquaculture: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Management*.
452. Wang, Chien Ming; Ma, Mingyuan; Chu, Yunil; Jeng, Dong-Sheng; Zhang, Hong (2024). Developments in Modeling Techniques for Reliability Design of Aquaculture Cages: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*.
453. Wang, Shutian; Zhao, Qingliang; Jiang, Junqiu; Wang, Kun (2022). Insight into the organic matter degradation enhancement in the bioelectrochemically-assisted sludge treatment wetland: Transformation of the organic matter and microbial community evolution. *Chemosphere*.
454. Wang, Xinxin; Olsen, Lasse; Reitan, Kjell; Olsen, Yngvar (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*.
455. Warne, Michael St John (2000). Description of how each toxicant trigger value was derived.
456. Warwick, Richard M.; Robert Clarke, K.; Somerfield, Paul J. (2010). Exploring the marine biotic index (AMBI): variations on a theme by Ángel Borja. *Marine Pollution Bulletin*.
457. Wassmann, P.; Svendsen, H.; Keck, A.; Reigstad, M. (1996). Selected aspects of the physical oceanography and particle fluxes in fjords of northern Norway. *Journal of Marine Systems*.
458. Weise, Andrea M.; Cromeey, Chris J.; Callier, Myriam D.; Archambault, Philippe; Chamberlain, Jon; McKindsey, Christopher W. (2009). Shellfish-DEPOMOD: Modelling the biodeposition from suspended shellfish aquaculture and assessing benthic effects. *Aquaculture*.
459. White, C. A.; Nichols, P. D.; Ross, D. J.; Dempster, T. (2017). Dispersal and assimilation of an aquaculture waste subsidy in a low productivity coastal environment. *Marine Pollution Bulletin*.
460. White, Camille A.; Bannister, Raymond J.; Dworjanyn, Symon A.; Husa, Vivian; Nichols, Peter D.; Kutti, Tina; Dempster, Tim (2017). Consumption of aquaculture waste affects the fatty acid metabolism of a benthic invertebrate. *The Science of the Total Environment*.



461. White, Camille A.; Dworjanyn, Symon A.; Nichols, Peter D.; Mos, Benjamin; Dempster, Tim (2016). Future aquafeeds may compromise reproductive fitness in a marine invertebrate. *Marine Environmental Research*.
462. White, Camille; Bannister, Raymond; Dworjanyn, SA; Husa, Vivian; Nichols, Peter; Dempster, Tim (2018). Aquaculture-derived trophic subsidy boosts populations of an ecosystem engineer. *Aquaculture Environment Interactions*.
463. Wild-Allen, Karen; Herzfeld, Mike; Thompson, Peter A.; Rosebrock, Uwe; Parslow, John; Volkman, John K. (2010). Applied coastal biogeochemical modelling to quantify the environmental impact of fish farm nutrients and inform managers. *Journal of Marine Systems*.
464. Wild-Allen, Karen; Thompson, Peter A.; Volkman, John K.; Parslow, John (2011). Use of a coastal biogeochemical model to select environmental monitoring sites. *Journal of Marine Systems*.
465. Wilding, Thomas A.; Cromey, Chris J.; Nickell, Thom D.; Hughes, David J. (2012). Salmon farm impacts on muddy-sediment megabenthic assemblages on the west coast of Scotland. *Aquac. Environ. Interact.*
466. Wildish, D.; Akagi, H.M.; Hamilton, N.; Hargrave, B.T. (1999). A recommended method for monitoring sediments to detect organic enrichment from mariculture in the Bay of Fundy.
467. Wildish, D.; Hargrave, B.T.; Pohle, Gerhard (2001). Cost-effective monitoring of organic enrichment resulting from salmon mariculture. *ICES Journal of Marine Science – ICES Journal of Marine Science D. J. Wildish: Fisheries and Oceans Canada Biological Station*.
468. Wilson, Averil; Magill, Shona; Black, Kenny (2009). Review of environmental impact assessment and monitoring in salmon aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 527..*
469. Wirsén, C. O.; Sievert, S. M.; Cavanaugh, C. M.; Molyneaux, S. J.; Ahmad, A.; Taylor, L. T.; DeLong, E. F.; Taylor, C. D. (2002). Characterization of an Autotrophic Sulfide-Oxidizing Marine *Arcobacter* sp. That Produces Filamentous Sulfur. *Applied and Environmental Microbiology*.
470. Woodcock, S. H.; Strohmeier, T.; Strand, Ø; Olsen, S. A.; Bannister, R. J. (2018). Mobile epibenthic fauna consume organic waste from coastal fin-fish aquaculture. *Marine Environmental Research*.
471. Woodcock, Skye; Troedsson, Christofer; Strohmeier, Tore; Balseiro, P; Skaar, Katrine; Strand, Øivind (2017). Combining biochemical methods to trace organic effluent from fish farms. *Aquaculture Environment Interactions*.
472. Yakushev, Evgeniy V.; Wallhead, Philip; Renaud, Paul E.; Ilinskaya, Alisa; Protsenko, Elizaveta; Yakubov, Shamil; Pakhomova, Svetlana; Sweetman, Andrew K.; Dunlop, Kathy; Berezina, Anfisa; Bellerby, Richard G. J.; Dale, Trine (2020). Understanding the Biogeochemical Impacts of Fish Farms Using a Benthic-Pelagic Model. *Water*.
473. Yakushev, Evgeniy V.; Wallhead, Philip; Renaud, Paul E.; Ilinskaya, Alisa; Protsenko, Elizaveta; Yakubov, Shamil; Pakhomova, Svetlana; Sweetman, Andrew K.; Dunlop, Kathy; Berezina, Anfisa; Bellerby, Richard G. J.; Dale, Trine (2020). Understanding the Biogeochemical Impacts of Fish Farms Using a Benthic-Pelagic Model. *Water*.
474. Yang, Xiao-e; Wu, Xiang; Hao, Hu-lin; He, Zhen-li (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*.
475. Zamora, Leonardo Nicolas; Yuan, Xiutang; Carton, Alexander Guy; Slater, Matthew James (2018). Role of deposit-feeding sea cucumbers in integrated multitrophic aquaculture: progress, problems, potential and future challenges. *Reviews in Aquaculture*.



476. Zhang, Anguo; Gu, Yanbin; Yuan, Xiutang; Brustolin, Marco C.; Yang, Xiaolong; Zhang, Rongliang; Wang, Zhiwen; Shi, Honghua (2022). Benthic Habitat Quality Assessment in Estuarine Intertidal Flats Based on Long-Term Data with Focus on Responses to Eco-Restoration Activity. *Water*.
477. Zhang, Dengjun; Sogn-Grundvåg, Geir; Tveterås, Ragnar (2023). The impact of parasitic sea lice on harvest quantities and sizes of farmed salmon. *Aquaculture*.
478. Zhang, Junbo; Kitazawa, Daisuke (2015). Numerical analysis of particulate organic waste diffusion in an aquaculture area of Gokasho Bay, Japan. *Marine Pollution Bulletin*.
479. Zhao, Q; Huang, H; Zhu, Y; Cao, M; Zhao, L; Hong, X; Chu, J (2022). Analysing ecological carrying capacity of bivalve aquaculture within the Yellow River Estuary ecoregion through mass-balance modelling. *Aquaculture Environment Interactions*.
480. Zhou, Yi; Yang, Hongsheng; Hu, Haiyan; Liu, Ying; Mao, Yuze; Zhou, Hua; Xu, Xinling; Zhang, Fusui (2006). Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China. *Aquaculture*.
481. Zhulay, Irina; Reiss, Katrin; Reiss, Henning (2015). Effects of aquaculture fallowing on the recovery of macrofauna communities. *Marine Pollution Bulletin*.



ANEXOS

Anexo 1. Actas de reuniones de coordinación.

Reuniones de coordinación con SUBPESCA

Estas reuniones se realizaron entre el equipo de trabajo del IFOP y la contraparte técnica de SUBPESCA y tuvieron como finalidad realizar acuerdos sobre la metodología que se implementará para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto y acuerdo de entrega de información por parte de SUBPESCA al IFOP para facilitar y agilizar el cumplimiento de los objetivos. Se detallan a continuación los ítems conversados durante las reuniones y los acuerdos finales:

Acta Reunión de Coordinación N°1

Fecha de reunión: 23 de agosto de 2023 (10:30 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Valparaíso:

- Cristian Acevedo (Subpesca)
- Carolina Molina (Subpesca)
- Malú Zavando (FIPA Subpesca)

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)

2. Objetivo:

Presentar el plan de trabajo, metodologías y procedimientos del estudio. Coordinar las actividades a realizar con el representante de FIPA y las contrapartes técnicas de Subpesca.

3. Temas tratados:

- La reunión inicia con la intervención de Malú Zavando del FIPA Subpesca entregando información de índole administrativo, acorde a los procedimientos que utilizan los estudios FIPA para el desarrollo de los proyectos.
- Jurleys Vellojin del IFOP realizó presentación del proyecto adjudicado, en la que se incluyeron los antecedentes del estudio, objetivos, resumen metodológico de cada una de las actividades, equipo de trabajo y carta Gantt.
- Cristian Acevedo de Subpesca indica que tiene fijada otra reunión, y que existen bastantes observaciones a lo propuesto, lo cual debe quedar consensuado en una próxima reunión, indicando además que ellos cuentan con bastante información de interés al proyecto y que existen las voluntades de compartirla. Además, se espera se generen instancias de apoyo para poder disminuir los tiempos de búsqueda de información.
- Malu, expresa que no existen inconvenientes de parte del FIPA, en que se logren instancias colaborativas con Subpesca, por lo que se deja la posibilidad de sostener reuniones entre la contraparte técnica e IFOP, velando por hacer partícipe al FIPA en todas las reuniones que sean de carácter resolutivo.



- Cristian Acevedo expresa que todo lo relativo a trámites administrativos se ven directamente con el FIPA (Malu) y que ellos no se responsabilizan de los inconvenientes en esa área.

4. Principales acuerdos:

- Finalizada la presentación, se acordó en conjunto entre los asistentes realizar una reunión la semana del 28 de agosto con el fin de realizar preguntas de la metodología del proyecto, aclarar dudas, realizar observaciones y determinar acuerdos metodológicos, considerando el corto tiempo restante por problemas logísticos con la plataforma Microsoft Teams que se tuvieron al inicio de la reunión.
- Queda establecido que los temas administrativos y cumplimiento de plazos son de exclusiva responsabilidad de la interacción directa entre FIPA (Malu) e IFOP, y que para la parte técnica todas las consultas se pueden realizar directamente a Subpesca (Cristian o Carolina Molina).
- Por parte de IFOP queda establecido que Carolina Sotomayor actuará en lo relativo a temas administrativos y envío de documentación, mientras que para todo lo demás y aspectos técnicos serán responsabilidad de la jefa de proyecto (Jurleys).
- Carolina Molina con Cristian Acevedo fijarán la reunión y enviarán las invitaciones vía correo electrónico, previa comunicación a la jefa de proyecto Jurleys Vellojin, la cual debe ejecutarse la semana del 28 de agosto.

Acta Reunión de Coordinación N°2

Fecha de reunión: 30 de agosto de 2023 (11:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Valparaíso:

- Cristian Acevedo (Subpesca)
- Carolina Molina (Subpesca)
- Pamela Vasquez Yañez (Subpesca)

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Heraldo Contreras (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)
- Pamela Ramirez (IFOP)

2. Objetivo:

Coordinar las actividades a realizar del proyecto FIPA 202311 con las contrapartes técnicas de Subpesca.

3. Temas tratados:

- Cristian Acevedo de Subpesca inicia la reunión con una revisión de la parte introductoria de la presentación del proyecto que fue realizado en la reunión anterior por Jurleys Vellojin del IFOP. Realizando algunas observaciones sobre la línea de tiempo de Regulaciones Relevantes para el sector acuícola, sugiriendo correcciones de fechas de los reglamentos presentados, indicando que se debe incorporar tanto las fechas del decreto como fecha de publicación. También sugiere que se adicione a esta línea de tiempo el reglamento que

autoriza los mecanismos físicos, destinados a modificar las condiciones de oxígeno del área de sedimentos y fija los requisitos y condiciones para uso, el cual fue publicado recientemente en la Res. Ex.N°1141/2'023 Jurleys indica que está es una línea de tiempo preliminar que se modifica a medida que avanzamos en la revisión de la información.

- Cristian Acevedo continúa realizando una revisión de los objetivos del proyecto, realizando sugerencias sobre cómo debería estar enfocada la metodología para dar cumplimiento a los objetivos. Sobre el objetivo general indica que la finalidad es conocer el estado del arte a nivel mundial sobre los modelos de evaluación ambiental y los mecanismos para disminuir o eliminar sedimentación y por ende materia orgánica.
- Sobre el objetivo 1, Cristian Acevedo indica que se debería plantear realizar una revisión de las metodologías más modernas de medición de evaluación ambiental, definió como importante la evaluación sobre qué parámetros químicos y biológicos son relevantes para cada país según los estudios disponibles, y cómo cada país considera sus propios márgenes de aceptabilidad según el enfoque que su propia legislación para la acuicultura. Por ejemplo, Canadá utiliza los sulfuros como parámetro principal de medición, sin embargo, ellos declaran los lugares de emplazamiento de la acuicultura como sectores de sacrificio, a diferencia de la legislación chilena, que declara que la actividad debe desarrollarse en armonía con el medio ambiente. También, se planeó evaluar cuales son los parámetros relevantes de incluir en los monitoreos, cuales son nuestros márgenes de aceptabilidad y qué medidas tomamos para la mitigación, posterior a una mala evaluación ambiental. En Chile, indica Cristian Acevedo, ante una mala evaluación ambiental se cierra la producción y se procede a trabajos en mitigación hasta que vuelva al mejor estado posible según la evaluación ambiental. Se desarrolló la idea respecto a que la norma chilena es reactiva, ya que las medidas se toman de manera posterior a una mala evaluación ambiental, estos aspectos se están evaluando en la nueva ley de desechos orgánicos en los fondos, para que también haya medidas preventivas.
- Herald Contreras del IFOP indica si es posible ir más allá de las variables ambientales incluida en el reglamento ambiental en Chile. Enfocándonos en nuevas variables ambientales como el sulfuro entre otros. También indica sobre que en la actualidad existen inconvenientes con la metodología de monitoreo y análisis de esta variable.
- Cristian Acevedo indica que puede existir una libertad ante los márgenes del proyecto, la idea es proponer todas las posibilidades disponibles actualmente para generar un mejoramiento en la evaluación ambiental y de mitigación. Posteriormente y fuera del proyecto, se evaluará si estas medidas son viables o no para su ejecución, y en caso de establecer que no son viables, se pueden tener en consideración para un futuro, en el que el desarrollo de tecnologías pueda permitirlos. También solicita tener en consideración la búsqueda de alternativas para la evaluación ambiental para centros de categoría 4, los centros categoría 4 son los que presentan el nivel de anaerobia más alto, respecto a los centros de otras categorías. Se indica que se encuentra en postulación un FIPA 2023-15, proyecto relacionado a INFA cat.4, que va en concordancia con los objetivos de este estudio, y se espera que una vez adjudicado se puedan realizar reuniones cruzadas, a fin de optimizar recursos sobre todo en lo que respecta a búsqueda de información.
- También comentó que, conectado con el decreto 45, se está diseñando una resolución acompañante para hacer una diferenciación en la evaluación ambiental de los sectores con APE, respecto a los que no son APE.
- Respecto al objetivo 2: Se sintetizó en que es la consolidación, respecto a mecanismos, sobre los estudios e investigaciones recolectadas en el objetivo 1.
- Con respecto al objetivo 3: Se planteó que lo que busca este objetivo es el análisis de mecanismos y procedimientos para evitar o disminuir la sedimentación al fondo marino de materia orgánica. El enfoque de la ley 21410, en primera instancia es evitar la acumulación de materia orgánica, y si no es posible, realizar los trabajos de mitigación y/o recuperación. Actualmente hay varias iniciativas para la recolección de la materia orgánica, múltiples

empresas estudian la utilización de conos de recolección, control de alimentos, cámaras inteligentes que controlan el proceso de alimentación, cúpulas que encierran los cultivos, entre otros. Los proyectos que puedan ser compartidos, se compartirán con el equipo de trabajo, para complementar con el proyecto.

- Se hicieron acotaciones respecto a proponer una evaluación diferenciada entre los centros que se encuentran dentro de áreas protegidas, y los que se encuentran en otros lugares.
- Se reiteró el apoyo a no cerrarse frente a propuestas nuevas de evaluación ambiental no consideradas en el RAMA, se mencionó la integración de nutrientes como una variable a considerar, pero también teniendo en cuenta que es un parámetro que se ve influenciada no solo por la acuicultura, sino por otros procesos.
- Se planteó también el cuestionamiento de que la evaluación ambiental se realiza suponiendo que el lugar impactado es solo bajo la balsa jaula. Con los estudios actuales se sabe que el impacto traspasa los márgenes de la balsa jaula, se plantea el cómo se pueden medir estos impactos y cómo se puede plasmar legislativamente.
- Se planeó evaluar las facultades para regular del artículo 87 y 34 del reglamento de pesca, qué elementos que están facultados a regular, hoy no lo se regulan.
- También se buscó instar a la evaluación de los respaldos metodológicos mínimos que necesita una empresa para presentar una propuesta de remediación, qué características y respaldos debe tener esta propuesta, con el fin de que ayude en un futuro a la nueva ley de pesca.

4. Principales acuerdos:

- Finalizada las sugerencias realizadas por Cristian Acevedo de Subpesca, se acordó en conjunto entre los asistentes, realizar una reunión en el mes de noviembre antes de la entrega del pre-informe de diciembre.
- Se acordó coordinar una reunión para una presentación detallada de la Resolución Exenta N° 1141, que autoriza el uso de determinados mecanismos físicos destinados a modificar las condiciones de oxígeno del área de sedimentación bajo una concesión de acuicultura. elaborado por Carolina Molina y Pamela Vásquez Yañez de Subpesca, la cual idóneamente se realizará en octubre.
- Subpesca se comprometió en un plazo prudente (3 semanas app) que realizará la compilación y búsqueda de información relevante, la cual será puesta a disposición de IFOP a fin de poder optimizar el tiempo de búsqueda de información tanto para el obj.1 y 2.
- Por su parte IFOP deberá solicitar antecedentes referidos a proyectos ejecutados que tienen que ver con INFA cat.4, lo anterior debe ser realizado mediante el portal de transparencia activa de la SUBPESCA.
 - <https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/directorio-de-organismos-regulados/?org=AH002>
- Se deja abierta la posibilidad de reuniones extraordinarias, para poder clarificar dudas o solicitar apoyo.

Acta Reunión de Coordinación N°3

Fecha de reunión: 17 de octubre de 2023 (10:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Valparaíso:

- Carolina Molina (Subpesca)
- Pamela Vásquez Yañez (Subpesca)



En Castro - Puerto Montt:

- Heraldo Contreras (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Jurleys Vellojin (IFOP)

2. Objetivo:

Presentación detallada de la Resolución Exenta N° 1141 por la contraparte técnicas de Subpesca

3. Temas tratados:

- La reunión inició con la presentación R. EX N°1141-2022: Resolución que autoriza los mecanismos físicos, destinados a modificar las condiciones de oxígeno del área de sedimentación y fija los requisitos y condiciones para su uso, en conformidad al artículo 8 bis del d.s. N°320 de 2001, del ministerio de economía, fomento y turismo, realizada por Pamela Vásquez Yáñez de Subpesca. Al finalizar la presentación se realizaron algunas consultas por parte del equipo de IFOP para complementar la información entregada por parte de Subpesca.
- También esta reunión se aprovechó para recordar los compromisos de Subpesca de compartir información que se encuentran en el acta de reunión N°2 y se acordaron plazos de entrega.

Acta de reunión N°4

Fecha de coordinación: 4 – 15 de abril 2024

1. **Coordinación por:** Johana (IFOP) y Carolina Molina (Subpesca)
2. **Objetivo:** Coordinar actividades que se realizaría en la visita a Centro de Investigación
3. **Temas:** Propuesta de actividades durante la vista, fechas de viajes y entrevista a investigadores que trabajan en las temáticas asociadas a esta visita.

Reuniones Técnicas

Acta Reunión de Equipo N°1

Fecha de reunión: 12 de septiembre de 2023 (10:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Heraldo Contreras (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Johana Ojeda



2. Objetivo:

Coordinar las actividades a realizar del proyecto FIPA 202311 entre el grupo

3. Temas tratados y Principales acuerdos:

- Se realizó una revisión del cronograma de actividades, las fechas comprometidas y las actividades asignadas por persona.
- Se socializaron formato y formulario a utilizar durante el proyecto. Se acordó revisar y realizar comentarios de mejoras de los formularios de solicitud de información a personas que trabajan en área asociada a los objetivos del proyecto. Carpeta drive: Proyecto FIPA2023/Desarrollo_FIPA_2023-11/Encuesta_SolicitudDeInformación. Acordamos realizar esto durante esta semana del 12 al 15 de septiembre
- Carolina y Johana asistirán a feria de acuicultura InnAqua que se realizará en Puerto Varas del 26 al 28 de septiembre para poder tener un acercamiento con personas que pueden ser posibles asistentes nacionales e internacionales del taller o tener información sobre nuevas tecnologías para la remoción o prevención de sedimentación en fondos. Está una lista de participante los cuales podemos ir revisando en que trabajan para evaluar cuales son los seleccionados para contactar durante este evento: Lars Ebbesson de NORCE, Noruega; Kjell Maroni de FHF, Noruega; Lynne Falconer, de la Universidad de Stirling, Escocia; Robbert Blonk, de HENDRIX Genetics, Holanda; Martin Haberfield, de MSD Animal Health, Escocia; Claire Bomkamp, GFI, Estados Unidos; y Carlos Fajardo de Universidad de Cádiz, España. Por la parte local estarán presentes Esteban Ramírez, de INTESAL; Francisco Bravo de CSIRO; Pedro Santana de Patagonia ROV; Daniel Vega de DVS Tecnologías; Pablo Leyton de CEA – Salmofood; Hans Kossmann de Salmoclinic, Chile; Fernando Flores de ELANCO; Javiera Cornejo (de CASA) y José Manuel Yáñez (de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias), ambos de la Universidad de Chile; y Sandra Marín de la Universidad Austral de Chile.
- Se socializo las carpetas con tablas Excel resumen, donde se va a ir recolectando información relevante de los documentos descargados en zotero. Acordamos que a medida que se van subiendo los documentos a ZOTERO se va a ir realizando una lectura y selección de información para agregar en estas tablas. Además, se realizará una revisión detallada de estas tablas para evaluar agregar nuevos ítems importantes y relevantes para cumplir los objetivos de este proyecto.
- Carolina y Johana modificaron y organizaron la tabla Excel: Objetivo 2. Descripción de las funciones de cada mecanismo o tecnología. Agregar nuevos ítems importantes a su consideración.
- Pamela modifica y organiza la tabla Excel: Objetivo 1. Ficha _informaciones normativas del programa de evaluación de condiciones ambientales. Pamela será apoyada por Heraldo en la revisión y sugerencias de modificación.
- Vladimir y Jurleys modifican y organizan la tabla Excel: Objetivo 1. Ficha con todos indicadores ambientales. Osvaldo colaborará con revisiones y sugerencias.
- También se conversó sobre la tabla Excel: Listas _correo para encuestas de solicitud de información, acordando agregar en esta todos los posibles contactos a enviar la encuesta de solicitud de información.
- También se discutió sobre realizar el primer contacto con los expertos que estarán en el taller de discusión de las propuestas de dos objetivos de este proyecto. Pamela y Johana tendrán una reunión con un especialista en análisis de sulfuro con espectrofotometría de Canadá y utilizarán la ocasión para comentarle sobre nuestro proyecto y la posibilidad de su participación en el taller. Por otro lado, Jurleys envió un correo a Sandra Marín para conversar con ella del proyecto. Se acordó que Vladimir contacte a las personas de España que se encuentran en la lista de expertos en la propuesta del proyecto para coordinar una



posible reunión. Johana por otra parte contactara a Doris Soto y Jurleys contactar a Renato Quiñones. En primera instancia se organizó una comisión para tener la reunión con Sandra, Doris y Renato conformada por Heraldito, Johana y Jurleys. Para esto tenemos también en tabla Excel para ingresar información relevante de cada experto y su confirmación de participación.

- Se acordó que Jurleys realizaría un recordatorio a Cristian Acevedo de la información pendiente a compartir.
- Vladimir y Heraldito compartieron una tabla de normativas de acuicultura para actualizar, se encuentra también en la carpeta tablas resumen.
- Al regreso Elizabeth de su licencia médica, se solicitará su colaboración en la realización de una tabla de Excel o un documentos con ítems de información que necesitas para realizar el presupuesto de la propuestas, esto porque en este mes estamos realizando reuniones con entidades, por ejemplo que tienen tecnologías y mecanismos de prevención y remoción acumulación de sedimentos y estamos solicitando información técnica, pero también queremos solicitar información de costos, por lo cual sería bueno como tener información puntual o pregunta claves que nos permita solicitar la información que se necesitas para hacer los presupuestos de las propuestas, para nosotros poder hacer encuestas y solicitudes formales de información.
- Vladimir y Jurleys, enviar formularios de solicitud información <https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/directorio-de-organismos-regulados/?org=AH002>

Acta Reunión de Equipo N.º 2

Fecha de reunión: 25 de septiembre de 2023 (15:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Heraldito Contreras (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Johana Ojeda

2. Objetivo:

Realizar un tutorial de zotero a todos los integrantes del grupo que participan en el proyecto

3. Temas tratados:

La reunión inició con una introducción de la herramienta zotero por parte de Jurleys Vellojin. Posteriormente se procedió a realizar la instalación de la herramienta zotero en los computadores de cada integrante del grupo. Finalmente se creó un grupo en línea FIPA202311 en la plataforma de zotero donde todo el equipo puede trabajar simultáneamente en el almacenamiento y revisión de los documentos encontrados en la red.

4. Principales acuerdos:

Se acordó que por cada documento almacenado en zotero se realizará una lectura y posterior nota de los principales aspectos importantes del documento y además colocar una etiqueta que permita agrupar los documentos por temas de interés en la plataforma zotero.



Acta Reunión de Equipo N°3

Fecha de reunión: 24 de octubre de 2023 (10:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Johana Ojeda (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)

2. Objetivo:

Revisión de avances de actividades del proyecto FIPA 202311 entre el grupo:

3. Temas tratados:

- Pamela y Johana nos conversaron sobre los temas relevantes tratados en reunión con el Dr. Peter Cranford.
- Carolina y Johana nos conversaron sobre su participación en InnAqua.
- Se acordó que Johana viajará al centro de investigación en Noruega en marco de unas de las actividades del objetivo 3: Visita a centro de investigación o centro de cultivo internacional.
- Se conversó sobre los adelantos en la revisión de las normativas internacionales de países: Noruega, Escocia, Canadá, Nueva Zelanda y Australia.
- Se revisó el avance en el almacenamiento de documentos en Zotero y algunas sugerencias para mejorar la gestión de almacenamiento de la información.
- Se realizó una revisión general de los avances de actividades a cargo de cada integrante del grupo.

Acta Reunión de Equipo N°4

Fecha de reunión: 17 de noviembre de 2023 (10:00 hrs)

3. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Johana Ojeda (IFOP)

4. Objetivo:

Coordinar las actividades para realización informe de avance del proyecto FIPA 202311 entre el grupo:

1. Temas tratados:

Fechas importantes:



- 15 noviembre reunión, revisar adelanto del informe final
- 30 noviembre borrador de informe para revisión
- 04 diciembre informe final con correcciones
- 06 diciembre entrega de informe de avance final para revisión por Alejandra Oyanedel

Estructura del informe de avance

En este informe se acordó incluir los siguientes ítems:

- Actas de reuniones técnicas incluyendo las de Subpesca y las de grupo - Actividad a realizar por Jurleys
- Tabla informativa de reunión con experto - Actividad a realizar por Carolina, Pamela, Johana y Jurleys
- Tabla con recuento de documentos revisados a la fecha y entregados por Subpesca - Actividad a realizar por Carolina, Pamela y Jurleys
- Copia de anexos de documentos - Actividad a realizar por Jurleys
- Programa de entrevista y carta tipo de resumen de información - Actividad a realizar por Carolina y Johana
- Tabla resumen información de tecnologías disponible (Información obtenida del INACUA) - Actividad a realizar por Carolina y Johana
- Tabla con revisión de patentes - Actividad a realizar por Jurleys
- Tabla o resumen de normativas revisadas hasta la fecha - Actividad a realizar por Pamela y revisada por Herald
- Tabla de tipo de clasificación de información - Actividad a realizar por Vladimir

Acta Reunión de Equipo N°5

Fecha de reunión: 30 de noviembre de 2023 (:00 hrs)

1. Asistencia (mediante videoconferencia):

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Johana Ojeda (IFOP)
- Osvaldo Artal (IFOP)

2. Objetivo:

Revisión del informe de avance; consideraciones finales

3. Temas tratados:

Se realizó una revisión detallada del documento borrador del informe de avance, se discutieron mejoras y se realizaron sugerencias de información adicional a integrar en el informe. Se revisó el formato solicitado por Subpesca, se asignaron actividades a cada integrante del grupo. Entre ellas:

Realización resumen ejecutivo por Herald Contreras

Realización revisión de antecedentes por Vladimir Murillo objetivo 1 y Carolina Sotomayor objetivo 2

Extender información entregada en el objetivo 1 por Pamela Ramírez



Revisión del Borrador del informe de avance completo por todo el equipo
Revisión detallada de la información del objetivo 1 por Jurleys Vellojin
Revisión detallada de la información del objetivo 2 por Carolina Sotomayor y Johana Ojeda
Organización del documento final y envío a la Jefatura de Departamento de Medio Ambiente IFOP por Jurleys Vellojin

Acta Reunión de Equipo N°6

1. **Fecha de reunión semanales:** Desde enero hasta octubre del 2024

2. **Asistencia (mediante videoconferencia):**

En Castro - Puerto Montt:

- Jurleys Vellojin (IFOP)
- Vladimir Murillo (IFOP)
- Pamela Ramírez (IFOP)
- Carolina Sotomayor (IFOP)
- Johana Ojeda (IFOP)
- Rodrigo Jaramillo (IFOP)
- Heraldo Contreras (IFOP)
- Elizabeth Palta (IFOP)

3. **Objetivo:**

Revisión de avances de las actividades para el taller de experto y entrega del informe final; consideraciones finales

4. **Temas tratados:**

Se realizó una revisión semanal detallada de las actividades comprometidas para el informe final, se discutieron mejoras para los entregables del informe final para cada objetivo y se realizaron sugerencias para continuar abordando semanalmente. En cada reunión se coordinaba avances a entregar. Entre actividad:

Objetivo 1.

- Análisis de la bibliografía de la información de Zotero
- Revisión de resultados de análisis de la bibliografía de Zotero
- Revisión de modelos de evolución ambiental de Chile, Noruega, Escocia y Canadá
- Levantamiento, acuerdo y conclusiones sobre las propuestas de modificaciones al modelo de evolución ambiental y variables del monitoreo solicitados para el INFA

Objetivo 2.

- Revisión de tecnologías y mecanismos
- Reuniones con integrantes de la industria y prestadores de servicio
- Propuesta de tecnología o mecanismo

Objetivo 3.

- Vistas a centro de investigación extranjero
- Organización del taller de experto
- Propuesta y análisis



Anexo 2. Reuniones con Expertos

El proyecto contempla una serie de reuniones con personas expertas en el ámbito de normativas de evaluación ambiental y mecanismo o tecnología de eliminación o remoción de sedimento y por ende M.O. Estas reuniones preliminares fueron realizadas con fin de presentar el proyecto FIPA 202311 a los expertos que participaran en la discusión de la propuesta final del proyecto. A continuación, se detallan; los nombres de los expertos contactados a la fecha, algunos acuerdos y aspectos conversados durante las reuniones.

Nº1

Nombre: Peter Cranford

Institución: Instituto Bedford de Oceanografía

E-mail: Peter.Cranford@outlook.com

Rol (ej. en qué área participará): Modelos de evaluación ambiental.

Experiencia (corta descripción): Peter es integrante del grupo Working Group on Application of Genetics in Fisheries and Aquaculture (WGAQUA) del International Council for the Exploration of the Sea (ICES), en el Instituto Bedford de Oceanografía y es colaborador editor de la revista Aquaculture Environment Interactions. Actualmente en St. Andrews Biological Station está trabajando en un nuevo programa de investigación sobre las interacciones de los ecosistemas con la acuicultura.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Indicadores ambientales, Métodos espectrofotométrico para análisis de sulfuro en sedimentos

Confirmación participación (si): Se realizó una reunión el día 12/11/2023 donde se discutió sobre los detalles de la metodología de detección de sulfuros por espectrofotometría UV, implementados en sus trabajos Cranford et al., 2017 y 2020. Se acordó que tenía disponibilidad para un encuentro online con el fin de asesorar respecto a monitoreos ambientales.

Nº2

Nombre: Sandra Marín

Institución: Universidad Austral de Chile

E-mail: smarin@uach.cl

Rol (ej. en qué área participará): Modelos de evaluación ambiental

Experiencia (corta descripción): Sandra es Profesora de la Universidad Austral de Chile, directora del programa de acuicultura e integrante del comité científico técnico de acuicultura. Ha participado en una serie de proyectos relacionados con modelos de evaluación ambiental

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Indicadores ambientales; AMBI

Confirmación participación (si): Se realizó una reunión preliminar (12/10/2023) donde se presentó la metodología cómo se llevará a cabo el proyecto FIPA202311. También se acordó la participación de Sandra Marín en la revisión de la propuesta y se acordó compartir información de proyectos liderados por ella y en los cuales ha participado relacionado con los temas de interés del proyecto.

Nº3

Nombre: Alejandro Buschmann

Institución: Universidad de los Lagos

E-mail: abuschma@ulagos.cl

Rol (ej. en qué área participará): Acuicultura sustentable

Experiencia (corta descripción): Alejandro es Biólogo Marino de la Universidad de Concepción y Doctor en Biología, mención Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Hoy ejerce como profesor titular en el Centro de investigación I-mar de la Universidad de Los Lagos y es Investigador titular del Programa Basal de ANID (Centro Biotecnología y Bioingeniería-CeBiB) e Investigador



Senior del Núcleo Milenio de Agronomía Marina (MASH). Posee más de 160 artículos científicos en diferentes aspectos de la ecología y cultivo de algas marinas y en acuicultura sustentable.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Indicadores ambientales

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº4

Nombre: Claire Bomkamp

Institución: The Good Food Institute

E-mail: claireb@gfi.org

Rol (ej.. en qué área participará): Ciencia y tecnología en cultivo de salmón

Experiencia (corta descripción): Claire se desempeña como Científica Principal, con Especialización en Cultivo celular de Carne y seafood. Miembro de la iniciativa de seafood sustentable del Good Food Institute de Estados Unidos. Su trabajo se enfoca en analizar el panorama técnico de la industria, e involucrar a los investigadores para el progreso de la tecnología en cultivos marinos. Posee un Doctorado en neurociencia de la Universidad de British Columbia y un Bachelor en

neurociencia del comportamiento de la Universidad de Western Washington

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Tecnología

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº5

Nombre: Adolfo Albial

Institución: Club de Innovación Acuícola

E-mail: adolfoalbial@gmail.com

Rol (ej.. en qué área participará): Acuicultura sustentable

Experiencia (corta descripción): Adolfo es Biólogo, especializado en biología marina de la Universidad de Chile; Master of Science de Oregon State University, MBA de la Universidad Adolfo Ibáñez. Consultor internacional en I+D+i en Acuicultura, director ejecutivo del Club Innovación Acuícola y de ORBE XXI. Director regional de Corfo X Región, director del Área Técnica de Marine Harvest Chile, Gerente General del Instituto Tecnológico del Salmón, Director del área de acuicultura de Fundación Chile, Directivo y académico en universidades del país y Consultor de la FAO, el Banco Mundial y gobiernos de Chile, Perú, México y Argentina.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Tecnología

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº6

Nombre: Daniel Vega Salinas

Institución: DVS Technology

E-mail: dvega@dvstecnologia.cl

Rol (ej.. en qué área participará): Desarrollo tecnológico en la industria acuícola

Experiencia (corta descripción): Daniel es Técnico Marino de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Patrón de Pesca Costera. Cuenta con 44 años de experiencia profesional. Capitán de Nave Pesquera (pesca de cerco); jefe de Flota y Contratista de Obras Marítimas. Desde 1997 se ha dedicado a la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) relacionada con ciencia, ingeniería y



tecnología, orientando su trabajo a implementar tecnologías aplicadas en la conservación ambiental de sedimentos marinos y de aguas continentales en áreas de acuicultura. Ha obtenido patentes de invención en USA, Canadá y Chile.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Tecnología

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº7

Nombre: Francisco Bravo

Institución: CSIRO

E-mail: francisco.bravo@csiro.au

Rol (ej.. en qué área participará): Modelador ecológico

Experiencia (corta descripción): Francisco es modelador ecológico y gerente de proyectos de CSIRO Chile Research. Su trabajo se enfoca en el manejo, monitoreo y modelación de sistemas socio-ecológicos y productivos en zonas costeras, con énfasis en acuicultura. Su objetivo principal es aplicar ese conocimiento para promover el uso sostenible de los recursos costeros en beneficio de las futuras generaciones.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Indicadores ambientales

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº8

Nombre: Linne Falconer

Institución: Instituto de Acuicultura de la University of Stirling, Escocia.

E-mail: lynne.falconer1@stir.ac.uk

Rol (ej.. en qué área participará): Cambio climático en acuicultura

Experiencia (corta descripción): Lynne es investigadora en el Instituto de Acuicultura de la University of Stirling, Escocia. En Stirling, Lynne lidera un equipo de trabajo que investiga el impacto del cambio climático en la acuicultura y la identificación de posibles respuestas de adaptación al cambio climático. Lynne está particularmente interesada en cómo se pueden usar los datos y los modelos para respaldar la toma de decisiones dentro del sector de la acuicultura.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Indicadores ambientales

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº9

Nombre: Lars Ebbesson

Institución: Centro de Investigación de Noruega (NORCE)

E-mail: laeb@norceresearch

Rol (ej.. en qué área participará): Soluciones sostenibles y digitales para la acuicultura

Experiencia (corta descripción): Lars forma parte del Centro de Investigación de Noruega (NORCE) tiene una gran pasión por el desarrollo de soluciones sostenibles y digitales en todos los ámbitos de producción acuícola. Su investigación durante los últimos 30 años ha cubierto variados aspectos de ciencia básica y aplicada relacionados con la biología de peces, principalmente salmón. Ha integrado la neurociencia, la endocrinología, la fisiología y el comportamiento para abordar el efecto del entorno sobre el desarrollo, la esmoltificación, el estrés, el bienestar, la robustez, el comportamiento y el apetito de los peces. A lo largo de los años, ha dirigido numerosos centros,



redes y proyectos que reúnen a investigadores e industrias con un enfoque interdisciplinario para resolver los desafíos de la industria.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Tecnología

Confirmación participación (si): En INNAQUA 2023, logramos comentarle del presente estudio. Nos manifestó su interés en participar y apoyarnos en todo lo que se requiera, de manera remota o presencial en la medida de sus compromisos.

Nº8

Nombre: Doris Soto

Institución: “Interdisciplinary Center for Aquaculture Research” (INCAR)

E-mail: dorsoto@udec.cl

Rol (ej. en qué área participará): Evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura

Experiencia (corta descripción): es licenciada en Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y Doctora en Ecología del programa conjunto San Diego State University y Universidad de California Davis USA. Actualmente trabaja en “Interdisciplinary Center for Aquaculture Research” (INCAR) Centro FONDAP- ANID de la Universidad de Concepción. Su investigación está direccionada al enfoque ecosistémico de la acuicultura, cambio climático y gestión de los ecosistemas acuáticos a nivel global. También participa como consultor de la FAO, en el Consejo Asesor Técnico de WWF Chile y en el Comité Técnico Científico y Asesor para la prevención, control y erradicación de especies exóticas invasoras (COCEII) del Ministerio de Medio Ambiente. Actualmente tienen alrededor de más de 120 trabajos y artículos científicos.

Experto en indicadores específico o Tecnologías: Tecnología

Confirmación participación (si): Está interesada en participar del comité de experto.



Anexo 3. Lista de participantes por actividad, en atención a la metodología de trabajo.

Nombre	Profesión	Institución	Actividades realizadas
Jurleys Vellojin Furnieles	Profesional en Acuicultura, Doctora en Ciencias de la Acuicultura	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación de la ejecución del proyecto • Sistematización de la información en base de datos, objetivo 1 • Responsable del seguimiento y cumplimiento de los objetivos específicos 1, 2 y 3 • Coordinar reuniones con la contraparte de Subpesca • Coordinar reuniones de equipo de trabajo IFOP • Participación en reunión con expertos • Preparación de actas de reuniones • Elaboración de pre-informe
Heraldo Contreras Cifuentes	Biólogo Marino, Doctor en Ciencias Mención Sistemática y Ecología	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis y discusión de información objetivo 1 • Participación en reuniones con la contraparte Subpesca y grupo IFOP • Elaboración de pre-informe de final
Vladimir Murillo	Biólogo Marino, Magíster en Ciencias con Mención Zología	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis y discusión de información objetivo 1 • Revisión de la normativa chilena • Participación en reuniones con la contraparte Subpesca y grupo IFOP • Elaboración de pre-informe
Rodrigo Jaramillo		Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> • Participación en la elaboración de análisis de información del objetivo 1 y 2 • Realización de análisis bibliométrico • Participación en reuniones de grupo IFOP • Elaboración de pre-informe
Carolina Sotomayor	Ingeniero en Acuicultura Estudiante de Magister en Medioambiente y Bioseguridad en la Acuicultura.	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> • Validación presupuestaria, tramitación interna, creación centro de costos, solicitud y seguimiento de compras. • Recopilación y organización de información adquirida a través de encuestas con personal de industria. • Entrevistas presenciales con titulares de prestadores de servicios a la industria. • Participación en el seminario INNAQUA 2023. • Solicitud y análisis de información entregada por Subpesca. • Organización, gestión y realización de reuniones con experto: Plan de reuniones con expertos • Análisis de información. • Organización y sistematización de información • Elaboración de pre-informe



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

Pamela Ramírez	Bióloga Marina	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> ● Recopilación, sistematización y organización de la información de bases de datos bibliográficas, objetivo 1. ● Recopilación y síntesis de la información sobre normativa internacional, objetivo 1. ● Análisis de información y generación de propuestas, objetivo 3. ● Participación en reuniones con la contraparte Subpesca y grupo IFOP. ● Participación en reunión con expertos. ● Recopilación y organización de información adquirida a través de su participación en Simposio organizado por la South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO). ● Moderador en taller de difusión de resultados. ● Elaboración de pre-informe
Johana Ojeda	Bióloga Marina, Magister en Acuicultura	Instituto de Fomento Pesquero	<ul style="list-style-type: none"> ● Recopilación y organización de información adquirida a través de encuestas con personal de industria. ● Participación en reuniones con la contraparte Subpesca y grupo IFOP ● Entrevistas presenciales con titulares de prestadores de servicios a la industria. ● Participación en el seminario INNAQUA 2023. ● Solicitud y análisis de información entregada por Subpesca. ● Organización, gestión y realización de reuniones con experto: Plan de reuniones con expertos ● Análisis de información. ● Organización y sistematización de información ● Elaboración de pre-informe
Elizabeth Palta			<ul style="list-style-type: none"> ● Entrevistas presenciales con titulares de prestadores de servicios a la industria. ● Elaboración de análisis y propuesta económica ● Participación de grupo IFOP ● Elaboración del pre-informe



Anexo 4. Carta de solicitud colaboración.



Puerto Montt 06 de noviembre de 2023.

Estimad@:

Junto con saludar mediante la presente, le comento que el Instituto de Fomento Pesquero a través de su División de Investigación en Acuicultura se encuentra desarrollando el proyecto del Fondo de Investigación Pesquera (FIPA) titulado "Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos" (FIPA 2023-11).

Este estudio, en su primera etapa, está orientado a recopilar la información relacionada a enriquecimiento orgánico generado por la acuicultura (miticultura y salmonicultura). En este marco se requiere, información existente a nivel nacional que puedan ser consideradas dentro de los modelos o procesos de evaluación de la condición ambiental de los centros de cultivo.

Adicionalmente, y con el propósito de proponer una mejor metodología de disminución de sedimentación de M.O y recuperación de fondos adyacentes a la acuicultura. En este marco, también se requiere el acceso a información generada mediante proyectos asociados al desarrollo de tecnologías o mecanismos de reducción y remoción de sedimentos en fondos mediante estudios públicos o privados.

Nuestro proyecto apunta a generar un trabajo colaborativo para desarrollar un documento con una propuesta que permita actualizar y mejorar el modelo de evaluación ambiental de Chile. Con este fin, sería muy importante para nosotros concretar una reunión presencial u online con ud., dado que es imprescindible conocer la opinión de las personas que actualmente ejecutan medidas de innovación tecnológica, y así su desarrollo tecnológico pueda ser incorporado en la actualización de la normativa vigente.

¡Muchas gracias por su contribución!

Favor contactar a:

- Carolina.sotomayor@ifop.cl
- Iohana.ojeda@ifop.cl

Un cordial saludo,

Carolina Sotomayor

Investigador Dpto. Medio Ambiente – División de Acuicultura - IFOP



José Manuel Balmaceda 252
Puerto Montt



+56955375847



Carolina.sotomayor@ifop.cl



Anexo 5. Programa de la Conferencia INNAQUA 2023.

DÍA 02 - 27 DE SEPTIEMBRE

Apertura Expo Innaqua - 08:30 hrs. -
(Stands y Posters)

Sesión 02:
Variabilidad ambiental y cambio climático

08:55 a 10:30

- **Moderadora:**
Loreto Appel - Periodista Salmonexpert.
- **Pedro Sanzana. Patagonia ROV - Chile.**
Avances en robótica submarina y modelación hidrodinámica. Casos de aplicación.
- **Daniel Vega. DVS Tecnología - Chile.**
Mantenimiento de calidad ambiental de fondos marinos.
- **Francisco Bravo. CSIRO - Australia - Chile.**
Gestión integrada, basada en riesgos ambientales y sanitarios. El caso de la salmonicultura chilena.

- PANEL

10:30 a 10:55 | Coffee Break

Sesión 03:
Variabilidad ambiental y cambio climático

10:55 a 12:00

- **Moderadora:**
Paulina Artacho. Bioionix - EE.UU. - Chile.
- **Lynne Falconer. University of Stirling - Escocia.**
Cambio climático y acuicultura. Pronóstico, mitigación y adaptación.
- **Renato Quiñones. INCAR - Chile**
Capacidad de carga ecológica de canales y fiordos patagónicos para el cultivo de salmón en Chile: enfoques, avances y desafíos

- PANEL



DÍA 01 - 26 DE SEPTIEMBRE

Acreditación
09:00 a 13:00

Sesión iniciativa alianza de innovación en acuicultura Reunión de representantes de organizaciones invitadas.
10:00 a 11:30

Apertura Expo Innaqua- 14:30 hrs.
(Stands y Posters)

Inauguración InnAqua
14:55 a 15:45

- Apertura
Saludos: Eduardo Mas, Presidente Club de Innovación Acuícola y autoridades invitadas.

Introducción:

Desafíos y propulsores para la innovación en acuicultura

15:45 a 16:15

Adolfo Alvial. Club de Innovación Acuícola (CIA) y ORBE XXI-Chile.
Desafíos y propulsores para la innovación en acuicultura. El valor de la colaboración.

16:15 a 16:45 | Coffee Break

Sesión 01:

Innovación para el futuro de la acuicultura

16:50 a 18:20

- **Moderadora:**
Paulina Artacho, Bioionix - EE.UU, Chile.

- **Esteban Ramírez. INTESAL-Chile:**
Dimensión socio-ambiental en innovación acuícola.

- **Lars Ebberson. NORCE - Noruega:**
Visión artificial e IA. Factores críticos para una acuicultura sostenible. Oportunidades y desafíos.

- **Kjell Maroni FHF - Noruega.**
Bienestar de especies acuáticas. Más foco - ¿Cambiando las reglas del juego?

- **PANEL**

19:00 a 21:30
Cóctel - Celebrando la Innovación - Elanco
Saludos de organizador y auspiciador
Compartiendo en torno a la gastronomía con saludo musical.

Cierre Expo Innaqua - 19:00 hrs -
(Stands y Posters)



Sesión 04:
Alimentos y alimentación del futuro

12:00 a 13:30

- **Moderadora:**
Loreto Appel - Periodista Salmonexpert.
- **Pablo Leyton, CEA - Salmofood - Chile.**
Alimentos eficientes y sostenibles.
- **Sunil Kadri, Bluegrove - Australia- Chile.**
Alimentación inteligente y bienestar animal.
- **Valentina Tapia, Aker-Biomarine - Noruega.**
El futuro de ingredientes naturales: El caso del Krill Antártico.
- **PANEL**

13:30 a 14:55 | Brunch

Sesión 05:
Prevención y control sostenible de enfermedades

14:55 a 16:00

- **Moderadora:**
Paulina Artacho. Bioionix - EE.UU. - Chile
- **Jorge Fuentes, Carey - Chile.**
Incentivos para la innovación en la salud y bienestar animal.
- **Javiera Cornejo, CASA, U. de Chile.**
Buenas prácticas para reducción en el uso de fármacos en acuicultura.
- **PANEL**

16:00 a 16:30 | Coffee Break



Sesión 06:

Prevención y control sostenible de enfermedades

16:30 a 17:30

- Moderadora:

Loreto Appel - Periodista Salmonexpert.

- Kjell Maroni. FHF - Noruega.

Tendencias en la prevención y control de enfermedades en acuicultura: El caso del piojo de mar.

- Hans Kossmann. Salmoclinic - Chile.

Tecnologías para reducción del uso de antibacterianos y antiparasitarios y de su impacto ambiental: El caso del barco - clínica.

- PANEL

Cierre Expo Innaqua - 18:00 hrs -
(Stands y Posters)

DÍA 03 - 28 DE SEPTIEMBRE

Apertura Expo Innaqua - 08:30 hrs. -
(Stands y Posters)

Sesión 07:

Bioingeniería y bioinformática

08:55 a 10:30

- Moderadora:

Loreto Appel - Periodista Salmonexpert.

- José Manuel Yáñez. Universidad de Chile.

El futuro de las tecnologías genómicas e ingeniería genética.

- Bas Wolkenfelt, Hendrix Genetics - Ecuador.

Avances y perspectivas en selección genética en especies acuícolas de alto valor.

- Martín Haberfield. MSD Salud Animal - Escocia.

Herramienta ADN para trazabilidad en acuicultura: impacto y perspectivas.

- PANEL

10:30 a 10:55 | Coffee Break



Sesión 08:
Camino a la sostenibilidad

10:55 a 12:35

- Moderadora:

Paulina Artacho, Bioionix - EE.UU. - Chile.

- Sandra Marín, Universidad Austral de Chile.

Desarrollo de capital humano para una acuicultura sostenible

- Lars Ebbesson, NORCE - Noruega.

Integración digital de biología, ambiente y operación in situ: esencial para el conocimiento y gestión con base biológica.

- Paulo Loureiro, MSD Salud Animal - EE.UU.

Plataformas de Integración Tecnológica para un Livestock Eficiente y Sostenible.

- PANEL

13:00 a 14:25 | Brunch

Sesión 09:
Tecnologías transformadoras

14:25 a 15:55

- Moderadora:

Loreto Appel - Periodista Salmonexpert.

- Claire Bomkamp, GFI - EE.UU.

Seafood de cultivo celular: Estado del arte y oportunidades para el involucramiento de expertos acuícolas.

- Alejandro Buschmann, Universidad de Los Lagos - Chile.

Innovaciones aceleradoras de alimentos en base a algas

- Carlos Fajardo, Universidad de Cádiz - España.

Perspectivas de la nanotecnología en acuicultura

- PANEL

15:55 a 16:25 | Coffee Break



Sesión 10:
Tecnologías transformadoras
CIERRE

16:25 a 18:00

- Moderador:

Paulina Artacho. Bioionix - EE.UU. - Chile.

- Pablo Figueroa. ABB - Chile.

Perspectivas de la eficiencia energética y energías renovables.

- Fabián Hernández. SIEMENS - Chile.

Como acelerar la transformación digital para una evolución al metaverso industrial.

- Adolfo Alvial. CIA y ORBE XXI - Chile.

Optimización de procesos con apoyo de IA: una mirada desde la industria.

- PANEL

- CIERRE: Resumen y conclusiones de la conferencia. Patricio Bustos, Vicepresidente CIA - Chile.

Cierre Expo Innaqua - 18:30 hrs
(Stands y Posters)

Noche del Salmón SALMOFOOD

19:30 a 23:00

- Cocktail de despedida de la conferencia.
Encuentro entretenido y musical.



Anexo 6. Listado de empresas productoras de salmón que han incorporado mecanismos físicos de remediación de fondo (extraído de los Informes Finales asociados a la res. Ex 1141/2022. PD= Pendiente, NA= No aplica, NT= No termina).

Nombre del titular	Código de centro	Región	Mecanismo Físico	Operador	F.I de la aplicación	F.EFFECTIVA termino de la aplicación	Periodo para la aplicación (meses)	¿Entregó informe final? (Si/No)	PDF PARA ANALISIS
AquaChile S.A.	120142	Duodécima	Nanoburbujas	Tecnologías y servicios Submarinos Teksub SpA.	20/08/2022	NO TERMINA	4	NO	NO APLICA
AquaChile S.A.	120117	Duodécima	Nanoburbujas	Tecnologías y servicios Submarinos Teksub SpA.	20/08/2022	10/03/2023	4	NO	PENDIENTE
AquaChile S.A.	101581	Décima	Nanoburbujas	Kran SpA.	07/11/2022	13/01/2023	3	No	PENDIENTE
AquaChile S.A.	110070	Undécima	Microburbujas	Keepex SpA.	10/04/2023	PENDIENTE	4	PENDIENTE	PENDIENTE
Australis Mar S.A.	110645	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	16/08/2022	18/11/2022	3	SI	SI
Australis Mar S.A.	120138	Duodécima	Inyección de agua de	DVS Tecnología S.A.	26/10/2021	01/12/2022	13	SI	SI
Australis Mar S.A.	110727	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	11/10/2022	06/01/2023	3,1	SI	SI
Australis Mar S.A.	110857	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	18/10/2022	29/01/2022	3,6	SI	SI
Australis Mar S.A.	120217	Duodécima	Inyección de agua de	DVS Tecnología S.A.	19/12/2022	30/05/2023	3	SI	SI
Australis Mar S.A.	110809	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	11/01/2023	01/05/2023	4	SI	SI
Australis Mar S.A.	110830	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	11/01/2022	09/04/2023	2	SI	SI
Australis Mar S.A.	120191	Duodécima	Inyección de agua de	DVS Tecnología S.A.	20/01/2022	28/04/2023	3	SI	SI
Australis Mar S.A.	110807	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa	10/03/2023	07/07/2023	3	SI	SI
Australis Mar S.A.	110739	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa.	17/05/2023	20/09/2023	4	PENDIENTE	PENDIENTE
Australis Mar S.A.	120152	Duodécima	Inyección de agua de	DVS Tecnología S.A.	31/07/2023	PENDIENTE	4	PENDIENTE	PENDIENTE
Australis Mar S.A.	110783	Undécima	Inyección de agua de	Under Deep Solutions Spa	12/07/2023	PENDIENTE	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Cermaq Chile S.A.	110246	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	07/07/2022	30/08/2022	1,5	SI	SI
Cermaq Chile S.A.	102066	Décima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	19/07/2022	30/08/2022	1,5	SI	SI
Cermaq Chile S.A.	102017	Décima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	29/11/2022	30/01/2023	2	SI	SI
Cermaq Chile S.A.	120116	Duodécima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	03/03/2023	30/04/2023	1	PENDIENTE	PENDIENTE
Cermaq Chile S.A.	110416	Undécima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	04/10/2022	12/11/2022	1	SI	SI
Cermaq Chile S.A.	120177	Duodécima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	12/06/2023	05/09/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Cermaq Chile S.A.	110758	Undécima	Nanoburbujas	Chucao Technology Consultants SpA.	10/06/2023	PENDIENTE	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Cermaq Chile S.A.	103734	Décima	Nanoburbujas	Kran SpA.	16/08/2023	PENDIENTE	2	PENDIENTE	PENDIENTE
Cermaq Chile S.A.	110930	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	01/04/2023	31/05/2023	3	SI	SI



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

Nombre del titular	Código de centro	Región	Mecanismo Físico	Operador	F.I de la aplicación	F.EFECTIVA término de la aplicación	Periodo para la aplicación (meses)	¿Entregó informe fina? (Si/No)	PDF PARA ANALISIS
Cooke Aquaculture Chile S.A.	110337	Undécima	Nanoburbujas	Austral Plus SpA.	18/08/2022	23/10/2022	2	SI	SI
Cooke Aquaculture Chile S.A.	110229	Undécima	Nanoburbujas	Austral Plus SpA.	17/01/2022	13/05/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Cooke Aquaculture Chile S.A.	110337	Undécima	Nanoburbujas	Austral Plus SpA.	26/01/2023	20/02/2023	1	SI	SI
Cooke Aquaculture Chile S.A.	110229	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	29/09/2023	PENDIENTE	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Exp. Los Fiordos Ltda.	110074	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	02/08/2023	PENDIENTE	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Marine Farm	110751	Undécima	Nanoburbujas	TriChile SpA.	27/09/2023	PENDIENTE	2,5	PENDIENTE	PENDIENTE
Mowi Chile S.A.	110760	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	06/07/2023	14/09/2023	2	PENDIENTE	PENDIENTE
Multi X S.A.	110375	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	26/07/2023	30/09/2023	2	PENDIENTE	PENDIENTE
Multi X S.A.	110381	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	04/08/2023	26/09/2023	2	PENDIENTE	PENDIENTE
Multi X S.A.	101308	Décima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	08/10/2022	Terminó	1,4	SI	SI
Multi X S.A.	110592	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	30/01/2023	02/04/2023	2	SI	SI
Multi X S.A.	110799	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	10/05/2023	30/06/2023	1	SI	SI
Multi X S.A.	110943	Undécima	Inyección de agua d	Under Deep Solutions Spa.	15/04/2023	15/07/2023		SI	SI
Nova Austral S.A.	120096	Duodécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	07/11/2022	NO TERMINA	1	NO Aplica	NO APLICA
Nova Austral S.A.	120088	Duodécima	Nanoburbujas	Tecnologías y servicios Submarinos Teksub SpA.	01/07/2022	NO TERMINA	3	NO Aplica	NO APLICA
Nova Austral S.A.	120090	Duodécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	16/08/2022	NO TERMINA	2	NO Aplica	NO APLICA
Nova Austral S.A.	120090	Duodécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	03/11/2022	19/04/2023	1	SI	SI
Nova Austral S.A.	120096	Duodécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	03/05/2023	PENDIENTE	4	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Blumar S.A.	110438	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	25/12/2022	01/04/2023	3	SI	SI
Salmones Blumar S.A.	110637	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	24/06/2023	06/10/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Blumar S.A.	110745	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	24/06/2023	06/10/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Blumar S.A.	110637	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	07/06/2023	06/10/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Blumar S.A.	110745	Undécima	Nanoburbujas	Kran SpA.	07/06/2023	06/10/2023	3	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Camanchaca S.A.	110817	Undécima	Nanoburbujas	Chucaao Technology Consultants SpA.	30/12/2021	01/08/2022	7	PENDIENTE	PENDIENTE
Salmones Camanchaca S.A.	110817	Undécima	Inyección de agua d	Under Deep Solutions Spa.	26/08/2022	10/01/2022	3	SI	NO
Salmones Camanchaca S.A.	110469	Undécima	Inyección de agua d	Under Deep Solutions Spa.	12/01/2022	09/05/2023	4	SI	NO
Salmones Camanchaca S.A.	110462	Undécima	Inyección de agua d	Under Deep Solutions Spa.	10/02/2023	14/07/2023	3	SI	NO
Salmones Camanchaca S.A.	110562	Undécima	Inyección de agua d	Under Deep Solutions Spa.	21/07/2023	PENDIENTE	7	PENDIENTE	PENDIENTE
Trusal S.A.	102930	Décima	Inyección de agua d	OXZO S.A.	30/08/2022	31/01/2023	5	SI	NO

Anexo 7. Informe sobre participación en la conferencia de Innovación Acuícola (INNAQUA) 2023.

La conferencia y Expo-InnAqua 2023 se realizó en el Hotel Enjoy de Puerto Varas del 26 al 28 de septiembre, la cual es la segunda edición del encuentro internacional bienal, que dio inicio en 2021 y es organizado por el Club Innovación Acuícola de Chile, y como Investigadores del presente proyecto fuimos partícipes. Durante este evento, se destacó la importancia de la colaboración para promover una acuicultura eficiente y sostenible, y dentro de los hitos más relevantes es que se estableció una alianza internacional de innovación en acuicultura mundial. Representantes de países como Chile, Perú, Ecuador, España, Brasil, México, Estados Unidos, Noruega y Escocia, entre otros, se unieron para firmar una Alianza Internacional de Innovación en Acuicultura. Esta tiene como objetivo principal compartir información relevante y promover la colaboración global en innovación en esta pujante industria.

La Alianza Internacional de Innovación en Acuicultura se ha estructurado con una directiva provisional, encabezada por Jeanne McKnight, como presidenta; Claudia Soto, como vicepresidenta; y Adolfo Alvia, presidente del Club Innovación Acuícola de Chile, como chairman of the board. Al respecto, Alvia expresó que “uno de los logros más destacados de InnAqua 2023 fue la firma de esta iniciativa. Para nosotros, era una aspiración vital crear una entidad de colaboración sin burocracia para fomentar la innovación en nuestro sector. Los grandes desafíos requieren respuestas a la altura y esta alianza permitirá la cooperación e intercambio entre organizaciones de diversos países comprometidas con la acuicultura. Nos enorgullece contar con la participación de una veintena de entidades invitadas de Norteamérica, Sudamérica, Europa y Oceanía, lo que nos llena de optimismo”.

En los próximos meses, el directorio provisional trabajará en la formulación de una propuesta detallada para la organización, el funcionamiento, las pautas de membresía y los posibles

FIPA N°2023-11: “Análisis del estado del conocimiento nacional e internacional sobre modelos implementados para la evaluación del estado ambiental de los centros en los que se desarrolla salmonicultura y de las medidas adoptadas para disminuir o eliminar la sedimentación y acumulación de materia orgánica en los fondos”.



mecanismos de financiamiento. Esta Alianza Internacional de Innovación en Acuicultura promete impulsar aún más la industria y pronto se podrán ver los frutos de esta colaboración global. En relación con la conferencia podemos destacar que fue un gran encuentro, ya que, contó con la participación de 25 conferencistas, 10 posters seleccionados y más de 400 asistentes, incluyendo directivos, ejecutivos, profesionales y técnicos de empresas e instituciones públicas y académicas relacionadas con la acuicultura de varios países, unidos por la innovación colaborativa. Además, se pudo realizar un contacto directo con los 20 stand de las empresas de base científico-tecnológicas que buscan aportar a la innovación en la acuicultura, con las cuales nos reuniremos para poder considerar sus avances tecnológicos en innovación para la industria.

Los días de conferencia fueron todo un éxito, estos se centraron en las líneas de innovación clave para el futuro de la acuicultura, buscando eficiencia y sostenibilidad en las cadenas de valor mediante tecnologías y conocimientos de vanguardia. Cada tema presentó innovaciones de alto impacto con aplicaciones diversas InnAqua 2023 contó con el auspicio de AquaChile, Blumar, DVS Tecnología, GXC Consultores, Instituto Tecnológico del Salmón (Intesal, de SalmonChile), Hendrix Genetics, ABB, SalmoClinic, la Asociación de Salmonicultores de Magallanes y Siemens; los invitantes Claro Empresas, Elanco, MSD Salud Animal, ProChile y Salmofood; la colaboración de Aker BioMarine, AmiChile, AquaSur 2024, NACHIPA Wellboats, GreenSpot, Austral Comunicaciones, L&F Abogados, La Casa Tortuga, Orbe XXI, Visit Puerto Varas; y Mundo Acuícola como uno de los media partners.

Es importante recordar que esta conferencia fue reconocida por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) como una actividad dentro del marco de la “Década de los Océanos”, en atención a sus objetivos, alcance y programa. En ese sentido, la convocatoria se plasmó en una amplia audiencia durante las 9 sesiones del programa de conferencias, en el que investigadores líderes en áreas I+D+i abordaron los desafíos y áreas de innovación que serán cruciales para la acuicultura del futuro. Los temas abordados en el día inaugural contemplaron la importancia de la innovación socio- ambiental y la inteligencia artificial en la acuicultura sostenible, así como el bienestar de las especies acuáticas. Durante el día 2, las sesiones posteriores se enfocaron en temas como la variabilidad ambiental y el cambio climático, con presentaciones sobre robótica submarina, modelación hidrodinámica y la gestión de la calidad ambiental en fondos marinos. También se exploró la relación entre el cambio climático y la acuicultura, centrándose en pronósticos, mitigación y adaptación. Asimismo, se presentaron novedades sobre alimentos sostenibles, ingredientes naturales y el bienestar animal. La jornada de la tarde trató sobre la prevención y el control sostenible de enfermedades en la acuicultura, destacando incentivos para la innovación en la salud animal y la reducción del uso de antimicrobianos.

Finalmente, el día 3 de la conferencia comenzó analizando la bioingeniería y la bioinformática, discutiendo tecnologías genómicas, selección genética y trazabilidad en la cadena de suministro. También se exploraron temas relacionados con la sostenibilidad, la integración digital y la eficiencia energética en la acuicultura, y concluyó con sesiones sobre tecnologías transformadoras, como la producción de seafood a partir de cultivos celulares, innovaciones en alimentos a base de algas, el uso de la nanotecnología en la acuicultura, transformación digital, eficiencia energética, optimización de procesos con inteligencia artificial, entre otros temas.

A continuación, algunas declaraciones públicas de actores claves.

Alex Pérez, Gerente General de Patagonia ROV:

“Como asociados del Club de Innovación Acuícola, estamos felices de haber participado en InnAqua 2023. Hoy mantenemos nuestro enfoque en continuar innovando, contribuyendo a los objetivos de



sostenibilidad de la industria acuícola, desmitificando conceptos y demostrando que el trabajo en equipo nos impulsa hacia un mayor crecimiento en innovación”.

“Partimos como empresa en todo lo relacionado con inspecciones de fondos marinos. Comenzamos con especificaciones básicas, evolucionamos y nos dimos cuenta de que la robótica nos proporcionaba información crucial. Fue así como incorporamos esta información bioestadística que nos permite comparar diferentes áreas de centros de cultivo, comprendiendo su comportamiento, parámetros oceanográficos, pellets y otras, para poder integrar estos análisis en la toma de decisiones”.

Paula Miranda, Gerente técnico comercial AQUASUR/CfiAgrotech:

“Nuestra expectativa era continuar la cadena de colaboraciones que iniciamos en AquaSur Tech, donde firmamos un convenio de colaboración con el Club de Innovación Acuícola, respaldando esta actividad debido a la importancia que la innovación tiene para el desarrollo futuro de la acuicultura. Durante los días de exposición, recibimos muchas consultas de potenciales nuevos clientes sobre AquaSur 2024. También hemos tenido la oportunidad de revisar los intereses en términos de contenido, validar ciertos conceptos de cara al Congreso AquaSur y comunicarles a los clientes que ya se ha vendido el 78% de los stands, por lo que los animamos a solicitar el suyo y comenzar a prepararse”.

Franco Aguirre, encargado de Desarrollo de Negocios de CUNLOGAN (BioOceanOr):

“Ofrecemos un servicio de predicción del oxígeno disuelto, con la capacidad de anticipar cómo estará el oxígeno en las próximas 48 horas, entregando alertas a través de mensajes de texto y correo electrónico. Esto puede ser de gran utilidad para los acuicultores, permitiéndoles ajustar sus planes de alimentación y activar medidas de contingencia. El objetivo de participar de InnAqua 2023 fue dar a conocer nuestra empresa a la industria. Ha sido una experiencia muy positiva, aprovechando la oportunidad para conectar con empresa y actores de la industria. InnAqua ha superado nuestras expectativas y ha sido sumamente interesante”.

Claudio Oyarzún, Gerente Comercial de Bio Light:

“Participar de InnAqua 2023 fue una decisión a nivel de la empresa. Nos pareció interesante sumarnos al tema de la innovación y estar presentes como actores activos en la industria. En la conferencia y expo nos encontramos con muchas personas que conocemos, interiorizándonos con las nuevas tendencias en innovación acuícola. Para nosotros, es sumamente importante mantenernos cerca de estos avances y proyectar ideas a futuro. Sin duda nuestra evaluación y balance de InnAqua es positivo”.

Gerardo Cárdenas, Gerente General de ALSUR Ingeniería:

“Si bien somos parte del Club de Innovación Acuícola, esta fue la primera vez que participamos en una expo del sector, con el propósito de mostrar nuestros servicios tanto a Chile como el extranjero. La experiencia fue mejor de lo que imaginé. Algunas personas ya nos conocían y otras no, pero la idea era dejar claro lo que hacemos y lo que nos distingue. Hemos conocido a personas de Ecuador, Noruega y otros lugares que están muy interesados en lo que hacemos. Desde el primer día de InnAqua 2023 se notó un espíritu de colaboración más que de competencia entre las empresas, lo que nos permitió crear sinergias para potenciar la innovación”.

Dr. Daniel Nieto Díaz-Muñoz, gerente del PTEC-INVA:



“Considero que toda oportunidad donde podamos mostrar lo que estamos haciendo en el contexto de los programas respaldados por la Corfo es valiosa. Así, con el apoyo de VeHiCe montamos un stand para difundir el exitoso proyecto PTECAO (Acuicultura Oceánica), que terminó este año; así como también el proyecto PTEC-INVA, el cual acaba de comenzar y tiene como propósito generar una plataforma habilitante de apoyo para la producción y uso de insumos vegetales nutricionales provenientes de cultivos de rotación de la macrozona sur y austral de Chile como fuente sostenible de proteínas y aceites, que puedan ser escalables, costo y ambientalmente efectivas para su uso en la elaboración de dietas de salmónidos”.

“Me atrevo a decir que InnAqua 2023 ha sido uno de los mejores Conferencias-Expo que he visto en mucho tiempo. Sentí una atmósfera especial y una gran energía positiva. Los invitados a las charlas eran de muy alto nivel, y estoy contento de haber venido. Lo maravilloso es que me encuentro con amigos y conocidos de los cuales me siento orgulloso, porque sé que todos hemos contribuido a construir una industria”.

Dr. Alejandro Buschmann, investigador del Centro IMAR de la Universidad de Los Lagos:

“Me interesó participar de InnAqua 2023 porque aborda el problema del desarrollo de la acuicultura de una manera positiva. Esto no significa que no seamos críticos; al contrario, significa que, a pesar de las brechas y desafíos que puedan existir para la sostenibilidad del sector acuícola, sentí un ambiente propositivo en la búsqueda de soluciones, con la presencia de la academia, investigadores internacionales, acuicultores, empresas proveedoras y autoridades”.



Anexo 8. Detalles conferencias INNAQUA 2023

CONFERENCIAS / CONFERENCE

CARLOS FAJARDO

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Carlos es Licenciado en Biología Marina (Universidad de Oriente, Venezuela), Magíster en Biología Molecular (Universidad de Los Andes, Venezuela) y Doctor en Recursos Agroalimentarios (Universidad de Cádiz, Spain, 2019). Actualmente, trabaja como investigador postdoctoral asociado a la Universidad de Cádiz y al Centro Interdisciplinario de Investigaciones Marinas y Ambientales (CIIMAR) de la Universidad de Oporto (Portugal). Su principal línea de investigación se centra en la descripción de mecanismos de respuesta inmune en peces y crustáceos de interés para el sector acuícola.

Carlos is a Licenciado in Marine Biology (Universidad de Oriente, Venezuela), a Master in Molecular Biology (Universidad de Los Andes, Venezuela), and a PhD in Agri-Food Resources (Universidad de Cádiz, Spain). Currently, he works as a postdoctoral researcher associated with the University of Cadiz and the Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research (CIIMAR) of the University of Porto (Portugal). His main line of research is focused on the description of immune response mechanisms in fish and crustaceans of interest to the aquaculture sector.

CLAIRE BOMKAMP

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Claire se desempeña como Científica Principal, con Especialización en Cultivo celular de Carne y seafood. Miembro de la iniciativa de seafood sustentable del Good Food Institute de Estados Unidos. Su trabajo se enfoca en analizar el panorama técnico de la industria, e involucrar a los investigadores para el progreso de la tecnología en cultivos marinos. Posee un Doctorado en neurociencia de la Universidad de British Columbia y un Bachelor en neurociencia del comportamiento de la Universidad de Western Washington.

Claire is a Senior scientist specializing in Meat and Seafood farming. She is part of the Good Food Institute's (GFI) Sustainable Seafood Initiative. She focuses on analyzing the technical landscape of the industry and involving researchers in the advancement of this technology in marine farming. She holds a PhD in neuroscience from the University of British Columbia and a bachelor's in behavioral neuroscience from Western Washington University.

DANIEL VEGA

DÍA 02: 27 SEPTIEMBRE / DAY 02 SEPTEMBER 27

Daniel es Técnico Marino de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Patrón de Pesca Costera. Cuenta con 44 años de experiencia profesional. Capitán de Nave Pesquera (pesca de cerco); Jefe de Flota y Contratista de Obras Marítimas. Desde 1997 se ha dedicado a la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) relacionada con ciencia, ingeniería y tecnología, orientando su trabajo a implementar tecnologías aplicadas en la conservación ambiental de sedimentos marinos y de aguas continentales en áreas de acuicultura. Ha obtenido patentes de invención en USA, Canadá y Chile.

Marine Technician from the Pontificia Universidad Católica de Chile and Coastal Fishing Skipper, with 44 years of professional experience. He is a fishing vessel captain (purse seine fishing); Fleet manager, and Maritime Works Contractor. Since 1997, he has been dedicated to Research, development, and Innovation (R+D+i), linking science, engineering, and technology. Oriented his work to implement technologies applied to the environmental conservation of marine sediments and continental waters. Obtaining invention patents in the USA, Canada, and Chile.

FABIAN HERNANDEZ

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Ingeniero electrónico con más de 25 años de experiencia en áreas de Automatización, Control de procesos y Comunicaciones Industriales, diseñando y desarrollando diversos proyectos industriales. Durante los últimos 12 años ha liderado la gerencia del negocio de la automatización, impulsando la transformación digital de la industria Chilena desde la compañía multinacional SIEMENS.

Electronic engineer with more than 25 years of experience in the areas of Automation, Process control, and Industrial Communications, designing and developing various industrial projects. During the last 12 years, he has led the management of the automation business, promoting the digital transformation of the Chilean industry as part of the multinational company SIEMENS.





JAVIERA CORNEJO

DÍA 02: 27 SEPTIEMBRE / DAY 02 SEPTEMBER 27

Javiera es Profesora Asociada de la Universidad de Chile. Dirige los laboratorios FARMAVET y LIA, especializados en inocuidad de productos acuicolas y que forman parte de los programas oficiales de control de SERNAPESCA. Actualmente, Javiera se desempeña como Directora Ejecutiva del CASA, Centro Colaborador de la OMSA para la gesti3n de antimicrobianos en acuicultura. Su trabajo se enfoca en la reducci3n y gesti3n integral del uso de antimicrobianos en este 3mbito.

Javiera is an Associate Professor at the Universidad de Chile. She led the FARMAVET and LIA laboratories, which specialize in the safety of aquaculture products and are part of the official control programs of SERNAPESCA. She is currently the Executive Director of CASA, the OMSA Collaborating Center for the Management of Antimicrobials in Aquaculture. Javiera's work focuses on the reduction and comprehensive management of the use of antimicrobials in this field.

JOSÉ MANUEL YAÑEZ

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Médico Veterinario y Doctor en Ciencias (PhD) de la Universidad de Chile. En la actualidad, José ocupa el cargo de Decano y Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile. El lidera un grupo de investigaci3n y asesorías en genética y genómica acuícola, enfocado en implementar nuevas estrategias para potenciar de forma sostenible la producci3n acuícola, mediante el mejoramiento genético y la selecci3n genómica en Chile y América Latina.

Veterinary Doctor and Doctor of Science (PhD) from the University of Chile. José currently holds the position of Dean and Full Professor of the Faculty of Veterinary and Livestock Sciences at the University of Chile. He leads a research and consulting group in aquaculture genetics and genomics focused on implementing new strategies to sustainably enhance aquaculture production through genetic improvement and genomic selection in Chile and Latin America.

KJELL MARONI

DÍA 01 y 02 : 26 y 27 de SEPTIEMBRE / DAY 01 and 02 SEPTEMBER 26 and 26

Kjell es biólogo marino, ha trabajado en la industria del cultivo del salm3n durante más de 40 años como proveedor, científico, criador de salm3n, consultor y en diversas organizaciones de la industria, centrándose principalmente en el cultivo sostenible del salm3n. Trabaja en el Norwegian Seafood Research Fund (FHF) desde su creaci3n en 2001. Formó parte del comité directivo para desarrollar la primera versi3n del estándar ASC (Aquaculture Stewardship Council) y muchos otros proyectos, incluida la primera secuenciación completa del genoma del salm3n del Atlántico. Ha trabajado en la investigaci3n del piojo de mar desde que era piscicultor en la década de 1990.

Kjell is a Marine biologist. He has worked in the salmon farming industry for more than 40 years as a supplier, scientist, salmon farmer, consultant, and in industry organizations, focusing mainly on sustainable salmon farming. Kjell has worked for FHF, the Norwegian Seafood Research Fund, since it was established in 2001. He was part of the steering committee for developing the first version of the ASC standard (Aquaculture Stewardship Council) and numerous other projects, including the first full sequencing of the Atlantic salmon genome. Kjell has investigated sea lice since being a fish farmer in the 1990s.

LYNNE FALCONER

DÍA 02: 27 SEPTIEMBRE / DAY 02 SEPTEMBER 27

Lynne es investigadora en el Instituto de Acuicultura de la University of Stirling, Escocia. En Stirling, Lynne lidera un equipo de trabajo que investiga el impacto del cambio climático en la acuicultura y la identificaci3n de posibles respuestas de adaptaci3n al cambio climático. Lynne está particularmente interesada en cómo se pueden usar los datos y los modelos para respaldar la toma de decisiones dentro del sector de la acuicultura.

Lynne is a Research Fellow at the Institute of Aquaculture at the University of Stirling, Scotland, UK. At Stirling, Lynne leads a research team investigating the impact of climate change on aquaculture and identifying potential climate change adaptation responses. Lynne is particularly interested in how data and models can be used to support decision-making within the aquaculture sector.





LARS EBBESSON

DÍA 01 y 03: 26 Y 28 SEPTIEMBRE / DAY 01 and 03: SEPTEMBER 26 and 28

Lars forma parte del Centro de Investigaci3n de Noruega (NORCE) tiene una gran pasi3n por el desarrollo de soluciones sostenibles y digitales en todos los 3mbitos de producci3n acu3cola. Su investigaci3n durante los 3ltimos 30 a3os ha cubierto variados aspectos de ciencia b3sica y aplicada relacionados con la biolog3a de peces, principalmente salm3n. Ha integrado la neurociencia, la endocrinolog3a, la fisiolog3a y el comportamiento para abordar el efecto del entorno sobre el desarrollo, la esmoltificaci3n, el estr3s, el bienestar, la robustez, el comportamiento y el apetito de los peces. A lo largo de los a3os, ha dirigido numerosos centros, redes y proyectos que re3unen a investigadores e industrias con un enfoque interdisciplinario para resolver los desaf3os de la industria.

Lars from the Norwegian Research Centre (NORCE) has a passion to enable sustainable and digital solutions in all aquaculture production. His research over the last 30 years has covered many basic and applied aspects of fish biology, mainly in salmon, integrating neuroscience, endocrinology, physiology, and behavior to address how the environment impacts development, smoltification, stress, welfare, robustness, behavior, and appetite. Over the years, he has led numerous centers, networks, and projects bringing researchers and industries together with an interdisciplinary approach to solving industry challenges.

MARTIN HABERFIELD

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Martin se uni3 a MSD Animal Health en el puesto de Business Lead Aqua, responsable de la comercializaci3n de servicios gen3ticos. Ha trabajado en la industria de la acuicultura durante m3s de 20 a3os, ocupando altos cargos comerciales a lo largo de la cadena de valor en los sectores de alimentos acu3colas, farmac3utico, procesamiento y gen3tica con un conjunto de especies en varios pa3ses. Posee una licenciatura en Acuicultura y Gesti3n Pesquera y una Maestr3a en Pat3genos Acu3ticos. Actualmente cursa un MBA Ejecutivo en la Escuela de Negocios de la Universidad de Strathclyde.

Martin joined MSD Animal Health in the position of Business Lead Aqua, responsible for the commercialization of genetic services. He has worked in the aquaculture industry for over 20 years, holding senior commercial positions throughout the value chain in the aquafeed, pharmaceutical, processing, and genetics sectors with a multitude of species in various countries. Martin holds a BSc in Aquaculture and Fisheries Management and an MSc in Aquatic Pathobiology and is currently studying for an Executive MBA with the University of Strathclyde Business School.

PABLO FIGUEROA

DÍA 03: 28 SEPTIEMBRE / DAY 03 SEPTEMBER 28

Pablo es Ingeniero Civil Electr3nico, de la Universidad de la Frontera. Su formaci3n profesional incluye tambi3n un MBA en Administraci3n de Empresas de la Universidad del Desarrollo. Desde julio del a3o 2022, Pablo ejerce como Local Division Manager de Drive Products en el 3rea de Motion, de ABB en Chile, una compa3a multinacional, l3der en tecnolog3as de energ3a y automatizaci3n. Antes de ingresar a ABB el a3o 2004, Pablo trabaj3 en importantes empresas nacionales, tales como la Compa3a Papelera del Pac3fico y CMPC.

Pablo is an Electronic Civil Engineer from the Universidad de la Frontera. His professional training also includes an MBA in Business Administration from the Universidad del Desarrollo. Since July 2022, Pablo has been the Local Division Manager of Drive Products in the Motion area of ABB in Chile, a leading multinational company in energy technologies and automation. Before joining ABB in 2004, Pablo worked for important national companies, such as Compa3a Papelera del Pac3fico and CMPC.





PABLO LEYTON

📅 DÍA 02: 27 SEPTIEMBRE / DAY 02: SEPTEMBER 27

Pablo está ligado a la industria acuícola desde 1993. Él es Médico Veterinario de la Universidad Austral de Chile, Magíster en administración de negocios, y más recientemente, candidato a doctor en Ciencias de la acuicultura de la misma Universidad. Laboralmente, Pablo es Gerente de Feed Technology en Vitapro Chile - Salmofood. Allí lidera las áreas de nutrición, formulación, Innovación, Control Calidad y Sistema Gestión.

Pablo has been linked to the aquaculture industry since 1993. He is a Veterinarian from the Universidad Austral de Chile, a Master of Business Administration (MBA), Master in Aquaculture Nutrition, and more recently, a PhD candidate in the Doctoral Program in Aquaculture Sciences at the same university. At work, he is the Feed Technology Manager at Vitapro Chile / Salmofood. In the company, he leads the areas of nutrition, formulation, Innovation, Quality control, and Management systems.

RENATO QUIÑONES

📅 DÍA 02: 27 SEPTIEMBRE / DAY 02: SEPTEMBER 27

Biólogo Marino de la Universidad de Concepción (Chile) y Ph. D. en Ecología Marina de Dalhousie University (Canadá). Actualmente, es director del Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR; FONDAF-ANID) y Profesor Titular del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. Desde 2022, se desempeña, además, como Experto en Misión de Naciones Unidas, trabajando en la Tercera Evaluación Mundial de los Océanos (WOA III). Ha publicado más de 150 artículos en revistas científicas y capítulos de libros, y ha co-editado 2 libros.

Marine Biologist from the University of Concepción (Chile) and Ph.D. in Marine Ecology from Dalhousie University (Canada). Currently, he is the Director of the Interdisciplinary Center for Aquaculture Research (INCAR; FONDAF-ANID) and full Professor at the Department of Oceanography of the University of Concepción. Since 2022, he has been appointed as Expert on Mission of the United Nations to work on the Third World Ocean Assessment (WOA III). He has published more than 150 scientific papers and book chapters and co-edited two books.





Anexo 9. Entrevistas a empresas prestadoras de servicios de tecnologías acuícolas.

1.- KRAN SPA

Fecha: 26 de marzo 2024 (presencial)

Asistentes: Carolina Sotomayor (Investigador IFOP)
Mauricio Bueno (Gerente Kran SPA)

Resumen de la reunión:

Esta empresa ofrece el mecanismo de remediación y mitigación de fondos de nanoburbujas. El propósito de la reunión fue consultar sobre los servicios ofrecidos por KRAN SPA, su presencia en Chile, la historia de la empresa, los principales hitos y resultados obtenidos hasta la fecha. Además, se solicitó colaboración con información de “costos” asociados a sus servicios y se logró conocer in situ cómo funciona su tecnología, ya que, se pudo ingresar a la planta de producción. La reunión fue productiva y proporcionó una clara visión sobre los servicios de KRAN SPA y su aporte en la industria acuícola en Chile. Se acordó mantener una comunicación abierta para futuras colaboraciones y estudios conjuntos que puedan beneficiar a ambas partes. Producto de esta reunión se logró obtener un informe técnico descriptivo de la empresa con costos aproximados de dicho servicio.

2.- DVS Tecnología

Fecha: 12 de noviembre 2023 (presencial)

Asistentes: Carolina Sotomayor (Investigador IFOP)
Johana Ojeda (Investigador IFOP)
Daniel Vega (DVS)
Sergio Martínez (DVS)

Resumen de la reunión:

Esta empresa ofrece el mecanismo de remediación y mitigación de inyección de agua de mar rica en oxígeno.

En una conversación con DVS Tecnología, empresa pionera en el desarrollo de tecnología aplicada al tratamiento de sedimentos, pudimos profundizar en su historia, innovaciones y logros en la industria.

¿Cuál es el origen de DVS Tecnología y qué los llevó a enfocarse en el tratamiento de sedimentos?

DVS Tecnología nació con la visión de desarrollar soluciones innovadoras para el tratamiento de sedimentos. En 1999, creamos el equipo Desplazador de Masas de Agua (DMA), que marcó el comienzo de nuestra trayectoria en este campo. Posteriormente, en 2003, implementamos el Servicio de Recuperación de Fondos (SRF), convirtiéndonos en pioneros a nivel internacional en esta materia.

¿Cuáles han sido los hitos más importantes en la historia de DVS Tecnología?

Uno de nuestros logros más destacados fue obtener las Patentes de Invención para el equipo DMA en Estados Unidos en 2003, seguido de Canadá y Chile en 2011. Además, hemos introducido solicitudes de Patente de Invención en Noruega y Escocia. Estos reconocimientos han sido fundamentales para nuestra posición como líderes en la industria.

¿Cómo ha evolucionado la tecnología de DVS Tecnología a lo largo de los años?

Nuestro progreso tecnológico ha sido constante. Después de introducir el Servicio de Recuperación de Fondos (SRF), hemos continuado innovando y desarrollando nuevas aplicaciones. Ahora, ofrecemos soluciones de conservación de fondos marinos y de aguas continentales, conocidas como SCF. Estas tecnologías han permitido abordar de manera efectiva el problema de contaminación asociado a la industria salmonera, un tema de gran preocupación para la academia, las ONG y la comunidad en general.

¿Cuál es el impacto ambiental de las soluciones de DVS Tecnología?



Nuestras tecnologías han demostrado ser una solución ambiental efectiva para el problema de contaminación en la industria salmonera. Al ofrecer servicios de recuperación y conservación de fondos, contribuimos a la protección de los ecosistemas acuáticos y a la sostenibilidad de la industria.

¿Qué planes de futuro tiene DVS Tecnología?

Continuaremos innovando y mejorando nuestras tecnologías para abordar los desafíos ambientales de la industria. Nuestro objetivo es seguir siendo pioneros en el tratamiento de sedimentos y ofrecer soluciones sostenibles para el cuidado del medio ambiente.

Conclusión

DVS Tecnología es un ejemplo de innovación y liderazgo en el tratamiento de sedimentos. Su compromiso con la sostenibilidad y la protección del medio ambiente ha permitido a la empresa ser pionera en la industria y ofrecer soluciones efectivas para abordar los desafíos ambientales. Su historia es un testimonio de la importancia de la innovación y la dedicación en la búsqueda de soluciones sostenibles para el futuro.

Se solicitó además un informe técnico a la empresa para poder conocer sus costos, pero ellos nos indicaron que esa era información estratégica, por lo que no se podría contar con ella a menos que exista un convenio de colaboración, lo cual no fue factible burocráticamente.

3.- CASCO ANTIGUO

Fecha: 01 de octubre 2024 (presencial)

Asistentes: Carolina Sotomayor (Investigador IFOP)
Gustavo Rival (Casco Antiguo)

Resumen de la reunión:

Casco Antiguo es un Proveedor de Tecnología submarina para la Industria Acuícola y latinoamericana. Es una empresa con una amplia experiencia en la provisión de tecnología submarina para la industria acuícola, en esta entrevista pudimos profundizar en su enfoque para conocer cuál es su posición dentro de la industria.

¿Cuál es el enfoque de Casco Antiguo en la industria acuícola?

En Casco Antiguo, nos enfocamos en proporcionar soluciones tecnológicas innovadoras y eficientes para la industria acuícola e investigación de los océanos. Nuestro objetivo es proporcionar instrumentos para exploración submarina que permita mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la sostenibilidad de sus operaciones con tecnología submarina de vanguardia y fabricantes de todo el mundo. Trabajamos con más de 30 fabricantes a nivel global para proveer soluciones submarinas en distintos países como es España, Portugal, Francia, Marruecos, México, Miami, Panamá, Colombia, Perú y Chile, adaptándonos a los requerimientos de cada industria.

¿Cuáles son los productos y servicios que Casco Antiguo ofrece a la industria acuícola?

Ofrecemos una amplia gama de productos y servicios, incluyendo sistemas de monitoreo físico, químicos y biológicos del agua, además de sistemas de observación con ROV y sonares. También ofrecemos servicios de asesoramiento para ayudar a los productores acuícolas a implementar y optimizar nuestras soluciones submarinas.

¿Cómo ha evolucionado la empresa en la industria acuícola a lo largo de los años?

A lo largo de los años, hemos evolucionado en la comercialización de tecnología submarina para adaptarnos a las necesidades cambiantes de la industria acuícola. Hemos invertido en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de nuestras soluciones. También hemos fortalecido nuestra presencia en el mercado chileno y en otros países de América Latina.

¿Cuál es el impacto de Casco Antiguo en la industria acuícola?

En Casco Antiguo, estamos orgullosos de nuestro impacto positivo en la industria acuícola. Hemos ayudado a los productores acuícolas a mejorar la productividad y reducir costos, lo que ha contribuido al crecimiento y la sostenibilidad de la industria. También hemos trabajado en estrecha colaboración con organizaciones locales para apoyar la educación y el desarrollo sostenible en la industria



acuícola, para lo cual estamos constantemente compartiendo nuestro conocimiento por medio de seminarios y charlas, además de la participación en congresos relacionados con ciencias marinas.

¿Qué planes de futuro tiene Casco Antiguo para la industria acuícola?

En el futuro, planeamos seguir innovando y mejorando nuestras soluciones para la industria acuícola. Estamos comprometidos con la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente, y estamos trabajando para reducir nuestro impacto ambiental. También estamos explorando oportunidades de crecimiento en nuevos mercados y sectores de la industria acuícola.

Conclusión

Casco Antiguo es un proveedor de tecnología líder en la industria acuícola, con un enfoque en la innovación y la sostenibilidad. Estamos comprometidos con el futuro de la industria acuícola y estamos trabajando para seguir siendo una empresa líder en el mercado chileno y en América Latina.

4.- CHUCAO TECH

Fecha: 12 de agosto 2024 (online)

Asistentes: Carolina Sotomayor (Investigador IFOP)
Paulo Jorquera (Chucaos Tech)

Resumen de la reunión:

Empresa que se dedica a la innovación en remediación de fondos para la Industria Acuícola. Ofrece remediación de fondo mediante tecnología de inyección de nanoburbujas.

En esta entrevista exploramos en profundidad su enfoque en la remediación de fondos marinos y su impacto en la sostenibilidad del sector.

¿Cuál es el enfoque de Chucaos Tech en la remediación de fondos marinos?

En Chucaos Tech, nuestro enfoque se centra en la remediación de fondos marinos mediante la inyección continua de oxígeno. Este proceso es crucial para prevenir condiciones anaeróbicas en los centros de cultivo de salmón, lo que a su vez ayuda a mantener un ecosistema saludable en el lecho marino. Nuestro objetivo es restaurar y mantener la calidad del fondo marino, promoviendo un ambiente propicio para el crecimiento de los organismos acuáticos.

¿Qué tecnologías específicas se utilizan para la remediación de fondos?

Utilizamos un sistema innovador que permite la inyección de oxígeno de manera continua en los fondos marinos. Este sistema no solo mejora la oxigenación del lecho marino, sino que también facilita la degradación de los residuos orgánicos acumulados, contribuyendo a la salud del ecosistema. Además, estamos en proceso de ampliar el alcance de esta tecnología para optimizar la degradación sin necesidad de concesiones adicionales, lo que representa un avance significativo en la gestión ambiental de la acuicultura.

¿Cuál es el estatus de autorización de Chucaos Tech en relación con la remediación de fondos?

Estamos orgullosos de haber obtenido la autorización de SUBPESCA para utilizar nuestras nanoburbujas como mecanismos físicos autorizados mediante Res. Ex. N°1141-2022. Esta autorización nos permite operar con la confianza de que nuestros sistemas cumplen con los estándares más altos de calidad y seguridad para la industria acuícola.

¿Cómo ha evolucionado Chucaos Tech en el ámbito de la remediación de fondos?

Desde nuestra fundación, hemos estado comprometidos con la investigación y el desarrollo de soluciones que responden a las necesidades específicas de la industria acuícola. A medida que la industria ha crecido, también lo han hecho nuestras tecnologías. Hemos realizado mejoras continuas en nuestros sistemas de inyección de oxígeno, incorporando feedback de los productores y adaptándonos a las condiciones cambiantes del entorno marino.

¿Cuál es el impacto de Chucaos Tech en la sostenibilidad de la industria acuícola?

Es un impacto positivo en la sostenibilidad de la industria acuícola. Al mejorar la calidad del fondo marino, ayudamos a los productores a mantener la salud de sus cultivos y reducir el uso de productos



químicos. Esto no solo beneficia a los productores, sino que también contribuye a la conservación del medio ambiente marino, promoviendo prácticas más sostenibles en la acuicultura.

¿Qué planes futuros tiene Chucao Tech en relación con la remediación de fondos?

De cara al futuro, planeamos seguir innovando en nuestras tecnologías de remediación. Estamos explorando nuevas formas de integrar la biotecnología en nuestros sistemas para mejorar aún más la eficiencia de la degradación de residuos. Además, buscamos establecer colaboraciones con instituciones académicas y de investigación para desarrollar soluciones aún más efectivas y sostenibles.

Conclusión

Chucao Tech se posiciona como un líder en la remediación de fondos marinos en la industria acuícola, con un fuerte compromiso hacia la innovación y la sostenibilidad. A medida que avanzamos, continuaremos trabajando para ofrecer soluciones que no solo benefician a nuestros clientes, sino que también protegen y restauran el ecosistema marino.

5.- MØRENØT A/S

Fecha: 24 de septiembre 2024 (reunión telemática)

Asistentes: Yngve Askeland (Mørenot Aquaculture A/S)

Nina Hildre (Mørenot Aquaculture A/S)

Johana Ojeda (Investigador IFOP)

Rodrigo Jaramillo (Investigador IFOP)

Resumen de la reunión:

Mørenot, es una empresa noruega que ha desarrollado sistemas avanzados para la recolección de residuos en la acuicultura de salmón, diseñados para minimizar los desechos y mejorar la sostenibilidad de las jaulas de peces. En asociación con LiftUP y Ragn-Sells, su tecnología principal, conocida como el sistema Mørenot Collect, se basa en la integración de un cono de recolección que se coloca en la parte inferior de las jaulas de salmón. Este cono utiliza una combinación de bombas de succión que extraen los desechos orgánicos acumulados, logrando hasta un 65% de eficiencia en la captura de sedimentos bajo las jaulas de peces. Este sistema ha sido escalado y probado con resultados positivos, permitiendo una reducción significativa de residuos en sitios de acuicultura y contribuyendo a una menor contaminación del fondo marino. Además, esta tecnología se complementa con otras soluciones de monitoreo y control de residuos, que incluyen herramientas de evaluación de riesgos y mantenimiento técnico para optimizar la operatividad de estos sistemas en jaulas acuícolas. En la reunión, realizada en idioma inglés y noruego, se tocaron algunos puntos que fueron presentados como desafíos a solucionar en la tecnología, especialmente en áreas técnicas:

Demanda Energética: Las bombas de succión de gran tamaño, necesarias para transportar los desechos desde el fondo de las jaulas, requieren un alto consumo de energía. Esto incrementa los costos operativos, especialmente en sitios donde la electricidad es costosa o debe generarse a través de fuentes no renovables

Filtros y Mantenimiento: Los sistemas de succión requieren filtros eficaces para evitar que partículas grandes o elementos no deseados ingresen a las bombas. Estos filtros pueden obstruirse con frecuencia debido a la densidad y composición de los desechos, lo que implica un mantenimiento frecuente y un mayor desgaste del equipo. A largo plazo, el mantenimiento puede volverse costoso y engorroso.

Destino de los Desechos: Una vez recolectados, los desechos deben ser gestionados de manera segura. Generalmente, se transportan a plantas de tratamiento o se utilizan como fertilizantes en algunas regiones, pero esto depende de la disponibilidad de instalaciones adecuadas.

Densidades de Jaulas: En áreas de acuicultura con alta densidad de jaulas, la acumulación de desechos puede superar la capacidad del sistema de succión, limitando su eficacia. En estos casos,



el sistema podría no captar todos los residuos y requeriría una ampliación o actualización del equipo para gestionar el volumen adicional.

Complejidad y Espacio: Las bombas de gran tamaño y los sistemas de succión pueden ser complejos de instalar en jaulas pequeñas o en áreas con espacio reducido, lo que limita la flexibilidad de aplicación del sistema. Además, la instalación puede requerir modificaciones en el diseño de las jaulas para acomodar los conos y las bombas.

6.- **BIOLIFT**

Fecha: 21 de octubre 2024 (reunión telemática)

Asistentes: Carolina Sotomayor (Investigador IFOP)

Johana Ojeda (Investigador IFOP)

Rodrigo Jaramillo (Investigador IFOP)

Alex Brown (Biolift)

Resumen de la reunión:

Es una empresa chilena que posee una tecnología de recolección de lodos orgánicos desde las balsas jaulas salmoneras, que consiste en un cono de recolección. Luego deshidratan los lodos in situ cumpliendo con la normativa vigente. Trasladan los lodos deshidratados a tierra y gestionan su transformación. Finalmente revalorizan los residuos en energía y nuevos productos como biogas. Posee socios en Noruega, las empresas Lift UP y Morenot. Cada empresa construye una parte de la tecnología. Su tecnología es aplicable preferentemente a centros de cultivo de media y baja energía. Los costos de la tecnología dependen de la ubicación del centro y de la cantidad de jaulas a tratar. Se recomienda la captación de partículas en épocas de máxima biomasa y también en jaulas con peces pequeños o recién sembrados, cuando se empiezan a alimentar y hay mucha pérdida de alimento. La eficiencia de la tecnología es de 65% en promedio. Sus restricciones técnicas son las velocidades de corrientes, la distancia al centro y la batimetría (centros ubicados a baja profundidad). Es una tecnología de prevención efectiva ya que evita que los residuos sedimenten en el fondo.

Empresas prestadoras de servicios acuícolas y detalles técnicos de las tecnologías

a) MECANISMOS FÍSICOS

2.- Jaulas flotantes, móviles y sumergibles

EcoSea (Chile)

Esta empresa ha explorado el desarrollo de jaulas sumergibles que pueden operar a diferentes profundidades en el agua. Este tipo de tecnología permite mover las jaulas a niveles más profundos donde las corrientes marinas son más fuertes, lo que ayuda a dispersar los desechos orgánicos y evita su acumulación en el fondo marino. Según se indica las jaulas sumergibles permiten una mejor gestión de los desechos orgánicos, ya que, la corriente dispersa las partículas, evitando que se acumulen en áreas específicas, lo que disminuye la sedimentación local. La tecnología de EcoSea captó el interés de Corfo a mediados de 2018, iniciándose el Programa de Desarrollo Tecnológico para la Acuicultura Oceánica, con un horizonte de 6 años de tecnología aplicada y una inversión de más de 6.300 millones de pesos. La inédita iniciativa buscaba establecer los requisitos técnicos para la acuicultura *offshore* con jaulas sumergibles, así como sentar las bases para su futura legislación en Chile. También ofrecía una alternativa sostenible a la cuestionada salmonicultura actual, que presenta impactos ambientales, sanitarios y de seguridad, en especial por la falta de espacios de cultivo y la limitada posibilidad de crecimiento en las áreas costeras.

El programa finalizó la prueba prototipo, con una jaula sumergible de 40 metros de diámetro desarrollada por EcoSea. Los principales beneficios fueron el bajo nivel de estrés de los peces (sin ataques de depredadores ni escapes); elevadas tasas de crecimiento, y una reducción de un 18% en los costos de producción. Al comparar la performance de la jaula sumergible de EcoSea versus la tradicional de nylon, se demostró que los salmones crecen a mejor tasa, porque si bien en ambos casos se obtuvieron ejemplares de tamaño similar, en la jaula de aleación de cobre la siembra se

realizó dos meses más tarde y con salmones 47,5% más pequeños; además tuvo una tasa de mortalidad 2% menor, y se estima que evitó la emisión de 27 toneladas de CO₂.

“El ciclo productivo con la balsa-jaula sumergible mostró un rápido desarrollo del crecimiento, bajas cargas bacterianas y de parásitos (Caligus), y cero pérdidas por ataques de lobos marinos. Desde el punto de vista operacional, la tecnología es muy amigable, segura y eficiente, con muy baja adhesión de *fouling*, validando así un sistema de cultivo robusto y confiable”.

<https://www.salmonexpert.cl/acuicultura-acuicola-balsas-jaula/ecosea-farming-presenta-jaulas-sumergibles-para-zonas-salmoniculoras-expuestas/1223634>

<https://www.codelco.com/prensa/2011/ecosea-logro-sumergir-jaulas-con-salmones-vivos-a-mas-de-20-metros-de>

Ocean Arks Tech (Chile)

Es una empresa chilena que se ha centrado en el desarrollo de plataformas flotantes móviles para la acuicultura, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental de la salmonicultura en zonas costeras. Estas plataformas se pueden mover a diferentes áreas en el océano, permitiendo la rotación de cultivos y la recuperación natural de los ecosistemas marinos.

La sociedad de clasificación de buques, RINA, ha anunciado la Aprobación en Principio (AiP) de un buque de acuicultura en alta mar de nuevo concepto. El buque de acuicultura Ocean Ark es desarrollado por Ocean Arks Tech de Chile (OATECH) de acuerdo con las normas RINA y las regulaciones Marpol, Solas e IMO. El buque Ocean Ark ofrece un nuevo enfoque para la acuicultura y está destinado a revolucionar la industria al mejorar drásticamente la salud de los peces, la comodidad de la tripulación y la imagen de la industria.

El océano puede ofrecer la única oportunidad para que la acuicultura satisfaga las necesidades nutricionales de una población mundial en aumento. Desplegar el Ocean Arks lejos de las olas de calor marinas, las floraciones de algas y las tormentas (los tres talones de Aquiles de la acuicultura) produciría proteínas de mayor calidad y aumentaría la producción mundial de pescado sin aumentar las presiones sobre las poblaciones de peces y los hábitats costeros.

<https://oatech.cl/>

<https://www.aqua.cl/ocean-arks-tech-alcanza-un-hito-importante-con-su-tecnologia-revolucionaria-de-acuicultura-oceanica/>

3. Sistemas de recolección de residuos

AKVA Group

AKVA Group ofrece soluciones tecnológicas para la recolección de residuos sólidos en jaulas de acuicultura. Estas soluciones están diseñadas para recolectar los desechos que se acumulan en el fondo marino bajo las jaulas, como los restos de alimento y las heces de los peces. El uso de estos sistemas ayuda a mitigar el impacto ambiental que la sedimentación de estos residuos puede causar.

Sistemas de aspiración: ha implementado sistemas de tuberías y bombas que permiten aspirar los residuos directamente del fondo de las jaulas y transportarlos a sistemas de tratamiento o almacenamiento fuera del sitio de cultivo.

Robots submarinos: Algunas de las soluciones más avanzadas incluyen robots submarinos equipados con cámaras y sensores, que se encargan de identificar y recoger los residuos acumulados en las áreas cercanas a las jaulas.

LiftUP (Noruega)

Empresa noruega fundada en 1991, ha sido un pionero en el desarrollo de soluciones innovadoras para la extracción de residuos en la acuicultura, con un enfoque en minimizar el impacto ambiental de los centros de cultivo. Su tecnología denominada LiftUP Cleaner, es capaz de recolectar hasta el 60% del lodo y otros desechos de las jaulas abiertas, reduciendo así la sedimentación en el fondo marino, lo que contribuye a un entorno más saludable tanto para los peces como para el ecosistema circundante.



LiftUP AS produce, vende e instala equipos que eliminan los peces muertos, los desechos y los lodos de las jaulas de los peces. La empresa está ubicada en Eikelandsosen, en el municipio de Bjørnafjorden, y fue la primera del mundo en lanzar este tipo de sistema de tratamiento.

En los últimos años, LiftUP ha invertido mucho en el desarrollo de sistemas de recogida de lodos de jaulas. Los residuos concentrados se almacenan en tanques y se transportan a una planta de biogás, donde se convierten en energía renovable y en un fertilizante de alta calidad.

<https://www.salmonexpert.cl/centros-de-cultivo-energa-renovable-fertilizantes/sistema-de-recoleccion-atrapo-el-60-de-los-lodos-de-centros-de-cultivo/1369949>

<https://www.fishfarmermagazine.com/2021/10/04/waste-specialist-liftup-joins-framo/>

Funcionamiento del sistema:

Recolección automatizada: El sistema se basa en la recolección de residuos desde el fondo de las jaulas. Esto incluye lodo, desechos orgánicos y peces muertos. Los residuos son succionados a través de tuberías sumergidas conectadas a colectores especiales en el fondo de las jaulas.

Transporte mediante bombas: Los residuos recogidos son transportados mediante un sistema de tuberías cerradas hasta una barcaza o una instalación en tierra para su procesamiento. Este transporte puede cubrir distancias de hasta 600 metros, dependiendo del diseño de la instalación.

Filtración y tratamiento: Una vez en la barcaza o planta en tierra, los desechos son separados. El lodo es deshidratado y el material sólido es almacenado para su transporte a una planta de biogás, donde se convierte en energía renovable y fertilizantes de alta calidad.

Automatización total: El sistema funciona de manera completamente automatizada, lo que significa que puede operar bajo cualquier condición climática y ser controlado remotamente o mediante temporizadores preconfigurados. Esto reduce la necesidad de intervención humana, minimizando los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores.

Beneficios medioambientales: Al recolectar eficientemente el lodo y los restos orgánicos, el sistema LiftUP ayuda a reducir la acumulación de desechos en el fondo marino, lo que mejora la calidad del agua y reduce los impactos ambientales negativos. Además, al reciclar los desechos en plantas de biogás, se cierra el ciclo de los residuos en un proceso de economía circular. Este sistema representa una innovación importante en la acuicultura, al combinar eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y reducción de costos operativos a largo plazo.

<https://www.framo.com/aquaculture/>

Resultados preliminares de pruebas a escala real

Un sistema de jaula diseñado para reducir la acumulación de lodo debajo de los centros de cultivo recolectó alrededor del 60% de las heces de los peces y el alimento no consumido en un sitio durante una prueba, a largo plazo, en Noruega.

4.- Aireación y sistemas de burbujeo

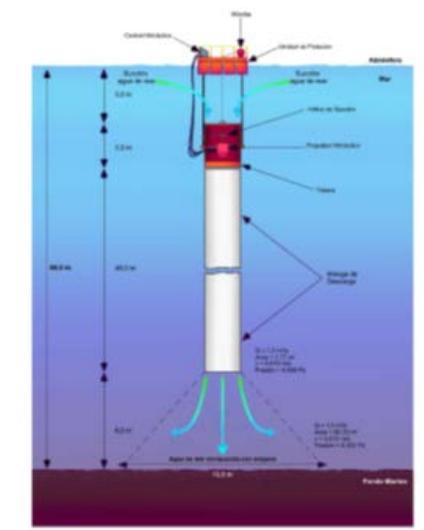
DVS Tecnología (Inyección de agua de mar rica en oxígeno)

El Servicio de Conservación de Fondo (SCF) desarrollado por DVS tecnología se basa en la inyección de agua rica en oxígeno disuelto hacia el sedimento mediante un dispositivo llamado Equipo Desplazador de Masas de Agua (DMA). El equipo consta de una plataforma flotante que sostiene verticalmente una "Tobera". En esta plataforma se encuentran una central hidráulica y un huinche eléctrico, que permiten ajustar la profundidad y asegurar el funcionamiento de la tobera.

La tobera contiene una bomba axial que actúa como el corazón del equipo, con un rendimiento promedio de 8 horas y un caudal de convergencia medio de 1.2m³/seg. Este caudal se extrae de la columna de agua en un rango de profundidad de 3 a 16 metros, dependiendo de la batimetría del área.

Posteriormente, el agua se transporta a trav3s de una manga especializada en forma de tubo, con un 3rea de 1.77m² y soporte de 4.099 Pa, y se descarga sobre una superficie de 100m² en el lecho marino. Se garantiza que la salida del difusor se encuentre a una distancia m3nima de 6 metros del fondo marino para evitar la re-suspensi3n de sedimentos.

Durante el proceso, la plataforma se ubica en una posici3n georreferenciada y se monitorea constantemente. El agua propagada genera una ventilaci3n forzada sobre el sedimento, simulando corrientes naturales de downwelling. Esto prolonga la saturaci3n de la capa l3mite laminar del sedimento, promoviendo los procesos aer3bicos naturales cuando las condiciones ambientales son insuficientes. **Esquema del equipo Desplazador de Masas de Agua (DMA) en aplicaci3n de Servicio de Conservaci3n de Fondo (SCF), con capacidad de inmersi3n de agua desde 2 hasta 60 m de profundidad:**



De acuerdo a la res. Ex.1104/22 se debe determinar la eficacia del sistema de oxigenaci3n del estrato inferior de la columna de agua seg3n lo establecido en la Resoluci3n Exenta N31141 de 2022, espec3ficamente en el numeral 11, letras a y b, esta metodolog3a se basa en el seguimiento de mediciones de perfiles de ox3geno y filmaciones para determinar la eficacia del sistema. Los muestreos de perfiles de ox3geno y grabaciones se realizan de acuerdo con periodos de monitoreo previamente establecidos, los cuales se dividen en 4 fases: 1. "Previo al Inicio de la aplicaci3n", 2. "Durante la Aplicaci3n", 3. "T3rmino de la Aplicaci3n" y 4. "30 D3as Post T3rmino de la aplicaci3n". La metodolog3a del monitoreo de "No Re-suspensi3n" fue dise1ada por DVS Tecnolog3a, siguiendo lo establecido en la Resoluci3n Exenta N31141 de 2022, en su numeral 12, letras c y d. Esta metodolog3a se enfoca en el monitoreo de mediciones de turbidez del agua y filmaciones subacu3ticas del proceso de operaci3n del mecanismo f3sico, con el fin de determinar la ausencia de Re-suspensi3n. Los muestreos de agua y grabaciones corresponden a periodos de monitoreo previamente establecidos, divididos en las siguientes etapas: 1. "Previo al Inicio de la aplicaci3n", 2. "Inicio de la Aplicaci3n", 3. "Durante la Aplicaci3n" y 4. "Previo al T3rmino de la aplicaci3n".

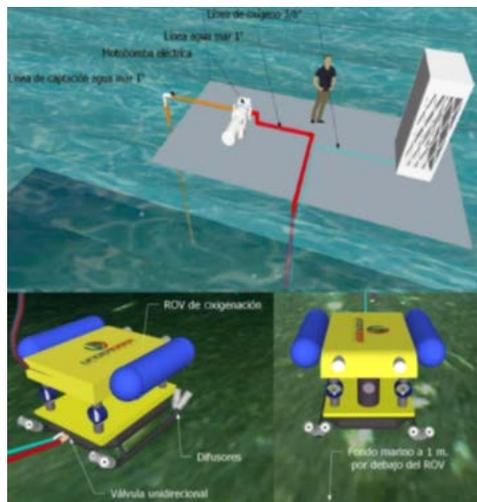
Underdeep Solutions SPA

La tecnolog3a de sistema inyecci3n de agua de mar enriquecida con ox3geno tiene como antecedente a **Forth et al. (2015)**, quienes a trav3s del proyecto Baltic Deep-water Oxygenation (BOX) demostraron cambios significativos en la condici3n bacteriana del fiordo Swedish Byfjord, luego del bombeo de agua superficial hacia capas de agua de fondo an3xicas. El aumento en los flujos de

agua rica en oxígeno hacia la columna de agua inferior y la zona bentónica dio lugar a cambios en la comunidad bacteriana similares a los de fiordos óxicos de control, por lo que el diseño del proyecto de oxigenación demostró ser una posibilidad para la mantención de condiciones aeróbicas de cuerpos hipóxicos o anóxicos de agua marina.

Otra referencia (aunque relativa a sedimentos y no a columna de agua) corresponde a la técnica de recuperación de sedimentos marinos hipóxicos/anóxicos referida por Ferrández *et. al.* (2017). Mediante un ensayo a escala de laboratorio llevado a cabo por 68 días se realizó la inyección de agua de mar saturada de oxígeno en sedimento marino, a partir de muestras de sedimento obtenidas desde la playa de la Marineta Casiana (sur del puerto de Dénia, Alicante, España). Durante el ensayo el porcentaje de oxígeno disuelto pasó de condiciones de hipoxia en el sedimento (<30% de saturación de oxígeno), en los primeros 10 días de aplicación, a condiciones de buena oxigenación a partir de los 20 días de inyección (68% saturación de oxígeno). De esta manera el tratamiento del sedimento con inyección agua de mar saturada en oxígeno redujo en un 87% el contenido de materia orgánica en el sedimento, corroborando su eficacia como método de oxigenación.

En virtud de la experiencia y resultados de estos métodos, se propone la inyección de agua de mar enriquecida con oxígeno en la columna de agua, como sistema de recuperación y/o mantención de la condición ambiental aeróbica. El sistema está diseñado para la inyección de oxígeno disuelto en el estrato inferior de la columna de agua, lo que se hará mediante la toma de agua de mar a través de una línea o tubería de HDPE de 1 pulgada de diámetro, una motobomba eléctrica necesaria para su impulsión y una tubería de HDPE de 3/8 de pulgada de diámetro que conducirá el oxígeno comprimido en estado gaseoso disponible en cilindros. El agua de mar captada a una profundidad aproximada de 10 m, enriquecida con oxígeno, será liberada a través de difusores dispuestos en la estructura de un ROV (vehículo operado remotamente). Este sistema se implementará a bordo de una embarcación. **Ilustración esquemática del sistema de aplicación de inyección de agua de mar rica en oxígeno, de la empresa UnderDeep Solutions SPA:**



La mezcla de ambos fluidos se conducirá hacia difusores de 1 mm de diámetro nominal para su entrega o liberación al estrato inferior de la columna de agua. Se considera el uso de 8 difusores dispuestos en la estructura del ROV, el cual contará con un sistema de posicionamiento acústico y un sensor altímetro que permitirá que la maniobra de entrega del agua de mar enriquecida con oxígeno pueda ser controlada tanto en la posición del R.O.V, como en la altura de aplicación. El flujo de salida desde los difusores podrá ser horizontal, perpendicular o vertical al fondo, guardando el ROV en todo momento una distancia mínima de 1 m respecto del fondo, evitando con ello cualquier

posible fenómeno de re-suspensión, lo cual será controlado y monitoreado a través de los componentes periféricos con que cuenta el equipo, según se ha detallado precedentemente.

La condición de funcionamiento del equipo corresponde a suministrar 20 bar de presión con un caudal 0,025 l/min de entrada en superficie, lo que entrega un flujo de salida en los difusores de 13,89 bar y 0,0044 l/min, con velocidad máxima de 9 cm/s, velocidad inferior al límite crítico de re-suspensión de 9,5 cm/s. La inyección de agua de mar saturada con oxígeno en el estrato inferior de la columna de agua será en concentraciones del orden de los 11,9 mg/l y 131% de saturación.

La velocidad máxima de 9 cm/s se determinó resolviendo las formulaciones denominadas equilibrio de Bernoulli y de conservación de la masa, quedando comprobado que no existe riesgo de re-suspensión de sedimentos, en función de los parámetros de entrada antes señalados. Por otra parte, es sabido que el material (HDPE) con el cual están compuesta las líneas de transmisión hidráulica (agua de mar y oxígeno) es un material con un coeficiente de Manning muy cercano a cero, es decir, no ofrece resistencia al avance del flujo (fricción despreciable). A partir de lo anterior, se puede estimar que el flujo dentro de las cañerías en cuestión es del tipo laminar con un número de Reynolds menor a 2000. Es por esto por lo que solo se consideran pérdidas de carga por presión hidrostática y no por carga por fricción ni por singularidades en la línea.

Kran SPA

Una nano burbuja es un gas encapsulado muy diminuto, invisible al ojo humano, lo cual genera que las propiedades físicas de los gases cambien de lo tradicional. Esto es favorable para la aplicación que se utilizará.

La aplicación incluye como eje principal el uso de equipos generadores de nanoburbujas fabricado por la empresa Kran SpA.

El equipo generador de nanoburbujas K500 de la empresa Kran genera un aguahiper saturada de nanoburbujas de oxígeno, con una medición de oxígeno disuelto entre 25 y 45 mg/l sin necesidad de recirculación. El equipo será alimentado de agua de mar por medio de una bomba eléctrica trifásica que será suministrada de energía por un generador que se encontrará en la embarcación. Por otro lado, el oxígeno que se utilizará para la generación de las nanoburbujas, estará contenido en cilindros de 9 m³ para el caso del oxígeno, en cilindros de 128 m³ de oxígeno criogénico o mediante un concentrador de oxígeno.

DIFUSORES

La inyección de nano burbujas se realizará mediante el uso de tres difusores a 13cm del fondo, con una velocidad de chorro menor al límite definido por la literatura que es de 9,5 cm/seg (Cromey *et. al.* 2012), velocidad que evita la re-suspensión del sedimento en el fondo marino.

DETALLE DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE APLICACIÓN.

Este equipo modular es alimentado por agua de mar desde la superficie, succionada por una bomba hidráulica superficial. El agua succionada es ingresada al equipo de Kran con un caudal de 600 L/min, inyectada con oxígeno gaseoso a un caudal de 5 a 10 L/min, con una presión de 3 a 5 bar. El agua y el gas salen del equipo mezclados en millones de nano burbujas.

El equipo generador de nano burbujas transfiere cualquier gas a diferentes medios acuosos. El sistema funciona gracias a diferencias de presión que crean efectos hidrodinámicos, que a su vez forman cavidades de gas dentro del fluido. Las nano burbujas generadas tienen un tamaño que oscila entre 10 nm y 1000 nm, con un promedio de 200 nm. Se crean cientos de millones por ciclo de aplicación, considerando entre 100 hasta 400 millones de nano burbujas por mL de agua.

Como consecuencia del proceso descrito, se obtiene agua enriquecida con nano burbujas, la cual, al ser aplicada en una columna de agua, acelera el proceso natural de la oxigenación de los fondos marinos.

Austral Plus

Austral Plus es una empresa chilena que provee soluciones industriales de oxigenación mediante nanoburbujas para la industria acuícola. Utiliza tecnología líder a nivel global en generación de nano burbujas con un equipo de trabajo altamente calificado con experiencia en la industria acuícola y

aplicación de nano burbujas en múltiples industrias. Austral Plus nace con la misión de aportar al desarrollo sustentable de la industria acuícola mediante el uso de nano burbujas de oxígeno. Esta tecnología tiene mucho que aportar a la sustentabilidad y explotación responsable de los recursos naturales.

El diseño y sistema hidráulico son piezas clave para evitar efectos adversos en el ecosistema, esto debido a que velocidades muy altas o burbujas muy grandes (distintas a las nano burbujas) podrían provocar re-suspensión de sedimentos y surgencia de aguas anóxicas en la inyección de oxígeno en la columna de agua. En particular, equipos inadecuados que no logren generar nano burbujas de 100 nanómetros de diámetro, generarán re-suspensión de sedimentos a la columna de agua, de ahí la importancia de contar con tecnología de punta como la fabricada por Moleaer®. El sistema utilizado tiene una velocidad de diseño de 8 cm/s.

El agua inyectada tiene concentraciones de oxígeno del orden de 30 mg/L y entre 200% a 300% de saturación. A mayor concentración de oxígeno en el medio, menor será la velocidad de difusión del oxígeno en el agua y viceversa. Como se indicó anteriormente, las nano burbujas poseen carga negativa, lo que impide que se acoplen entre sí y su movimiento browniano generará que permanezcan en la capa donde son inyectadas sin cambiar la densidad del agua en el punto de inyección.

Mediante el uso de ROV's, se monitorea el punto de inyección para así verificar que no exista re-suspensión. El sistema de inyección (generador de nano burbujas) se instala en la superficie de un barco y luego en una plataforma, y desde allí se baja una manguera hasta la profundidad requerida para generar la inyección de nano burbujas.

5. Gestión de la alimentación a través de IA

AKVA Group

AKVA connect es una plataforma de software diseñada para optimizar la alimentación de peces mediante el uso de sensores y datos en tiempo real. Este sistema permite ajustar las cantidades de alimento y el momento de la alimentación según las condiciones ambientales y el comportamiento de los peces. Al optimizar la alimentación, se reduce el desperdicio de alimentos no consumidos que se convierten en sedimentos en el fondo marino. Esta tecnología ha sido implementada en varios centros de cultivo de salmón, ayudando a reducir los desechos y mejorando la sostenibilidad operativa.

Impacto Ambiental: Al minimizar la sobrealimentación, se disminuye el exceso de nutrientes y materia orgánica que llega al fondo, lo que ayuda a prevenir la eutrofización y la acumulación de sedimentos que dañan los ecosistemas locales.

CageEye

El proyecto europeo REMORA tiene como objetivo el desarrollo de tecnologías de recolección y procesamiento de datos en tiempo real en centros de cultivo de acuicultura. CageEye ha desarrollado una Tecnología Acústica para el Monitoreo de Peces, la cual utiliza sensores acústicos y algoritmos avanzados de inteligencia artificial para monitorear el comportamiento de los peces en las jaulas. Esta tecnología permite una alimentación más eficiente, ajustando la cantidad de alimento en tiempo real según el comportamiento de los peces. Esto evita la sobrealimentación, que es una de las principales causas de sedimentación en el fondo marino. Al mejorar la eficiencia en la alimentación y evitar el exceso de comida que cae al fondo, CageEye ayuda a reducir la acumulación de sedimentos.

CageEye también ha sido parte de un movimiento creciente en la salmonicultura para alcanzar una producción de "cero desperdicios". A través de su tecnología de monitoreo y análisis en tiempo real, la empresa busca no solo reducir la sedimentación, sino también minimizar los desechos orgánicos en el agua. Este enfoque ha sido probado en centros de cultivo piloto, donde se ha logrado reducir notablemente el impacto ambiental de los centros de cultivo, lo que podría ser un paso hacia operaciones totalmente sostenibles en el futuro.



Si bien CageEye ha tenido una presencia fuerte en Noruega, también ha expandido sus operaciones a otros países líderes en la producción de salmón, como Chile. En nuestro país, han trabajado en la instalación de sus sistemas de monitoreo en varios centros de cultivo, donde han obtenido resultados positivos en términos de reducción de sedimentos y mejora de la eficiencia en la alimentación.

Un estudio relevante publicado en Aqua.cl reportó la adopción de las tecnologías de CageEye por varias empresas salmoneras en Chile, destacando la optimización de la alimentación y la reducción de desechos orgánicos que contribuyen a la sedimentación. Este tipo de tecnologías ha sido especialmente útil en las zonas costeras del sur de Chile, donde la presión sobre el medio ambiente es alta debido a la concentración de centros de cultivo.

Además, en Salmonexpert.cl se menciona que la aplicación de estas tecnologías ha permitido a las empresas chilenas mejorar la eficiencia alimentaria hasta en un 15%, lo que ha resultado en una menor cantidad de alimento no consumido que se acumula en el fondo marino. Los estudios también indican que, gracias a la capacidad de ajustar la alimentación en tiempo real, las empresas acuícolas han podido mejorar significativamente las condiciones del agua y minimizar los impactos sobre los ecosistemas del fondo marino

Benchmark Holdings (Reino Unido/Chile/Noruega)

Una de las principales tecnologías de Benchmark se centra en la optimización de la alimentación de precisión para los peces. Esto implica el uso de piensos formulados con precisión para reducir el exceso de nutrientes y la cantidad de alimento que no se consume, lo que a su vez minimiza los residuos que se depositan en el fondo marino. Estos piensos están diseñados para mejorar la eficiencia alimentaria, reduciendo la cantidad de fósforo y nitrógeno que podría llegar al medio ambiente.

Resultados: Pruebas realizadas en centros de cultivo de salmón en Noruega y Chile han mostrado una reducción significativa de nutrientes en las aguas circundantes, disminuyendo la acumulación de desechos en el lecho marino en un 30-40%.

7. Monitoreo y control ambiental (sensores ambientales)

AKVA Group

AKVA Group también ofrece sistemas de monitoreo que permiten a los productores de salmón tener un control detallado sobre las condiciones ambientales del área de cultivo. Estos sistemas recopilan datos clave, como la cantidad de residuos presentes, el flujo de corrientes y la calidad del agua, lo que facilita la toma de decisiones en tiempo real para evitar la sedimentación y garantizar un entorno acuático saludable.

Sensores de fondo marino: Estos sensores monitorean continuamente las condiciones del lecho marino debajo de las jaulas y proporcionan alertas en caso de una acumulación excesiva de residuos.

Plataformas de análisis de datos: Los datos recopilados por los sensores son analizados mediante algoritmos avanzados que predicen tendencias de sedimentación, permitiendo acciones preventivas antes de que la acumulación de residuos se convierta en un problema.

InnovaSea

Esta empresa actualmente provee a la industria acuícola de sensores ambientales en tiempo real. Con sus sensores inalámbricos aquaMeasure, los que actúan como el sistema nervioso central de las soluciones de inteligencia en acuicultura. Colocados estratégicamente alrededor de las jaulas y emparejados con el aquaHub, los sensores sumergibles rastrean la temperatura y la profundidad del agua junto con una serie de otros indicadores ambientales, incluyendo: Oxígeno Disuelto, Salinidad, Clorofila, Algas Verde-Azules, Turbidez y Materia Orgánica Disuelta Coloreada.

<https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/sensores-inalambricos/>

Del tamaño de una linterna, sus sensores inalámbricos para la acuicultura son robustos y están contruidos para soportar lo peor que la Madre Naturaleza pueda ofrecer. Duran un año con una sola

batería D, vienen calibrados y listos para ser desplegados y cuentan con una fácil configuración de Bluetooth, para que puedan ser rápidamente introducirlos en el agua y empezar a monitorear balsas jaulas. **Sensores de monitoreo de condiciones ambientales empresa InnovaSea:**



Además, se puede monitorear las corrientes y el clima. El perfilador de corrientes proporciona medidas de flujo medio y datos sobre ondas y corrientes, información crucial para prevenir eventos oceanográficos. Estaciones meteorológicas complementarias monitorean las condiciones en el sitio de cultivo, manteniéndolo al tanto de los factores clave que pueden afectar las operaciones en un momento dado, tales como: Velocidad del viento, Dirección del viento, Temperatura del aire, Presión barométrica y Humedad relativa.

Blue Ocean Technology (Noruega)

Monitoreo digital y automatización, en colaboración con Schneider Electric, Blue Ocean ha integrado sistemas de monitoreo digital que permiten a los centros de cultivo controlar y optimizar sus operaciones en tiempo real. Esto incluye sensores para medir la calidad del agua y el estado de los sistemas de recolección de lodos, lo que permite una gestión más eficiente y reduce el riesgo de fallos.

Esta tecnología digitalizada no solo reduce el impacto ambiental, sino que también optimiza los recursos energéticos, mejorando así la rentabilidad operativa.

WavEC (Portugal/Noruega)

WavEC ha contribuido al desarrollo de sistemas de monitoreo y tratamiento de residuos para la acuicultura, que combinan innovación tecnológica con soluciones basadas en la naturaleza.

Monitoreo digital de desechos: Una de las tecnologías centrales de WavEC es el uso de sensores avanzados que permiten monitorear en tiempo real la calidad del agua y la acumulación de nutrientes en el entorno acuícola. Esto incluye la medición de niveles de oxígeno, temperatura y concentraciones de nutrientes que podrían causar daños en el lecho marino si no se gestionan adecuadamente.

Plataformas flotantes inteligentes: WavEC ha desarrollado plataformas flotantes equipadas con sensores submarinos y sistemas de filtración que recolectan partículas en suspensión y otros residuos sólidos antes de que lleguen al fondo marino. Estos sistemas no solo capturan desechos,

sino que también analizan los datos recopilados para optimizar la gestión de los residuos y adaptar las operaciones acuícolas en tiempo real.

Además de evitar que los desechos lleguen al lecho marino, WavEC trabaja en tecnologías que permiten el reciclaje de nutrientes mediante la integración de sistemas de acuicultura multitrófica integrada (IMTA), que combinan el cultivo de diferentes especies en una misma instalación. Esto ayuda a reducir la contaminación mediante la utilización de los nutrientes como recurso para otras especies, como algas o moluscos.

8. Sistemas RAS

AKVA Group

AquaOptima, una división de AKVA group, se especializa en sistemas de recirculación acuática (RAS). Estos sistemas permiten criar peces en ambientes controlados y de recirculación de agua, donde los desechos y los nutrientes pueden ser filtrados y eliminados antes de que lleguen al ambiente natural. Al reducir la cantidad de desechos que se liberan en el océano, el RAS minimiza la sedimentación y mejora el control sobre los impactos ambientales.

Según indican que los sistemas RAS son altamente eficientes en la reducción de desechos orgánicos y la sedimentación, ya que, permiten que los acuicultores reutilicen el agua y eliminen los nutrientes antes de liberarla en el medio ambiente.

Benchmark Holdings (Reino Unido/Chile/Noruega)

Ha sido pionero en el uso de sistemas de recirculación acuícola (RAS), que permiten la reutilización del agua en los centros de cultivos, limitando la cantidad de desechos que llegan a los ecosistemas marinos. Estos sistemas filtran el agua y retienen los residuos sólidos, evitando que se liberen al mar. RAS es especialmente útil en acuicultura en tierra y en sistemas de ciclo cerrado en el mar, donde el tratamiento del agua es clave para mantener un ambiente saludable para los peces.

Los sistemas RAS utilizan filtros biológicos y mecánicos para eliminar amoníaco, nitrógeno y otros desechos antes de devolver el agua tratada a los tanques. Esto reduce tanto el consumo de agua como la liberación de residuos al mar.

Se ha demostrado que los sistemas RAS pueden reducir hasta un 95% de los desechos sólidos que normalmente serían liberados en el entorno marino, contribuyendo a la sostenibilidad de las operaciones.

Benchmark ha implementado tecnologías para la captura de desechos sólidos, como excrementos y restos de alimentos, que de otro modo se hundirían en el fondo marino y afectarían a los ecosistemas. A través de sistemas de filtración y recolección de residuos, se capturan los sólidos antes de que lleguen al lecho marino, lo que también contribuye a mejorar la calidad del agua y reducir la sedimentación.

Los residuos sólidos capturados se pueden procesar y convertir en productos útiles, como fertilizantes, contribuyendo a la economía circular en la industria acuícola.

9. Jaulas cerradas y semicerradas

AKVA Group

Han trabajado en colaboración con otras empresas en el proyecto **Atlantis Subsea Farming**, que involucra el desarrollo de jaulas cerradas sumergidas. Estas jaulas están diseñadas para evitar que los desechos orgánicos, como las heces de los peces y los restos de alimentos, lleguen al fondo marino. Al contener los desechos, estas jaulas evitan la sedimentación directa bajo las jaulas de cultivo, lo que reduce el impacto en los hábitats del lecho marino.

Impacto Ambiental: Las jaulas cerradas ayudan a contener y gestionar mejor los desechos, permitiendo su recolección y posterior tratamiento en lugar de dispersarse directamente en el entorno acuático.

Otra innovación clave de AKVA Group es el desarrollo de jaulas cerradas y semi-cerradas que ayudan a controlar la dispersión de residuos y minimizar el impacto ambiental. En estos sistemas,



los residuos sólidos se contienen dentro de la estructura de la jaula, lo que facilita su recolección y manejo sin que se liberen al entorno marino circundante.

Beneficios:

Reducción de la sedimentación: Al recolectar residuos de manera eficiente, se disminuye la acumulación de desechos orgánicos en el fondo marino.

Mejora de la calidad del agua: Los sistemas de monitoreo permiten mantener la calidad del agua en niveles óptimos.

Sostenibilidad ambiental: Al reducir el impacto sobre los ecosistemas marinos, estas soluciones ayudan a hacer la salmonicultura más sostenible.

Propiedades de las nanoburbujas en comparación con micro y macroburbujas en cuanto a la mayor eficiencia en su transferencia de masa, su permanencia en el medio (mov. Browniano) y su liberación de energía (radicales libres) al reventar en el medio.

Anexo 10. Costos económicos.

- Costo eutroficación**

Nutriente	(\$/muestra)	UF/muestra (oct 2024)	Total muestras con 2 réplicas (UF)	Total muestras con 3 réplicas (UF)
NH ₄	10.000	0,264	12,650	18,974
NO ₃	6.000	0,158	7,590	11,385
NO ₂	3.500	0,092	4,427	6,641
PO ₄₃	4.000	0,105	5,060	7,590
DSi	3.500	0,092	4,427	6,641
Silicato	3.500	0,092	4,427	6,641
Total	30.500	0,804	38,581	57,872
			\$1.464.000	\$2.196.000
costo promedio INFA UF		121,60	160,18	179,47
% de aumento			32%	48%

Estaciones	8
Estratos	3
Réplica 1	2
Réplica 2	3
Valor de la UF (*)	\$37.946

(*) SII, 10 oct 2024

- Costos O₂ Profundo**

INVERSIÓN	UF	\$		
ROV	48,5	1.839.412		
Equipo multiparamétrico	68,5	2.600.000		
COSTO INCREMENTAL	UF	UF	\$	
Insumos (**)	3,5	17,3	656.000	
Filmación submarina (*)	24	24	910.697	
Total	27,5			



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

(*)	Se estima en un quinto del precio del INFA de centros de categoría 4 y 5 (80UF/INFA)	80
(**)	Se estima que los insumos para el equipo paramétrico cubrirían 4 muestreos	4
	valor de la UF, SII, 10 oct 2024	37.946
	precio promedio de un INFA	121,7
	% de aumento del precio del INFA	23%

- **Multiparamétrico**



HANNA Instruments Equipos Ltda
RUT : 78972190-4
email:ventas@hannachile.com

COTIZACION N° 424772

Fecha : 25/09/2023 - Vigencia : 10/10/2023

Señores: INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - PUERTO MONTT

Atención: Srta. CAROLINA SOTOMAYOR **Fono:** 32-2151500 **E-mail:** carolina.sotomayor@ifop.cl

De nuestra consideración:
Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

N°	Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Dto %	Total	
1	HI 98494	Multiparámetro portátil Bluetooth pH/CE/OPDO con HI 7698494/4 (4 m cable) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>		1	\$3.012.900	15,00	\$2.560.965	
2	201.30	Desp Turbus Sur IX,X,XI,XII,XIV hasta 5kg					\$29.000	
							Neto	\$2.589.965
							IVA (19%)	\$492.093
							Total	\$3.082.058

OBSERVACIONES
15% Descuento para equipos Multiparámetros, válido hasta 29 Septiembre 2023.
Información de Garantía y Devoluciones en siguiente página.
Plazo para realizar la devolución es de 10 días a contar de la fecha de recepción.
Se requiere número de aprobación gestionado con su vendedor para recepcionar un producto devuelto.
De conformidad a lo dispuesto en la ley 19.496 el cliente o consumidor podrá ejercer su derecho a retracto en la forma prevista por este cuerpo legal y su reglamento.

INFORMACIÓN DE DESPACHO
Envío por Starken (Tur Bus) a:
José Manuel Balmaceda 252
Región: Los Lagos
Comuna: PUERTO MONTT
Ciudad: PUERTO MONTT

Plazo de Entrega:
Hasta 5 días hábiles desde el despacho.

CONDICIONES COMERCIALES
Forma de Pago O/C 30 días
Validez Oferta 15 días, excepto para oferta de promociones especiales, en cuyo caso la validez estará determinada por el periodo de duración de la promoción

Estefania Aracena
HANNA Instruments

Lo Echevers 311, Quilicura, Santiago
Teléfono: (2) 28625700
Compra desde www.hannachile.com
f @ in /hannachile



1



• **Costo de verificación en terreno**

PRECIO DE LOS SERVICIOS SEGÚN CONTRATOS		
valor \$	año	valor UF
85.500.000,0	2013	22.837,1
118.000.000,0	2014	23.312,6
203.000.000,0	2015	24.627,1
210.000.000,0	2016	25.629,1
PROMEDIO		24.101,5

• **COTIZACIÓN INSUMOS**



HANNA Instruments Equipos Ltda
RUT : 78972190-4
email:ventas@hannachile.com

COTIZACION N° 424788

Fecha : 25/09/2023 - Vigencia : 10/10/2023

Señores:	INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - PUERTO MONTT		
Atención:	Srta. CAROLINA SOTOMAYOR	Fono: 32-2151500	E-mail: carolina.sotomayor@ifop.cl

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

N°	Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Total
1	HI 70007C	Caja 25 unid. buffer 7.01 certificado (20ml) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$47.200	\$47.200
2	HI 70004C	Caja 25 unid. buffer 4.01 certificado (20 ml) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$47.200	\$47.200
3	HI 70010C	Caja 25 unid. buffer 10.01 certificado (20ml) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$47.200	\$47.200
4	HI 700630P	Solución de Limpieza de Electrodo <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$52.500	\$52.500
5	HI 70039C	Solución conduct. 5000 uS/cm c/ certificado <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$47.200	\$47.200
6	HI 7698194-0	Módulo de pH de repuesto para la sonda HI7698 <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$216.300	\$216.300
7	HI 76409A/P	Membranas de repuesto de PTFE, 5 unidades <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$92.400	\$92.400
8	HI 7042S	Solución electrolítica, 30 mL. <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$29.400	\$29.400
9	HI 7021L	Solución ORP 240 mV (500 mL) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$38.800	\$38.800
10	HI 7040L	Solución de Oxígeno Cero (500 ml) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$25.200	\$25.200
11	201.30	Desp Turbus Sur IX,X,XI,XII,XIV hasta 5kg				\$13.000
					Neto	\$656.400
					IVA (19%)	\$124.716
					Total	\$781.116

• COTIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES ROV

SKU	PRODUCTO	MARCA	CATEGORIA	NETO	PVP
FIFISHEVO	ROV SUBMARINO FIFISH EVO CABLE 100 METROS y SLOT SD. NO INCLUYE LENTE SVR	QYSEA	ROV	\$ 1.839.412	\$ 2.188.900
FIFISHEVOARM	ROV SUBMARINO FIFISH EVO CABLE 100 METROS CON BRAZO	QYSEA	ROV	\$ 2.353.697	\$ 2.800.900
FIFISHEVOCASE	ROV SUBMARINO FIFISH EVO CABLE 100 METROS Y MALETA INDUSTRIAL DURA	QYSEA	ROV	\$ 2.273.025	\$ 2.704.900
EXPERTM100	ROV SUBMARINO V6 EXPERT M100, CON CABLE 100 METROS Y MALETA DE POLIPROPILENO	QYSEA	ROV	\$ 3.439.412	\$ 4.092.900
EXPERTM100A	ROV SUBMARINO V6 EXPERT M100A, CON CABLE 100 METROS, MALETA INDUSTRIAL DURA Y BRAZO ROBOTICO	QYSEA	ROV	\$ 4.679.748	\$ 5.568.900
EXPERTM200	ROV SUBMARINO V6 EXPERT M200, CON CABLE 200 METROS Y MALETA INDUSTRIAL DURA	QYSEA	ROV	\$ 4.479.748	\$ 5.330.900
EXPERTM200A	ROV SUBMARINO V6 EXPERT M200A, CON CABLE 200 METROS, MALETA INDUSTRIAL DURA Y BRAZO ROBOTICO	QYSEA	ROV	\$ 5.081.429	\$ 6.046.900
EGO-E200	ROV SUBMARINO FIFISH EGO CABLE 200 METROS Y MALETA INDUSTRIAL DURA	QYSEA	ROV	\$ 6.750.336	\$ 8.032.900
EGO-E200A	ROV SUBMARINO FIFISH EGO CABLE 200 METROS Y MALETA INDUSTRIAL DURA Y BRAZO ROBOTICO	QYSEA	ROV	\$ 7.501.597	\$ 8.926.900
EGO-E-E200	ROV SUBMARINO FIFISH EGO PRO CABLE 200 METROS, MALETA INDUSTRIAL DURA , 4 BATERIAS Y ESTACION DE CARGA	QYSEA	ROV	\$ 8.073.025	\$ 9.606.900
EGO-E-E200A	ROV SUBMARINO FIFISH EGO PRO CABLE 200 METROS, MALETA INDUSTRIAL DURA, 4 BATERIAS Y ESTACION DE CARGA Y BRAZO ROBOTICO	QYSEA	ROV	\$ 8.824.286	\$ 10.500.900

TABLA COMPARATIVA RESUMEN EQUIPOS QYSEA

MODELOS						
	V-EVO	V6 EXPERT	E-GO	E-GO PRO	V6 PLUS	PRO W6
PROFUNDIDAD MAX (m)	100	100	100	200	150	350
DIMENSIONES (mm)	383 x 331 x 143	383 x 331 x 143	430 x 345 x 170	430 x 345 x 170	383 x 331 x 158	700 x 469 x 297
PESO (kilos)	3,9	4,6	5,1	5,1	5	21
VELOCIDAD MAX (nudos)	3 (1.5 m/s)	3 (1.5 m/s)	3 (1.5 m/s)	3 (1.5 m/s)	3 (1.5 m/s)	3 (1.5 m/s)
LONGITUD CABLE (m).	100	100/200	100/200	200	200	305
GARRA ROBOTICA	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	SI
LED LUMENES	5000	6000	10000, 2 x 5000	10000, 2 x 5000	6000	12000
CAMARA foto / video	4K / 60FPS	4K / 30FPS	4K / 30FPS	4K / 30FPS	4K / 30FPS	4K / 30FPS
BATERIAS	1 x 97 WH	1 x 156 WH	2 X 72WH INTERCAMBIABLES	2 X 72WH INTERCAMBIABLES	1 x 156 WH	1 X 388 WH INTERCAMBIABLE
DURACION BATERIA	HASTA 4 HORAS	HASTA 4 HORAS	HASTA 4 HORAS	HASTA 4 HORAS	HASTA 4 HORAS	HASTA 6 HORAS
MALETA DURA	OPCIONAL	OPCIONAL	SI	SI	SI	SI
SISTEMA ENERGIA CONTINUA, OPSS (ON SHORE POWER SUPPLY SYSTEM)	NO	OPCIONAL	EN DESARROLLO	EN DESARROLLO	OPCIONAL	CONSULTAR
INTERFACES	1	1	2 (HASTA 6)	2 (HASTA 6)	1	5
HERRAMIENTAS DE RECUPERACION	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL
HERRAMIENTAS DE INSPECCION	NO	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL



• **CONTRATOS IFOP (PRECIO DE PROYECTO DE VERIFICACIÓN)**

8768
Vº Bº
DEPTO.
JURIDICO

CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS CONSISTENTES EN LA VERIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS REQUERIDAS PARA LA ELABORACIÓN DE INFAS EN LOS CENTROS DE CULTIVO DE SALMÓNIDOS Y MITÍLIDOS, ENTRE EL INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO Y EL SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA

En Valparaíso, a 04 de Septiembre de 2012, entre el **SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA**, R.U.T. N° 60.701.002-1, en adelante indistintamente el "Servicio", representado por su Director Nacional, don Juan Luis Ansoleaga Bengoechea, R.U.T. N° 06.473.267-6, ambos domiciliados en calle Victoria N° 2832, Valparaíso, y el **INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**, R.U.T. N° 61.310.000-8, representado por don Jorge Antonio Toro Da Ponte, RUT N° 09.941.108-2, Biólogo Marino y Director Ejecutivo Titular del Instituto de Fomento Pesquero, ambos domiciliados en Blanco N° 839, Valparaíso, se ha convenido la celebración del siguiente contrato de prestación de servicios consistente en la verificación de los procedimientos de muestreo y análisis de las variables oceanográficas requeridas para la elaboración de INFAS en los centros de cultivo de salmónidos y mitílicos, cuyo tenor es el siguiente:

PRIMERO:

El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura mediante licitación pública N° ID 701-30-LP12, adjudicó la ejecución del servicio consistente en la verificación de los procedimientos de muestreo y análisis de las variables oceanográficas requeridas para la elaboración de INFAS en los centros de cultivo de salmónidos y mitílicos, asignándose a la oferente Instituto de Fomento Pesquero.

CUARTO:

El presente contrato entra en vigencia a contar del día 04 de Septiembre de 2012 y hasta el 31 de Enero del año 2013.

QUINTO:

Por los servicios convenidos, el Servicio pagará al Instituto de Fomento Pesquero, la suma de \$85.500.000.- (Ochenta y cinco millones quinientos mil pesos) I.V.A. exento, suma que se pagará en 5 cuotas mensuales e iguales de \$17.100.000.- (Diez y siete millones ciento mil pesos), efectuado contra entrega de un Informe Mensual de actividades, el que deberá ser aprobado por el Jefe del Depto. Administración Pesquera del Servicio.

45947

Vº Bº
DEPTO.
JURIDICO

CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIO DE COORDINACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS REQUERIDAS PARA LA ELABORACIÓN DE INFAS, EN LOS CENTROS DE CULTIVO DE SALMÓNIDOS Y MITÍLIDOS, UBICADOS EN LAS REGIONES DE LOS RÍOS, LOS LAGOS, AYSÉN Y LAS COMUNAS DE CASTRO Y QUELLÓN RESPECTIVAMENTE, DE ACUERDO LOS PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN LA R.E. N° 3612 Y SUS MODIFICACIONES

ENTRE

SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA

E

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

En Valparaíso, a 04 de Diciembre de 2014, entre el **SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA**, en adelante indistintamente el "SERVICIO" o "SERNAPESCA", entidad de derecho público, R.U.T. N° 60.701.002-1, con domicilio en calle Victoria N° 2832, de Valparaíso, por quien comparece su Director Nacional (T.P.), don **JOSÉ MIGUEL BURGOS GONZÁLEZ**, chileno, Médico Veterinario, Cédula de Identidad N° 8.663.391-4, del mismo domicilio de su representado, y la sociedad **INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**, en adelante indistintamente la "EMPRESA", persona jurídica, R.U.T. N° 61.310.000-8, domiciliada en calle Blanco N° 839, Valparaíso, y de paso en ésta, por quien comparecen don **LEONARDO ELÍAS NUÑEZ MONTANER**, chileno, Cédula de Identidad N° 7.766.782-7, del mismo domicilio de su representada, se ha convenido la celebración de un contrato de prestación de servicios, en los términos que a continuación se expresan:



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

6. Modalidad de Pago:

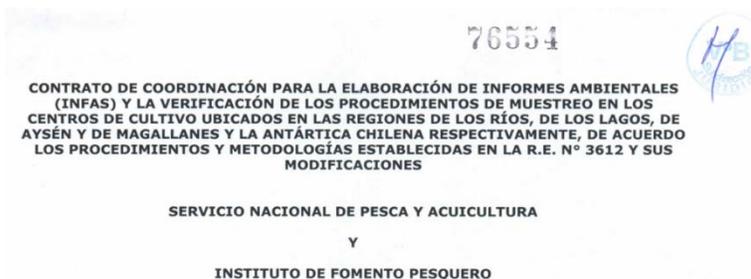
30 días corridos contados desde la fecha de entrega de factura a Oficina de Partes y recepción del servicio con V°B° del Jefe del Depto. de Administración Pesquera del Servicio o quien lo subrogue.

7. Duración del Estudio

7 meses.

8. Presupuesto Disponible

\$203.000.000.- (doscientos tres millones de pesos).



CONTRATO DE COORDINACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES AMBIENTALES (INFAS) Y LA VERIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO EN LOS CENTROS DE CULTIVO UBICADOS EN LAS REGIONES DE LOS RÍOS, DE LOS LAGOS, DE AYSÉN Y DE MAGALLANES Y LA ANTÁRTICA CHILENA RESPECTIVAMENTE, DE ACUERDO A LOS PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN LA R.E. N° 3612 Y SUS MODIFICACIONES

SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA

Y

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

En Valparaíso, a 01 de Febrero de 2016, entre el **SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA**, en adelante indistintamente el "**SERVICIO**" o "**SERNAPESCA**", entidad de derecho público, R.U.T. N° 60.701.002-1, con domicilio en calle Victoria N° 2832, de Valparaíso, por quien comparece su Director Nacional, don **JOSÉ MIGUEL BURGOS GONZÁLEZ**, chileno, Médico Veterinario, Cédula de Identidad N° 8.663.391-4, del mismo domicilio de su representado, y la empresa **INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**, en adelante indistintamente la "**EMPRESA**", persona jurídica, R.U.T. N° 61.310.000-8, domiciliada en calle Blanco N° 839, Valparaíso, y de paso en ésta, por quien comparecen don **LEONARDO ELÍAS NUÑEZ MONTANER**, chileno, Cédula de Identidad N° 7.766.782-7, del mismo domicilio de su representada, se ha convenido la celebración del siguiente contrato:

Para efectos del despacho de la factura, si esta tiene formato convencional en papel, el proveedor deberá enviar dicho documento tributario a la Oficina de partes del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, ubicada en Victoria N° 2832 en Valparaíso, o en el caso que cuente con factura electrónica, a través de la casilla de correo electrónico facturas@sernapesca.cl.

5.3. PRESUPUESTO DISPONIBLE

El presupuesto disponible por los 7 meses es de \$210.000.000.- (Doscientos diez millones de pesos) IVA Exento.

SEXTO: DE LA COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN.

Durante la vigencia del contrato que resulte de la presente Licitación, el adjudicatario se relacionará con el Servicio a través del Jefe del Departamento Gestión Ambiental del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, y/o de la persona que lo subrogue, siendo este funcionario quien desempeñará la función de supervisión del contrato por parte de Sernapesca.

Por los adjudicatarios actuarán como coordinadores las personas que éstos designen, previa comunicación por escrito al funcionario señalado precedentemente, dentro de los cinco días siguientes a la suscripción del contrato respectivo.

Anexo 11. Tabla comparación mecanismos remediación de la acuicultura.

Mecanismo o Sistema	Descripción	Lugares donde se ha utilizado	Principios	Momento de Aplicación	Duración de Implementación	Eficacia Demostrada	Evaluación de Impacto Ambiental	Restricciones de Implementación	Comparación Internacional
1. Uso de corrientes y ubicación estratégica de jaulas	Ubicar las jaulas en áreas con corrientes naturales para dispersar sedimentos. Aumentar la distancia entre jaulas y el fondo marino.	Noruega y Escocia	Adaptación a condiciones hidrodinámicas variables, uso de modelamiento de partículas (depomod).	Fase de planificación y diseño del centro de cultivo	Permanente (desde la instalación)	Alta. Estudios demuestran reducción significativa de sedimentación y mejora de calidad ambiental en áreas con corrientes adecuadas	No se han reportado efectos negativos. Dispersión natural de residuos: Al aprovechar las corrientes naturales, se evita la acumulación excesiva de materia orgánica en el fondo, lo que minimiza la sedimentación. Costo bajo: No requiere tecnología adicional, solo un buen estudio del sitio para asegurar la efectividad.	Limitado por la geografía: No todas las ubicaciones tienen corrientes adecuadas, lo que restringe la aplicabilidad de esta estrategia. Riesgo de contaminación: Si no se gestiona adecuadamente, las corrientes pueden transportar residuos hacia otras áreas sensibles.	Ampliamente utilizado en Noruega y Escocia en condiciones similares (fiordos). En Chile se usa similar metodología pero la gran mayoría de las concesiones, ya han sido adjudicadas.
2. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	Pueden ser individuales o formar módulos, y se emplean principalmente en la etapa de engorda. Minimizan el contacto con el fondo marino, evitan la acumulación de sedimentos y mejor dispersión de los desechos orgánicos.	Mundial	Desarrollo de tecnologías específicas para su implementación, sobretodo en el caso que sean sumergibles.	Durante la operación del cultivo	Permanente o por ciclos productivos	Buena. Mejora de condiciones del sedimento por reducción de contacto directo con el fondo. Bajas cargas bacterianas y Caligus, bajas pérdidas por ataques de lobos marinos, Baja adhesión de fouling	Evaluaciones preliminares indican impacto positivo al reducir depósitos directos de materia orgánica. Flexibilidad: Permite mover las jaulas para evitar la acumulación prolongada de residuos en un solo lugar y ajustarse a diferentes condiciones del entorno. Mejor control de las condiciones ambientales: Las jaulas sumergibles permiten adaptarse a diferentes profundidades, beneficiando la salud de los peces y la calidad del agua.	Costos iniciales elevados: Requieren inversiones significativas en tecnología y personal capacitado para su operación. Desafíos operacionales: Las jaulas móviles y sumergibles necesitan un mantenimiento regular y presentan dificultades técnicas.	Implementado en Noruega y Canadá con resultados similares. En Chile empresas como Ecosea y Ocean Arks Tech han adaptado estos sistemas a condiciones locales
3. Sistemas de recolección de residuos (lift-up)	Mecanismos para recolectar desechos antes de que lleguen al fondo marino.	Chile y Noruega	Sistemas Lift-Up y succión.	Durante la operación del cultivo	Permanente o periódico según acumulación	Alta. Mørenot reporta 60-70% de reducción de residuos en fondos marinos	Evaluaciones preliminares positivas al extraer físicamente los residuos. Incertidumbre sobre manejo posterior de residuos. Recuperación directa: Captura los desechos sólidos antes de que se depositen en el fondo marino, reduciendo la sedimentación y la contaminación del ecosistema circundante. Eficiencia ambiental: Contribuye a un ciclo más limpio y a la disminución de la carga orgánica en el fondo marino.	Mantenimiento continuo: Los sistemas requieren monitoreo y limpieza constantes para asegurar su funcionamiento adecuado, traslado a planta de biogás. Capacidad limitada: En condiciones de alta producción, el sistema puede no ser suficiente para manejar todos los residuos.	Desarrollado en Noruega (Lift-Up, Mørenot). En Chile implementado por Biolift con tecnología noruega y resultados comparables



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

4. Aireación y sistemas de burbujeo	Inyección de aire para mantener partículas en suspensión y mejorar la oxigenación.	Noruega, Chile	Implementación de difusores de aire, nanoburbujas, microburbujas e inyección de agua de mar rica en O ₂ .	Durante la operación del cultivo y como medida de remediación	Temporal (para remediación) o permanente (preventivo)	Resultados variables. Kran reporta un 63% reducción en consumo de energía vs. otros sistemas. Efectividad no es reproducible en todos los centros	No existen evaluaciones completas. Preocupación por posible resuspensión de sedimentos. Mejora de la calidad del agua: Estos sistemas ayudan a incrementar los niveles de oxígeno disuelto en el agua, facilitando el procesamiento de la materia orgánica y previniendo la formación de zonas anóxicas. Prevención de la sedimentación: Al mantener el sedimento en suspensión, se puede evitar su acumulación en el fondo.	Alto consumo energético: Requiere energía constante para mantener el sistema en funcionamiento, lo que puede incrementar los costos operacionales. Variable de efectividad: Dependiendo de las características del sitio, estos sistemas pueden no ser lo suficientemente potentes para evitar la sedimentación en áreas extensas y su efectividad no es reproducible a todos los centros (oceanografía).	Autorizado en Chile mediante Res. Ex. N° 1141/2022. Implementado por empresas como Chucao Tech, Kran SPA, DVS tecnología. Utilizado en Noruega en condiciones similares
5. Gestión de la alimentación a través de IA	Sistemas que ajustan la alimentación a las necesidades de los peces, minimizando el desperdicio.	Mundial	Uso de sensores y cámaras submarinas. Gestión remota, generalmente por proveedor o gestor externo.	Durante todo el ciclo productivo	Permanente	Alta. Reducción del 20-30% de materia orgánica que llega al fondo marino.	Positiva al reducir desperdicios de alimento y nutrientes en el sistema. Optimización de recursos: La IA puede ajustar las cantidades de alimento suministradas con base en el comportamiento de los peces, minimizando el desperdicio de alimentos y la sedimentación resultante. Monitoreo en tiempo real: Permite realizar ajustes en tiempo real para evitar la sobrealimentación, que es una de las principales causas de acumulación de residuos en el fondo	Inversión tecnológica: Requiere equipos y software avanzados, lo que puede ser costoso para las instalaciones más pequeñas. Dependencia tecnológica: Cualquier falla en el sistema de IA podría llevar a problemas de alimentación, además por la localización geográfica de los centros la conectividad no siempre es la mejor.	Implementado en Noruega (Cermaq) y ampliamente en Chile (AquaChile) con tecnologías similares.
6. Rotación de áreas de cultivo	Alternancia de sitios de producción para permitir la regeneración del fondo marino.	Escocia, Noruega	Planificación adecuada y monitoreo ambiental.	Entre ciclos productivos	Por ciclos productivos	Alta. Permite recuperación natural del ecosistema, según literatura 1-2 años.	Positiva al permitir la Regeneración del fondo: Al rotar las áreas de cultivo, se da tiempo para que el fondo marino se regenere naturalmente, reduciendo la acumulación de residuos. Mejora de la salud del ecosistema: Ayuda a mantener un equilibrio ecológico en el sitio de cultivo, permitiendo que los procesos naturales degraden la materia orgánica acumulada.	Limitaciones espaciales: No todos los centros de cultivo tienen acceso a áreas suficientes para rotar sus concesiones de manera efectiva. Planificación compleja: Requiere una gestión rigurosa para asegurar que se respeten los tiempos de descanso del ecosistema, además de aspectos normativos que no están regulados.	Implementado en Chile, Noruega y Escocia. En Chile no se rotan las concesiones, pero si existen los descansos regulados por barrios y descansos sanitarios coordinados
7. Monitoreo y control ambiental (sensores)	Sensores que miden condiciones ambientales del fondo para prevenir sedimentación.	Mundial	Desarrollo de plataformas de análisis de datos. Gestión remota en tiempo real, ubicados muy cerca del fondo, información llega a un servidor.	Durante todo el ciclo productivo	Permanente	Alta como sistema preventivo y de alerta temprana	Positiva como sistema de monitoreo. No tiene efectos directos. Monitoreo en tiempo real: Los sensores pueden proporcionar datos en tiempo real sobre la calidad del agua y las condiciones del sedimento, permitiendo respuestas inmediatas a problemas emergentes. Prevención proactiva: Ayuda a identificar problemas antes de que afecten gravemente al medio ambiente.	Costos elevados: La instalación y mantenimiento de sensores ambientales pueden ser costosos, especialmente en centros de gran escala. Fallas tecnológicas: Cualquier mal funcionamiento o interrupción en los sensores puede resultar en decisiones incorrectas	Tecnología similar a la usada en Noruega y Escocia, en Chile no se utilizan los sensores cercanos al fondo, pero si hay un control mediante sensores hasta máximo 15m. Los que se reportan en tiempo real.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

8. Sistemas RAS	Recirculación de agua para controlar la calidad y reducir desechos. Actualmente masificado para la etapa agua dulce.	Mundial	Filtración mecánica y biológica.	Durante todo el ciclo productivo	Permanente	Alta. Reducción de hasta un 95% de desechos sólidos liberados al medio ambiente. Control efectivo de residuos y parámetros ambientales.	Positiva al contener y tratar residuos. Reducción de residuos: Al ser sistemas cerrados, los RAS controlan mejor los desechos y minimizan la descarga de nutrientes y materia orgánica al entorno. Mayor control ambiental: Los RAS permiten un control total sobre las condiciones del agua, minimizando los riesgos de contaminación externa	Costos elevados: Requieren inversiones significativas iniciales, así como costos operativos continuos altos. Complejidad operativa: Operar un RAS requiere personal altamente capacitado y monitoreo constante para asegurar su efectividad.	Más desarrollado en Noruega y Dinamarca para fase de engorda. En Chile principalmente usado en fase de agua dulce
9. Jaulas cerradas y semicerradas	Estructuras que evitan la liberación de desechos al entorno marino.	Noruega, Escocia, Chile	Sistemas de recolección integrados.	Durante toda la operación del cultivo	Permanente (desde la instalación)	Alta. Contención efectiva de residuos y evita contaminación producida por escapes masivos. Mejora la calidad del agua.	Reducción de impacto ambiental: Al controlar la salida de desechos, estos sistemas evitan que la materia orgánica llegue al fondo marino, minimizando la sedimentación. Mejora de la bioseguridad: También protege a los peces de agentes patógenos y parásitos del entorno externo.	Costo elevado: Implementar y mantener jaulas cerradas es más caro que los sistemas tradicionales de jaulas abiertas. Condiciones controladas: Deben manejarse adecuadamente para asegurar que los peces no se vean negativamente afectados por las condiciones de un espacio cerrado.	Desarrollado principalmente en Noruega (Atlantis Subsea Farming). En Chile implementaciones piloto a menor escala y empresas como Oatech (Ocean Arks Tech Spa) elaboran esa tecnología.
10. Biorremediación	Uso de microorganismos para descomponer materia orgánica acumulada.	Noruega y China	Evaluación de bacterias degradadoras.	Como medida correctiva tras acumulación	Temporal (60-90 días según condiciones)	Variable. Estudios reportan reducción de hasta 60% de materia orgánica.	Falta de estudios a largo plazo. Solución natural: Utiliza organismos vivos, como bacterias y otros microorganismos, para descomponer la materia orgánica, mejorando la calidad del sedimento. Sostenibilidad: Es un enfoque ecológico y sostenible para el manejo de residuos.	Preocupación por introducción de microorganismos no nativos Tiempo de acción prolongado: Los efectos pueden tardar en hacerse visibles en comparación con métodos mecánicos o químicos. Condiciones dependientes: La efectividad de la biorremediación depende de las condiciones ambientales locales.	Implementado en Francia y Noruega. En Chile se podría implementar con adaptaciones a condiciones locales
11. Policultivos (AMTI)	Integración de especies que actúan como biofiltros para absorber nutrientes.	Canadá	Cultivo de salmónidos con mejillones y algas.	Durante toda la operación del cultivo	Permanente	Moderada. Reducción del 40% de nutrientes disueltos con biomasa adecuada de filtradores	Estudios preliminares indican viabilidad a pequeña escala Mejor uso de recursos: Combinar diferentes especies en el mismo sistema, como filtradores y herbívoros, puede reducir la sedimentación mediante el consumo de residuos orgánicos. Diversificación de la producción: Proporciona múltiples productos al mismo tiempo, mejorando la rentabilidad.	Manejo complejo: Manejar varias especies en un mismo sistema requiere mayor conocimiento y monitoreo para evitar problemas ecológicos o de salud en los organismos. Además, que los estudios indican que la biomasa de los moluscos y algas debe ser demasiado alta para poder tener el ecosistema equilibrado.	Implementado experimentalmente en Canadá. En Chile estudios piloto sin aplicación comercial extendida.
12. Bioacumuladores de nutrientes	Algunos organismos tienen la capacidad de acumular nutrientes en sus tejidos, ayudando a reducir la cantidad de nitrógeno y fósforo en el entorno.	China	Pepinos de mar	Durante operación o como remediación	Temporal o permanente según diseño	Moderada. Efectiva a pequeña escala. Los pepinos de mar consumieron la materia orgánica depositada en el fondo, reduciendo los efectos negativos en los	Estudios limitados a pequeña escala o experimental. Descomposición orgánica: Los pepinos de mar son bioacumuladores eficientes que pueden consumir y procesar materia orgánica, reduciendo la acumulación de sedimentos.	Limitación en la capacidad: Su capacidad de procesamiento puede no ser suficiente en instalaciones de alta densidad de cultivo. Preocupación por introducción de especies.	Implementado experimentalmente en China. En Chile no se reportan estudios con especies locales.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA

						sedimentos y mejorando las condiciones del ecosistema.			
13. Agentes químicos	Uso de agentes químicos para modificar propiedades del sedimento y agua.	Mundial	Aplicación de sales precipitantes de fósforo y inhibidores de amoníaco.	Como medida correctiva tras acumulación	Temporal (según condición a tratar) y con estricto control.	Variable según compuesto. Mejora de la calidad del agua y reducción de eutrofización.	Efectividad inmediata: Los productos químicos pueden actuar rápidamente para neutralizar compuestos dañinos o para tratar áreas de alta acumulación de residuos.	Riesgos ambientales: El uso de productos químicos puede afectar negativamente a la biodiversidad y la salud del ecosistema si no se maneja con precaución. Monitoreo constante: Es necesario realizar un seguimiento estricto para evitar la acumulación de productos químicos en el entorno. Restricciones normativas. Preocupación por bioacumulación	Aplicado con mayor regulación en Noruega y Escocia. En Chile uso limitado por restricciones ambientales.



Anexo 12. Análisis Multicriterio de Tecnologías para Acuicultura Sostenible.

Análisis Multicriterio de Tecnologías para
Acuicultura Sostenible

Aplicación de métodos MCDA, TOPSIS y PCA

Rodrigo Jaramillo Teufert & Johana Ojeda Palma

2025-05-14



1 INTRODUCCION

El sector acuícola global enfrenta desafíos sin precedentes relacionados con la sostenibilidad ambiental, la eficiencia productiva y la aceptación social (Buschmann et al. 2009) En este contexto, la selección e implementación de tecnologías apropiadas se ha convertido en un factor crítico para el desarrollo sostenible de la industria acuícola. Chile, como segundo productor mundial de salmónidos, se encuentra en una posición estratégica para liderar la transformación tecnológica del sector, especialmente en la región de Los Lagos, epicentro de esta actividad productiva (Alvarez et al. 2022). La complejidad inherente a la evaluación de tecnologías acuícolas radica en la multiplicidad de criterios que deben considerarse simultáneamente: desde la presencia en mercados internacionales y nacionales, hasta aspectos como la factibilidad técnica, el impacto ambiental, la escalabilidad y la eficiencia tecnológica (Choi et al. 2020). Cada una de estas dimensiones influye de manera diferente en la idoneidad de una tecnología para contextos específicos, lo que convierte la toma de decisiones en un proceso multifactorial que requiere metodologías robustas de análisis. El presente informe aplica un enfoque de Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) (Montibeller y Franco 2010) para evaluar y comparar sistemáticamente trece tecnologías acuícolas con potencial implementación en la región. Complementariamente, se utilizan técnicas avanzadas como el método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) (Uzun et al. 2021) y el Análisis de Componentes Principales (PCA), ofreciendo una triangulación metodológica que refuerza la validez de los resultados obtenidos (Wold, Esbensen, y Geladi 1987). La metodología implementada permite no solo establecer un ranking de tecnologías según su desempeño global, sino también profundizar en sus fortalezas y debilidades específicas a través de las diferentes dimensiones evaluadas. Los datos analizados provienen de una encuesta realizada a expertos del sector, quienes valoraron cada tecnología según probabilidad de éxito y magnitud de impacto para cada criterio establecido. Como señala, este enfoque participativo es fundamental para capturar tanto el conocimiento técnico como la experiencia práctica en contextos de decisión complejos. Los resultados de este análisis tienen implicaciones directas para diferentes actores del ecosistema acuícola: empresas productoras que buscan optimizar sus operaciones, organismos reguladores interesados en promover prácticas sostenibles, centros de investigación que orientan el desarrollo tecnológico y comunidades locales afectadas por la actividad acuícola. La identificación de tecnologías prioritarias facilitará la focalización de esfuerzos y recursos, contribuyendo a una transformación gradual pero efectiva del sector hacia modelos más sostenibles y competitivos. Este estudio se enmarca en la creciente necesidad de herramientas de apoyo a la decisión que integren aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales, especialmente relevantes en un contexto de cambio climático y creciente demanda por productos acuícolas producidos responsablemente.



2 METODOLOGIA

2.1 Recopilación de datos

Los datos se obtuvieron mediante encuestas estructuradas aplicadas a un panel de 12 expertos en acuicultura, incluyendo investigadores y profesionales del sector privado. Cada evaluador valoró 13 tecnologías acuícolas en función de dos criterios principales: probabilidad de éxito y magnitud de la oportunidad, aplicados a seis dimensiones de análisis. Las evaluaciones se realizaron utilizando una escala ordinal de 1 a 5, donde 1 representa la valoración más baja y 5 la más alta. Las tecnologías evaluadas abarcan un amplio espectro de intervenciones potenciales para el sector acuícola, desde sistemas de jaulas y monitoreo ambiental hasta aproximaciones de bioremediación y gestión espacial. Las dimensiones de análisis consideradas fueron: presencia en el mercado internacional, presencia en el mercado nacional, factibilidad técnica, impacto ambiental, escalabilidad y eficiencia tecnológica. El análisis no consideró la factibilidad relacionada a la normativa nacional ni el costo de implementación de las tecnologías.

2.2 Procesamiento de datos

Los datos recopilados fueron organizados en formato tabular utilizando Microsoft Excel y posteriormente procesados mediante el software estadístico R (versión 4.4.1). Para facilitar el análisis, se transformaron los datos a formato largo (“tidy”) utilizando la función `pivot_longer()` del paquete `tidyr`. Esta transformación permitió estructurar los datos con una observación por fila, identificando cada combinación única de tecnología, evaluador, criterio y dimensión. Para cada tecnología, dimensión y evaluador, se calculó un “Nivel de Oportunidad” como el producto de la probabilidad de éxito por la magnitud de la oportunidad, siguiendo la metodología de matriz de oportunidades propuesta. Este indicador compuesto captura simultáneamente la viabilidad y el impacto potencial de cada tecnología.

Nivel de Oportunidad = Probabilidad de Éxito × Magnitud de la Oportunidad

2.3 Métodos de análisis

Se implementaron tres aproximaciones metodológicas complementarias para evaluar las tecnologías:

1. *Método de Scoring Simple*: Se calculó el promedio del Nivel de Oportunidad para cada tecnología y dimensión, agregando posteriormente los resultados para

obtener un *score* global por tecnología, normalizado a una escala de 0-100 para facilitar la interpretación.

$$\text{Score}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\sum_{k=1}^n \text{Nivel}_{ijk}}{n} \right)}{m} \times \frac{100}{9}$$

Donde:

- Score_i es la puntuación normalizada para la tecnología i
- Nivel_{ijk} es el nivel de oportunidad para la tecnología i , dimensión j y evaluador k
- n es el número de evaluadores
- m es el número de dimensiones
- El factor $\frac{100}{9}$ normaliza a escala 0-100, siendo 9 el valor máximo posible del nivel (3x3)

2. *Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA)*: Se construyó una matriz de decisión utilizando los niveles promedio por tecnología y dimensión. Se asignaron pesos diferenciados a los criterios: factibilidad técnica e impacto ambiental (20% cada uno) y presencia en mercados, escalabilidad y eficiencia (15% cada uno). Las puntuaciones se calcularon mediante suma ponderada y se normalizaron a escala 0-100.

$$\text{MCDA}_i = \sum_{j=1}^m w_j \times x_{ij}$$

Donde:

- MCDA_i es la puntuación para la tecnología i
- w_j es el peso asignado a la dimensión j (donde $\sum_{j=1}^m w_j = 1$)
- x_{ij} es el valor promedio normalizado para la tecnología i en la dimensión j

La normalización final a escala 0-100:

$$\text{MCDA_Norm}_i = \frac{\text{MCDA}_i}{\max_k(\text{MCDA}_k)} \times 100$$

3. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*: Se aplicó este método utilizando la misma matriz de decisión y pesos que en el MCDA. TOPSIS evalúa las alternativas según su distancia euclidiana a soluciones ideales positivas y negativas, proporcionando un ranking basado en proximidad relativa.

El procedimiento TOPSIS sigue estos pasos:

1. Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada:

$$v_{ij} = w_j \times \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

2. Determinación de soluciones ideales positivas (A^+) y negativas (A^-):

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\} = \{\max_i(v_{ij})|j \in J, \min_i(v_{ij})|j \in J'\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\} = \{\min_i(v_{ij})|j \in J, \max_i(v_{ij})|j \in J'\}$$

Donde J son criterios de beneficio (mayor es mejor) y J' criterios de costo (menor es mejor)

3. Cálculo de distancias euclidianas a soluciones ideales:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

4. Cálculo de proximidad relativa y normalización:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \times 100$$

Adicionalmente, se implementó un *Análisis de Componentes Principales (PCA)* para explorar relaciones subyacentes entre tecnologías y dimensiones, reduciendo la dimensionalidad del espacio de criterios y facilitando la visualización e interpretación de patrones. Los análisis se realizaron utilizando los paquetes de R: *FactoMineR* y *factoextra* para PCA, *MCDA* para análisis multicriterio, y *topsis* para el método TOPSIS. Las visualizaciones se generaron con *ggplot2*. Todo el procesamiento analítico y la generación del informe se implementaron en *R Quarto*, garantizando la reproducibilidad completa del análisis.

$$Z = X \times W$$

Donde:

- Z representa las coordenadas en el espacio de componentes principales



- X es la matriz de datos original (centrada o estandarizada)
- W es la matriz de vectores propios (eigenvectors) ordenados por valor propio (eigenvalue) descendente

Los valores propios (λ_i) indican la varianza explicada por cada componente, y el porcentaje de varianza explicada se calcula como:

$$\text{Varianza explicada}_i(\%) = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} \times 100$$

3 RESULTADOS

3.1 Score por tecnologa: Análisis Multicriterio de Tecnologías Acuícolas

Este análisis evalúa 13 tecnologías acuícolas mediante un enfoque multicriterio, basado en evaluaciones de expertos. El proceso inicia con la transformaci3n de datos a formato largo, seguido del cálculo del nivel de oportunidad como producto de la probabilidad de éxito y magnitud de impacto. Los niveles se promedian por tecnologa y dimensi3n, generando un score final normalizado (0-100). El resultado revela que las tecnologas de monitoreo y gesti3n de alimentaci3n (84.4), monitoreo ambiental (80.7) y jaulas flotantes (64.3) obtienen las mayores puntuaciones, mientras que agentes químicos (28.7) y bioacumuladores (34.6) las menores. La visualizaci3n muestra claramente esta jerarquizaci3n, facilitando la identificaci3n de tecnologas prioritarias para implementaci3n.



Figura 1 Score total por tecnologa

3.2 Analisis MCDA para Evaluaci3n de Tecnologías Acuícolas

El Análisis de Decisi3n Multicriterio (MCDA) implementado proporciona un marco estructurado para evaluar las 13 tecnologas acuícolas identificadas, considerando seis criterios con ponderaciones diferenciadas. El método asigna

mayor peso (20%) a los criterios de factibilidad técnica e impacto ambiental, reflejando la importancia de la viabilidad operativa y la sostenibilidad en el sector. Los demás criterios (presencia en mercados, escalabilidad y eficiencia) reciben una ponderación de 15% cada uno, equilibrando aspectos comerciales y técnicos. Los resultados, normalizados a una escala de 0-100, revelan que las tecnologías de monitoreo y gestión (alimentación y control ambiental) obtienen las puntuaciones más altas (95-100), seguidas por el uso estratégico de corrientes naturales (77.1). En contraste, los agentes químicos (34.19), bioacumuladores (41.68) y bioremediación (49.37) reciben las valoraciones más bajas. Esta jerarquización, representada tanto tabular como gráficamente, ofrece una base sólida para la toma de decisiones sobre inversión e implementación de tecnologías sostenibles en la acuicultura chilena, estableciendo prioridades claras para el desarrollo del sector.

Tabla 1: Ranking de tecnologías según método MCDA

Tecnología	Score MCDA (0-100)
Monitoreo y gestión de la alimentación	100.00
Tecnología de monitoreo y control ambiental	95.43
Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	77.07
Rotación de áreas de cultivo	70.25
Aireación y sistemas de burbujeo	67.53
Sistemas de recolección de residuos	62.43
Sistemas RAS	60.90
Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	58.25
Jaulas cerradas y semicerradas	54.47
Policultivos	53.88
Bioremediación	49.37
Bioacumuladores	41.68
Agentes Químicos	34.19

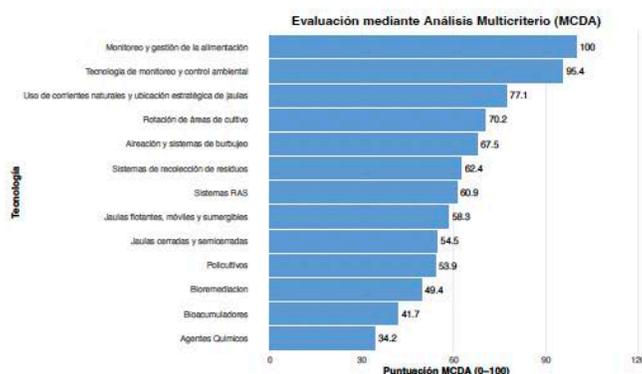


Figura 2. Evaluaci3n mediante analisis multicriterio (MCDA)

3.3 Analisis TOPSIS

El m3todo TOPSIS revela una clara jerarquizaci3n de las tecnolog3as acu3colas evaluadas, destacando un patr3n de agrupamiento por categor3as funcionales. Las tecnolog3as de monitoreo (alimentaci3n y control ambiental) dominan el ranking con puntuaciones sobresalientes (85-96), estableci3ndose como prioridades indiscutibles para el sector. Un segundo grupo incluye tecnolog3as de manejo espacial y circulaci3n (corrientes naturales, aireaci3n y rotaci3n) con valores moderados-altos (48-57). En posici3n intermedia se ubican sistemas de infraestructura (recolecci3n de residuos, RAS y jaulas) con puntuaciones entre 32-43. Finalmente, las aproximaciones biol3gicas y qu3micas (bioremediaci3n, bioacumuladores y agentes qu3micos) reciben valoraciones significativamente inferiores (5-25), especialmente los agentes qu3micos cuyo baj3simo score (5.41) indica un distanciamiento cr3tico de condiciones ideales seg3n este m3todo. Esta distribuci3n sugiere que las tecnolog3as m3s cercanas a la soluci3n ideal combinan eficacia t3cnica, viabilidad comercial y sostenibilidad ambiental, mientras que las m3s distantes presentan desbalances significativos entre criterios de evaluaci3n.

Tabla 2: Ranking de tecnologías segun método TOPSIS

Tecnología	Score TOPSIS (0-100)
Monitoreo y gesti3n de la alimentaci3n	96.24
Tecnología de monitoreo y control ambiental	85.47
Uso de corrientes naturales y ubicaci3n estrat3gica de jaulas	57.11
Aireaci3n y sistemas de burbujeo	53.87
Rotaci3n de 3reas de cultivo	48.60
Sistemas de recolecci3n de residuos	42.50
Sistemas RAS	41.75
Jaulas flotantes, m3viles y sumergibles	36.34
Policultivos	32.40
Jaulas cerradas y semicerradas	32.22
Bioremediaci3n	25.18
Bioacumuladores	18.38
Agentes Químicos	5.41



Figura 3. Evaluaci3n mediante metodo TOPSIS

3.4 Análisis de Componentes Principales (PCA) para Tecnologías Acuólicas

El PCA revela una estructura dimensional eficiente donde dos componentes explican el 91.12% de la variabilidad total. La Dimensi3n 1 (73.7%) representa

la viabilidad t3cnico-comercial, mientras la Dimensi3n 2 (17.5%) caracteriza el impacto ambiental y espacial. La proyecci3n bidimensional identifica cuatro grupos estrat3gicos: tecnolog3as de monitoreo (cuadrante inferior derecho) con excelente viabilidad t3cnica-comercial; sistemas de manejo espacial (cuadrante superior derecho) equilibrando impacto ambiental y viabilidad; infraestructuras f3sicas como jaulas y policultivos (cuadrante superior izquierdo) con orientaci3n ambiental pero menor viabilidad; y aproximaciones qu3micas/biol3gicas (cuadrante inferior izquierdo) con limitaciones en ambas dimensiones. El biplot muestra que factibilidad t3cnica, escalabilidad y presencia en mercados est3n estrechamente correlacionados y asociados con tecnolog3as de monitoreo, mientras el impacto ambiental forma un eje relativamente independiente vinculado a sistemas de rotaci3n y jaulas. Esta visualizaci3n complementa los rankings anteriores, ofreciendo un mapa estrat3gico multidimensional que equilibra consideraciones t3cnicas, comerciales y ambientales para la implementaci3n de tecnolog3as acu3colas en contextos espec3ficos.

Tabla 3: Varianza explicada por componentes principales

	Valor propio	% de varianza	% acumulado
Dim.1	4.42	73.67	73.67
Dim.2	1.05	17.45	91.12
Dim.3	0.29	4.82	95.94

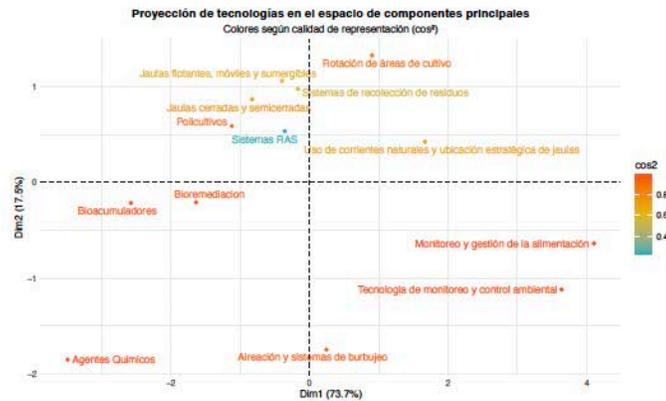


Figura 4. Proyecci3n de tecnolog3as en el espacio de componentes principales

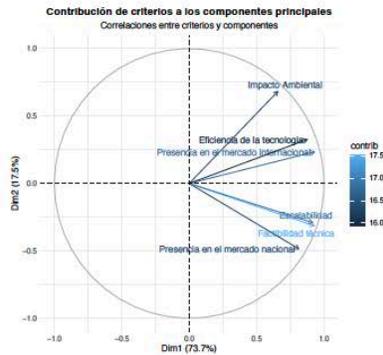


Figura 5. Contribución de criterios a los componentes principales

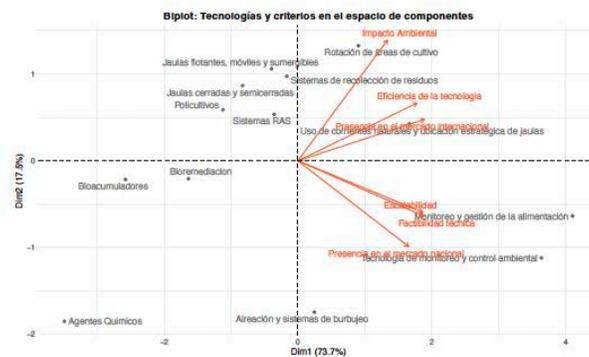


Figura 6. Biplot: Tecnologías y criterios en el espacio de componentes

3.5 Comparación de métodos de Evaluación Multicriterio

La comparación entre los tres métodos aplicados (Score Original, MCDA y TOPSIS) revela una notable consistencia en la identificación de tecnologías

prioritarias, lo que refuerza la robustez del análisis. El gráfico de barras presenta una comparación visual de las puntuaciones obtenidas por las 13 tecnologías acuícolas evaluadas según tres métodos diferentes: MCDA (púrpura), Original (verde) y TOPSIS (amarillo), en una escala normalizada de 0-100. Se observa una notable consistencia entre los tres métodos, particularmente en los extremos del ranking. Las tecnologías de monitoreo y gestión de alimentación, seguidas por monitoreo ambiental, mantienen posiciones destacadas con puntuaciones superiores a 80 en todos los métodos, confirmando su robustez como opciones prioritarias. El método MCDA tiende a otorgar puntuaciones ligeramente más altas en general, mientras que TOPSIS presenta valoraciones más conservadoras para tecnologías intermedias y bajas. Las mayores discrepancias entre métodos se observan en tecnologías como jaulas flotantes y rotación de áreas, donde las diferencias de puntuación llegan hasta 15-20 puntos. La consistencia metodológica disminuye progresivamente hacia las tecnologías con puntuaciones más bajas, aunque la tendencia descendente se mantiene para los tres métodos. Agentes químicos, bioacumuladores y bioremediación reciben puntuaciones consistentemente bajas, confirmando su posición como opciones menos favorables independientemente del enfoque evaluativo.

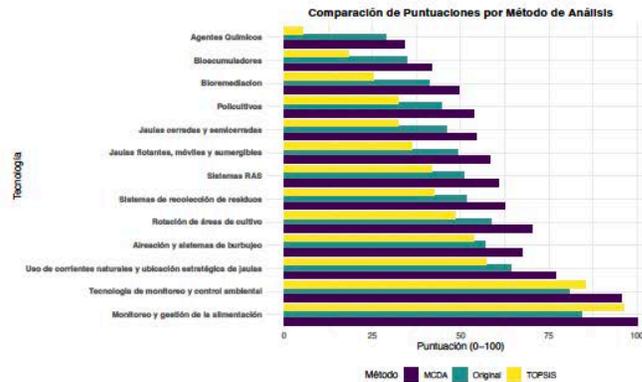


Figura 7. Comparación de puntuaciones por metodo de análisis

3.6 Gráfico de radar para las 5 mejores tecnologías por Dimensión

El gráfico de radar muestra una comparación multidimensional de las cinco tecnologías acuícolas mejor valoradas a través de seis criterios clave de

evaluación. Esta visualización permite identificar rápidamente fortalezas y debilidades específicas de cada tecnología en los diferentes aspectos evaluados. Las tecnologías representadas incluyen:

1. Monitoreo y gestión de la alimentación (color amarillo)
2. Rotación de áreas de cultivo (color naranja)
3. Tecnología de monitoreo y control ambiental (color azul)
4. Uso de corrientes naturales (color verde)
5. Jaulas flotantes, móviles y sumergibles

Monitoreo y gestión de la alimentación (amarillo) muestra un desempeño destacado y equilibrado en todas las dimensiones, especialmente en eficiencia tecnológica y escalabilidad, confirmando su posición como tecnología líder en los rankings previos. Tecnología de monitoreo y control ambiental (azul) presenta un perfil similar pero con ligeras desventajas en presencia en mercado nacional y factibilidad técnica, compensadas por su excelente desempeño en impacto ambiental. Rotación de áreas de cultivo (naranja) exhibe un patrón irregular con fortalezas marcadas en eficiencia e impacto ambiental, pero debilidades significativas en presencia en mercado nacional. Las tecnologías basadas en uso de corrientes naturales (verde) tienen una presencia en mercado internacional relativamente más débil, aunque mantienen buen desempeño en aspectos técnicos y ambientales. En general, la factibilidad técnica y el impacto ambiental son dimensiones donde todas las tecnologías tienden a mostrar buen desempeño, mientras que la presencia en mercado nacional presenta mayor variabilidad entre tecnologías.

Perfil de las 5 Mejores Tecnologías por Dimensión

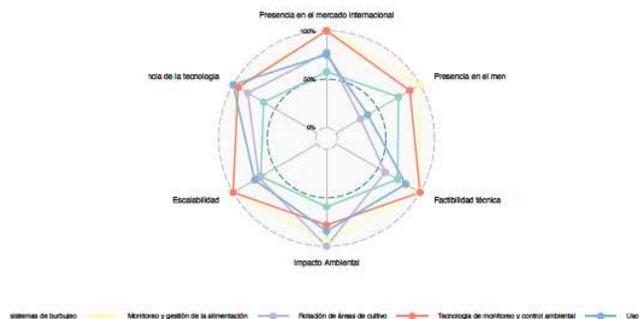


Figura 8. Perfil de las 5 mejores tecnologías por dimensión

3.7 Análisis comparativo de tecnologías por herramientas de análisis

El análisis comparativo de las trece tecnologías acuícolas evaluadas mediante tres métodos complementarios (Score Original, MCDA y TOPSIS) revela una notable consistencia en los resultados, lo que refuerza la robustez del análisis y proporciona una base sólida para la toma de decisiones en el sector. La tabla 4 de rankings muestra un consenso metodológico excepcional en las posiciones de liderazgo, donde las tecnologías de monitoreo y gestión (alimentación y control ambiental) ocupan invariablemente los dos primeros puestos, junto con el uso estratégico de corrientes naturales en tercera posición. Esta convergencia es particularmente significativa considerando las diferencias matemáticas entre los métodos empleados, sugiriendo que estas tecnologías representan oportunidades prioritarias independientemente del enfoque evaluativo. Se observa también un acuerdo metodológico en las tecnologías con menor potencial (bioremediación, bioacumuladores y agentes químicos), que consistentemente ocupan las últimas posiciones. Es en las posiciones intermedias donde se presentan ligeras variaciones en el ranking, especialmente entre rotación de áreas de cultivo y aireación, así como entre jaulas cerradas y policultivos, indicando zonas donde factores contextuales específicos podrían influir en la idoneidad de su implementación. La desviación estándar mínima (0.0) para ocho de las tecnologías evaluadas subraya la solidez del análisis, mientras que las variaciones menores en posiciones intermedias (desviaciones de 0.5-0.7) proporcionan matices valiosos sobre sensibilidades metodológicas. Esta jerarquización clara permite priorizar inversiones y esfuerzos de implementación, sugiriendo un enfoque escalonado donde las tecnologías de monitoreo y control representan el primer nivel de intervención, seguidas por sistemas de manejo espacial (rotación, aireación) y posteriormente por infraestructuras específicas (recolección de residuos, RAS y diferentes tipos de jaulas), reservando las aproximaciones biológicas y químicas para aplicaciones complementarias o contextos muy específicos.

4 CONCLUSIONES

Jerarquización Consistente de Tecnologías: El análisis multicriterio revela una clara estructura de priorización tecnológica, con notables coincidencias entre los tres métodos aplicados (Scoring Simple, MCDA y TOPSIS). Las tecnologías de monitoreo y gestión (alimentación y control ambiental) se posicionan consistentemente en los primeros lugares, mientras que los enfoques químicos y biológicos (bioacumuladores y agentes químicos) ocupan las últimas posiciones. Esta convergencia metodológica refuerza la robustez de las conclusiones y proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en el sector acuícola.

Tabla 4: Comparación de Rankings por Método

Tecnología	Orig.	MCDA	TOPSIS	Promedio
Monitoreo y gestión de la alimentación	1	1	1	1.0
Tecnología de monitoreo y control ambiental	2	2	2	2.0
Uso de corrientes naturales y ubicación estratégica de jaulas	3	3	3	3.0
Rotación de áreas de cultivo	4	4	5	4.3
Aireación y sistemas de burbujeo	5	5	4	4.7
Sistemas de recolección de residuos	6	6	6	6.0
Sistemas RAS	7	7	7	7.0
Jaulas flotantes, móviles y sumergibles	8	8	8	8.0
Jaulas cerradas y semicerradas	9	9	10	9.3
Policultivos	10	10	9	9.7
Bioremediación	11	11	11	11.0
Bioacumuladores	12	12	12	12.0
Agentes Químicos	13	13	13	13.0

Dimensiones Críticas Identificadas: El Análisis de Componentes Principales revela que aproximadamente el 91% de la variabilidad en el desempeño de las tecnologías puede explicarse mediante dos dimensiones fundamentales: la viabilidad técnico-comercial (73.7%) y el impacto ambiental-espacial (17.5%). Esta estructura dimensional simplificada facilita la comprensión de las fortalezas y debilidades relativas de cada tecnología, permitiendo estrategias de implementación más enfocadas y eficientes. Las tecnologías más exitosas demuestran un equilibrio entre ambas dimensiones, mientras que las menos valoradas presentan deficiencias en al menos una de ellas.

Potencial de Implementación Escalonada: Los resultados sugieren una estrategia de implementación por fases, comenzando con tecnologías de monitoreo y control (puntuaciones >85/100) como intervenciones prioritarias de alto impacto y baja complejidad, seguidas por sistemas de manejo espacial (como rotación de áreas y aireación) en una segunda fase, e infraestructuras físicas (recolección de residuos, sistemas RAS y jaulas) en etapas posteriores. Esta aproximación escalonada permitiría optimizar recursos y generar aprendizajes incrementales que faciliten la adopción progresiva de soluciones tecnológicas en el sector.

Correlación entre Criterios: El análisis evidencia una fuerte correlación entre factibilidad técnica, escalabilidad y presencia en mercados, sugiriendo que estas dimensiones tienden a desarrollarse en paralelo. Sin embargo, el impacto ambiental muestra cierta independencia, formando un eje propio de evaluación. Esta estructura correlacional indica que las tecnologías que logran madurez comercial no necesariamente optimizan su desempeño ambiental, lo que destaca la importancia de incorporar criterios de sostenibilidad desde las etapas

tempranas de desarrollo tecnológico para evitar compensaciones (trade-offs) posteriores.

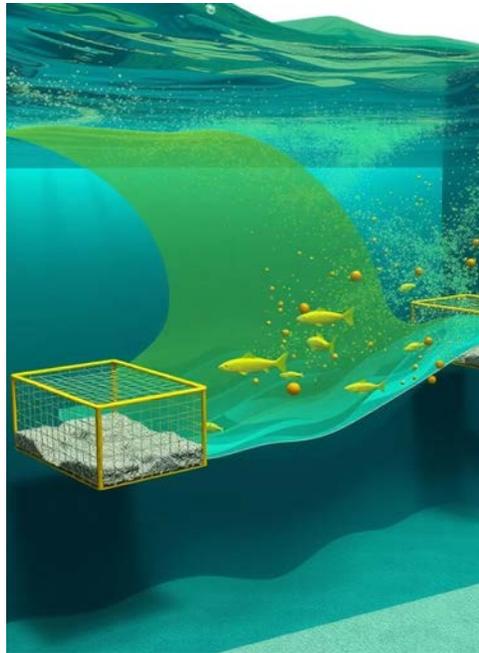
Grupos Tecnológicos Estratégicos: Las visualizaciones multidimensionales identifican cuatro clusters tecnológicos con características distintivas: (1) tecnologías de monitoreo con excelente viabilidad técnico-comercial; (2) sistemas de manejo espacial con buen equilibrio entre impacto ambiental y viabilidad; (3) infraestructuras físicas con orientación ambiental pero menor viabilidad comercial; y (4) aproximaciones químicas y biológicas con limitaciones en ambas dimensiones. Esta agrupación natural proporciona un marco conceptual para elaborar políticas diferenciadas de fomento tecnológico, adaptadas a las características y necesidades específicas de cada grupo.

REFERENCIAS

- Alvarez, Ricardo, Francisco Araos, Florencia Diestre, Wladimir Riquelme, Francisco Branas, Claudia Torrijos, Jaime Cursach, y Marion Stock. 2022. «Are salmon aquaculture sustainable? Framing tensions over salmon farms in Patagonia». *DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE* 59 (junio): 23-45. <https://doi.org/10.5380/dma.v59i0.74054>.
- Buschmann, Alejandro H., Felipe Cabello, Kyle Young, Juan Carvajal, Daniel A. Varela, y Luis Henríquez. 2009. «Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems». *Ocean & Coastal Management* 52 (5): 243-49. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.03.002>.
- Choi, Ayeon, Bomina Kim, Jin-Sook Mok, Jungsik Yoo, Jeong Bae Kim, Won-Chan Lee, y Jung-Ho Hyun. 2020. «Impact of finfish aquaculture on biogeochemical processes in coastal ecosystems and elemental sulfur as a relevant proxy for assessing farming condition». *Marine Pollution Bulletin* 150 (enero): 110635. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110635>.
- Montibeller, Gilberto, y Alberto Franco. 2010. «Multi-Criteria Decision Analysis for Strategic Decision Making». En *Handbook of Multicriteria Analysis*, editado por Constantin Zopounidis y Panos M. Pardalos, 103:25-48. Springer Berlin Heidelberg. https://link.springer.com/10.1007/978-3-540-92828-7_2.
- Uzun, Berna, Mustapha Taiwo, Aizhan Syidanova, y Dilber Uzun Ozsahin. 2021. «The Technique For Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)». En *Application of Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental and Civil Engineering*, editado por Dilber Uzun Ozsahin, Hüseyin Gökçekuş, Berna Uzun, y James LaMoreaux, 25-30. Springer International Publishing. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-64765-0_4.
- Wold, Svante, Kim Esbensen, y Paul Geladi. 1987. «Principal component analysis». *Chemometrics and intelligent laboratory systems* 2 (1-3): 37-52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169743987800849>.

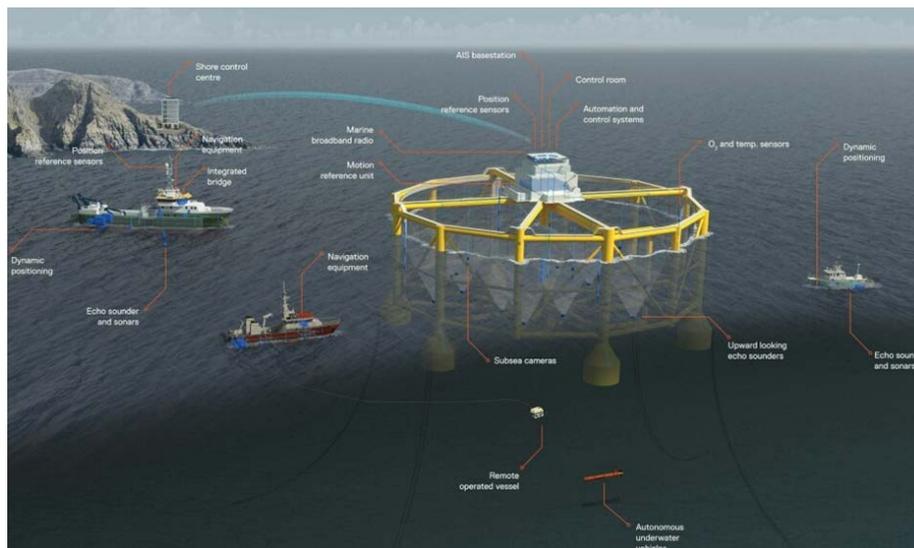
Anexo 13. Material gr1fico tecnologas.

1. Uso de corrientes y ubicaci3n estrat1gica de jaulas



Elaboraci3n propia.

2. Jaulas flotantes, m3viles y sumergibles



Elaboraci3n propia.

3. Sistemas de recolecci3n de residuos (lift-up)



Diagrama empresa Lift-up Chile.

4. Aireaci3n y sistemas de burbujeo



Foto Empresa Kran Spa.

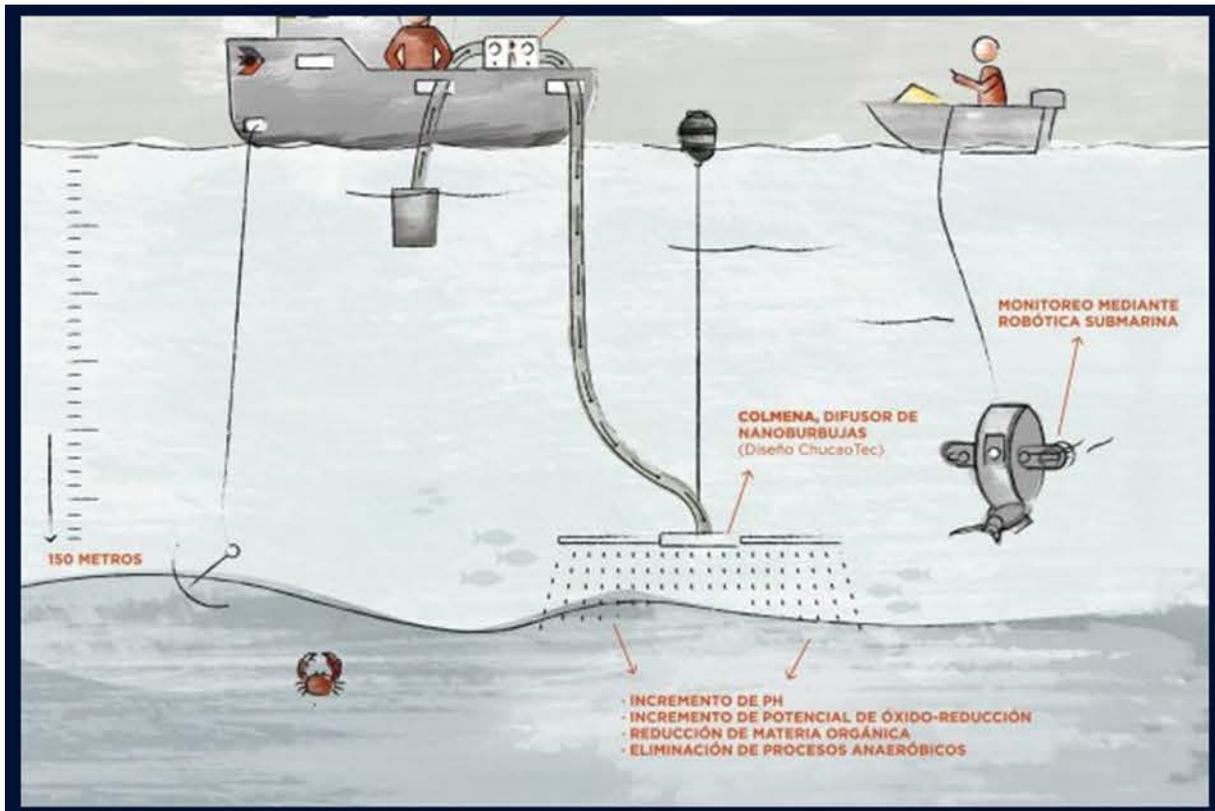
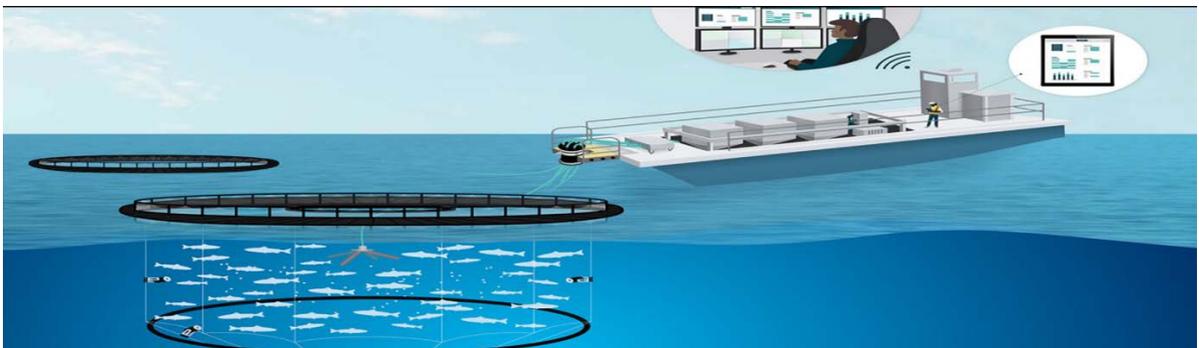


Foto Chucao Tech.

5. Gesti3n de la alimentaci3n a trav3s de IA

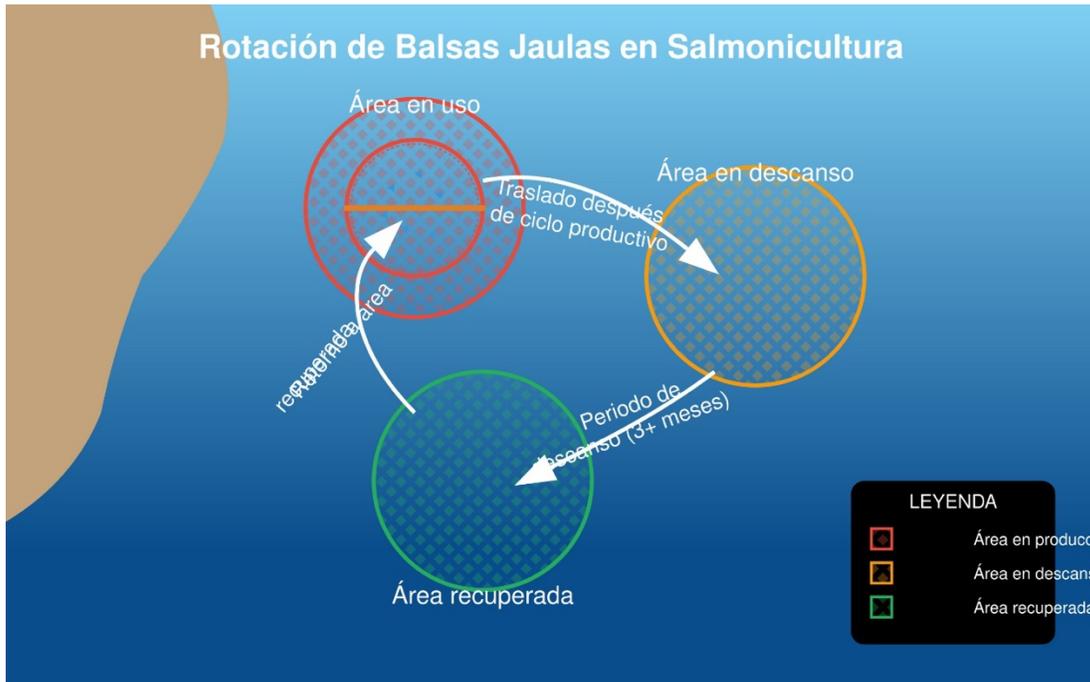


Foto salmonexpert.

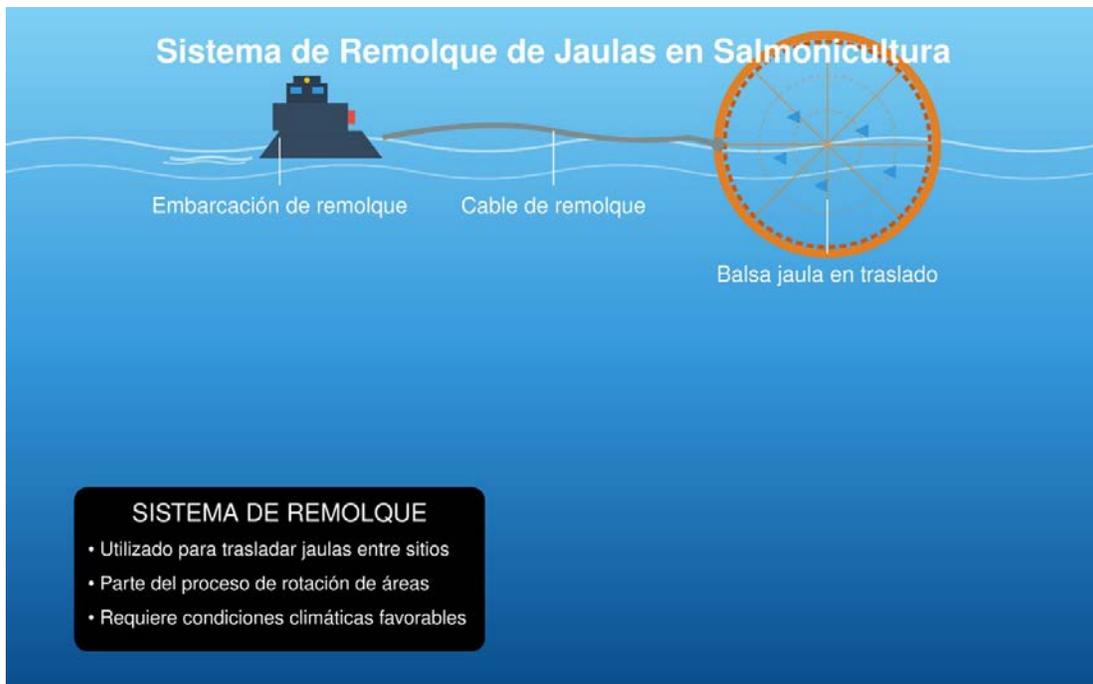


Elaboraci3n propia.

6. Rotaci3n de 3reas de cultivo



Elaboraci3n propia



Elaboraci3n propia.

7. Monitoreo y control ambiental (sensores)



Elaboraci3n propia.

8. Sistemas RAS



Foto Salmonexpert

9. Jaulas cerradas y semicerradas



Foto salmonexpert

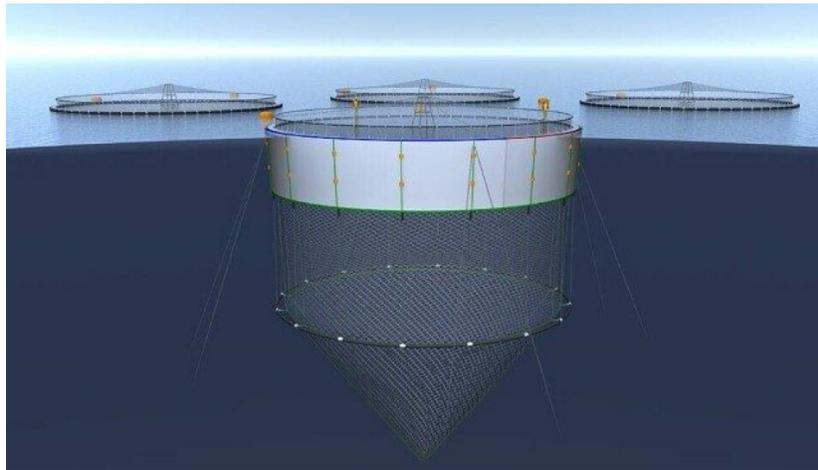
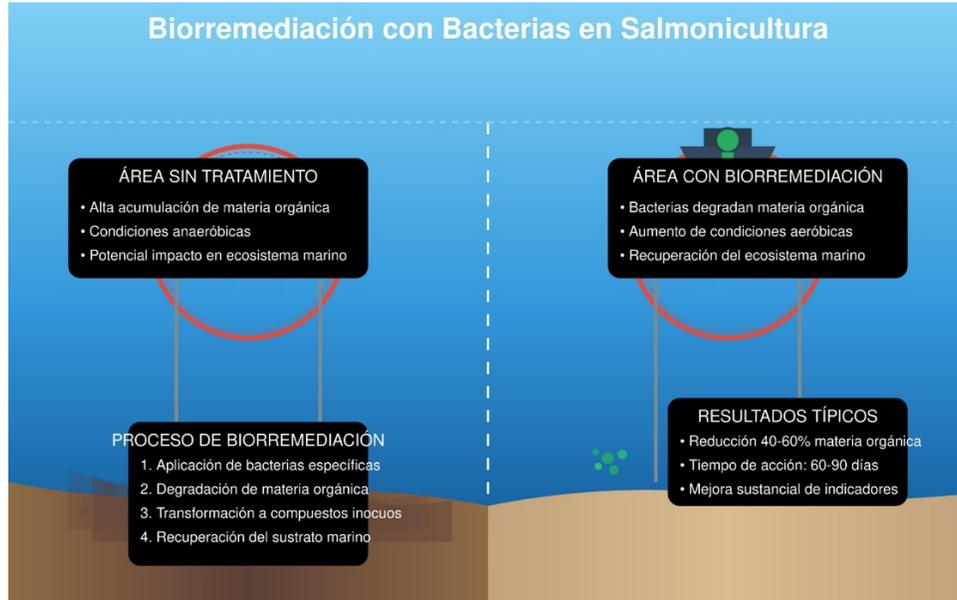


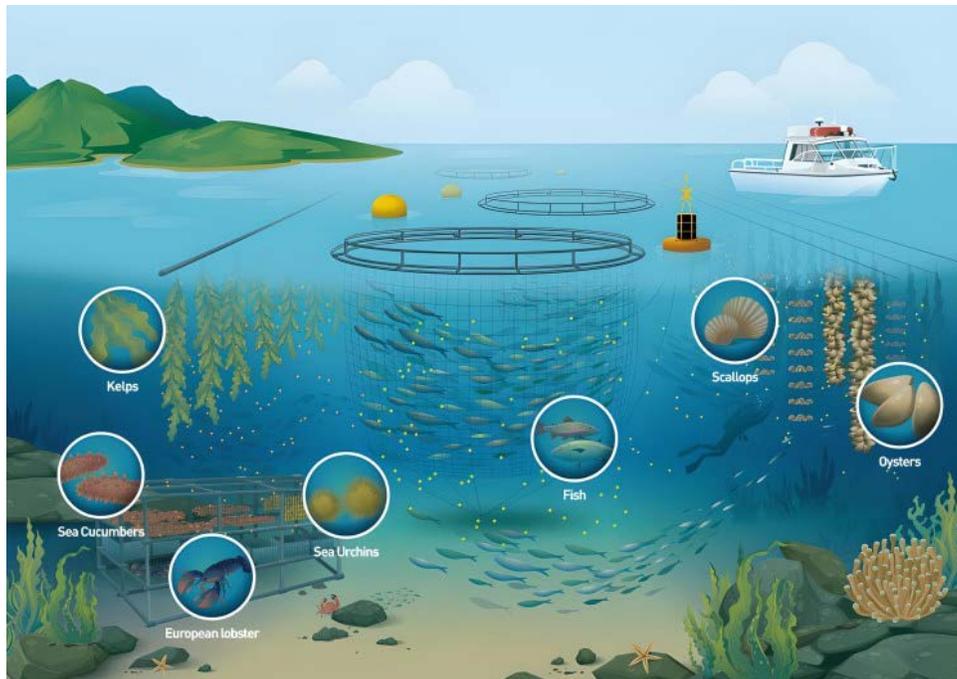
Foto: Botngaard.

10. Biorremediaci3n



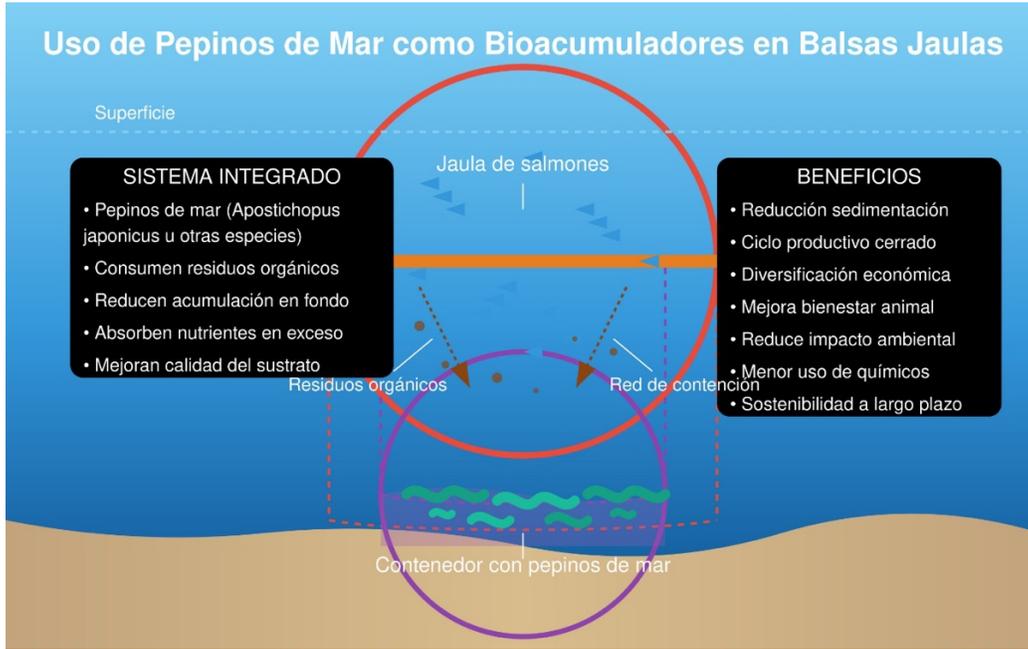
Elaboraci3n propia.

11. Policultivos (AMTI)



Fuente: *The Marine Institute*

12. Bioacumuladores de nutrientes



Elaboraci3n propia.

13. Agentes químic



Elaboraci3n propia.

Contribuimos a la
sostenibilidad de los
recursos marinos de Chile.



 www.ifop.cl

 info@ifop.cl

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - CHILE