

DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

MODELO DE NEGOCIO PARA IMPLEMENTAR MACROCYSTIS PYRIFERA HUIRO COMO GESTIÓN PREVENTIVA DEL RIESGO AMBIENTAL EN CONCESIONES SALMONERAS CHILENAS

Tesina de Grado presentada por

SEBASTIÁN IGNACIO MALDONADO CORTEZ

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina JOSÉ LUIS ANDÍAS PANTOJA

Septiembre de 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título X Tesis de Postgrado

Título del trabajo: MODELO DE NEGOCIO PARA IMPLEMENTAR MACROCYSTIS PYRIFERA HUIRO COMO GESTIÓN PREVENTIVA DEL RIESGO AMBIENTAL EN CONCESIONES SALMONERAS CHILENAS

Nombre del candidato(a): SEBASTIAN IGNACIO MALDONADO CORTEZ

Carrera / Grado: MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Campus: Santiago Vitacura Departamento**:** Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **JOSÉ LUIS ANDÍAS PANTOJA** , en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

X El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

_____

_____

_____

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05.11.2026 **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Powered by ecert
Firma electrónica avanzada
SEBASTIAN IGNACIO MALDONADO CORTEZ
2026.11.05 11:03:14 -0300

Fecha: 05.11.2026 **Firma:** _____

MBA | UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Fecha: 17 / 09 / 2026

Carta de aprobación tesina MBA

Yo JOSE LUIS ANDÍAS PANTOJA declaro a través del siguiente documento, en mi calidad de profesor guía, que el/la alumno/a SEBASTIAN MALDONADO CORTEZ culminó y aprobó la escritura de su tesina con nota 100, por lo que se encuentra calificado/a para la rendición de su examen de grado.

Mi disponibilidad para el examen (pueden ser varias fechas o período):
A COORDINAR SEGÚN DISPONIBILIDAD DE COMISIÓN

Se recomiendan los siguientes profesores para conformar la comisión (puede ser más de uno):

Interno: LIONEL VALENZUELA

Externo: FRANCISCO LAGOS

Firma Profesor Guia

Campus Casa Central Valparaíso
Av. España N°1680, Valparaíso
Teléfono: +56 32 2654651

Campus Santiago Vitacura
Av. Santa María N°6400, Vitacura, Santiago.
Teléfono: +56 2 3202 8470

mba@usm.cl – www.mba.usm.cl

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: SEBASTIAN IGNACIO MALDONADO CORTEZ.

Fecha: DÍA DEL EXAMÉN DE GRADO.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN Y CONCLUSIONES 13
ABSTRACT 16
1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA 18
1.1 Contexto 18
1.2 Comprobación Científica y Fundamento Biogeoquímico de *Macrocystis pyrifera* 19
1.3 Aporte al Conocimiento del Proyecto 21
2 RESUMEN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA 23
2.1 Definición Ejecutiva del Servicio 23
2.2 Caracterización del Problema de Negocio del Cliente 23
2.3 Arquitectura del Servicio Primario 23
2.4 Mecanismo de Monetización Secundaria 24
2.5 Beneficios Entregados y Resultados Contingentes 24
3 OBJETIVOS 25
3.1 Objetivo General 25
3.2 Objetivos Específicos del Proyecto 25
3.3 Hipótesis de investigación 26
3.4 Caracterización Metodológica del Estudio 26
4 MERCADO OBJETIVO 28
4.1 Caracterización del Mercado 28
Nivel 1: Elegibilidad y Perfil de Riesgo del Centro (CES Unidad de Análisis Primaria) 28
Nivel 2: Perfil Corporativo del Comprador B2B (Proceso y Capacidad de Compra) 29
4.2 Justificación Económica de la Solución 30
4.3 Vulnerabilidad Territorial y Fiscalizadora Oficial 31
4.4 Dimensionamiento TAM - SAM - SOM 32
Mercado 1: Servicio B2B de Gestión Preventiva (ERaaS Salmonero) 32
Mercado 2: Comercialización Secundarios de Biomasa (Off-take Terrestre) 33
5 DIAGNÓSTICO 34
5.1 Caracterización del Problema y Matriz de Temporalidad Operativa 34
5.2 Dimensionamiento del Problema y Matriz de Temporalidad Operativa 36
5.3 Clausura de Márgenes de Maniobra Informales y Rigidez Regulatoria 38
5.4 Redefinición del Planteamiento Regulatorio y Posicionamiento Preventivo (Art. 20 RAMA, Caducidad y NMO) 38

6 ESTADO DEL ARTE 41
6.1 Análisis de Soluciones Existentes y Brechas de Mercado 41
6.2 Mapeo de Competencias Institucionales y Marco Regulatorio Aplicable 42
Tabla 6.1: Síntesis de Interacción Normativa para la Gestión de Inactividad 45
6.3 La Nueva Frontera Fiscalizadora de la SMA 46
6.4 Matriz de Diferenciación y Grado de Innovación del Modelo MAI 46
7 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN 48
7.1 Descripción Concreta del Servicio Plataforma ERaaS 48
7.2 Justificación Estratégica del Abordaje Operacional 49
1. Modelo de Implementación Piloto mediante Infraestructura Compartida (In-kind) 49
2. Cumplimiento Legal Cofinanciado 49
3. Desvinculación de la Operación Biológica y el Mercado Agrícola 49
8 PROPUESTA DE VALOR Y GRADO DE INNOVACIÓN 52
8.1 Propuesta de Valor y el Dossier de Cumplimiento Ambiental 52
Alineación del Perfil del Cliente con el Mapa de Valor (Value Proposition Canvas) ... 52
8.2 Fiscalización de la SMA 53
8.3 Grado de Innovación y Cuadro Comparativo 55
8.4 Principales Resultados o Beneficios Esperados en el Mercado Objetivo 57
8.5 Beneficios en Impactos Sociales y Medioambientales 58
Impactos Medioambientales 58
Impactos Sociales 59
9 PRINCIPALES DESAFÍOS O BARRERAS 60
9.1 Matriz Jerarquizada de Riesgos del Proyecto 60
9.2 Análisis Profundo de Riesgos Críticos 62
9.3 Plan de Contingencia y Puertas de Decisión (Gates de Control) 63
10 ESTRATEGIA DE NEGOCIO Y MODELO OPERATIVO 65
10.1 Estrategia de Comercialización B2B y Funnel de Ventas Corporativo 65
10.2 Estructura del Modelo de Ingresos y Flujo Financiero Dual 67
10.3 Arquitectura Contractual, Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) y Deslinde de Responsabilidades 67
10.4 Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA - Service Level Agreement) 69
10.5 Modelo Operativo, Gobernanza y Red de Alianzas Clave 69
11 ESTIMACIÓN ECONÓMICA Y EVALUACIÓN FINANCIERA 70
11.1 Estimación de Ingresos del Módulo Piloto 70

11.2 Estimación de la Inversión Inicial (CAPEX e In-kind) 71
11.3 Estructura de Costos Operacionales Directos (OPEX Anual) 72
11.4 Flujo de Caja Libre e Indicadores Financieros 73
11.5 Análisis de Sensibilidad y ROI del Cliente Salmonero 75
12 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN 77
12.1 Contexto de Validación: El Escenario Regulatorio e Industrial 77
12.2 Triangulación Empírica y Sinceramiento Metodológico de la Muestra (N = 75) 77
12.3 Matriz de Validación Multidimensional del Modelo MAI 79
12.4 Protocolo Experimental de Pilotaje Industrial (Diseño BACI) 80
12.5 Matriz Decisional Go / No-Go y Sistema Stage-Gate 82
13 CONCLUSIÓN Y PRÓXIMOS PASOS 84
13.1 Dictamen Final de Prefactibilidad Condicionada 84
13.2 Síntesis de Conclusiones por Dimensión Estratégica 84
13.3 Matriz de Riesgos Críticos y Estrategias de Mitigación 86
Tabla 13.1: Matriz de riesgos operacionales, biológicos y regulatorios del Módulo Piloto MAI.. 86
13.4 Hoja de Ruta de Implementación y Sistema Stage-Gate 87
13.5 Recomendaciones Estratégicas 88
BIBLIOGRAFÍA 90
ANEXOS 95
I. Anexo 1 Entrevista Semiestructurada 95
II. Anexo 2: Encuesta Diagnóstica de Acuicultura Circular 97
Sección 1: Perfil del Participante 97
Sección 2: Percepción y Conocimiento (Escala Likert 1-5) 97
Sección 3: Barreras y Desafíos 97
Sección 4: Oportunidades y Viabilidad Económica 98
Sección 5: Intención de Acción 98
III. Anexo 3: Modelo de Correo de Invitación 99
IV. ANEXO 4: Lista de chequeo y estructura del dossier de cumplimiento ambiental (ERaaS - Modelo MAI) 100
1. Propósito y Alcance del Dossier de Cumplimiento Ambiental 100
2. Estructura Modular del Dossier de Cumplimiento Ambiental 100
3. Lista de Chequeo (Checklist) para Auditoría del Dossier 103
4. Protocolo de Emisión, Firma y Custodia Digital 107

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ACS (Agrupación de Concesiones de Salmónidos / "Barrio"):** Área geográfica delimitada por la autoridad pesquera que agrupa un conjunto de concesiones de acuicultura de salmónidos, sujeta a medidas sanitarias coordinadas obligatorias, tales como descansos sanitarios simultáneos y períodos comunes de siembra y descanso.

- **Amonio:** Catión inorgánico disuelto derivado de la excreción branquial directa de los salmónidos y de la mineralización bacteriana del alimento no consumido en la columna de agua. Representa la fuente de nitrógeno más rápidamente asimilable por macroalgas como *Macrocystis pyrifera*.

- **AMTI / IMTA (Acuicultura Multitrófica Integrada / *Integrated Multi-Trophic Aquaculture*):** Sistema de cultivo integrado donde especies de diferentes niveles tróficos (e.g., peces como consumidores primarios y macroalgas como extractores autótrofos) se combinan en proximidad espacial para reciclar nutrientes y reducir el impacto ambiental del efluente orgánico.

- **ASC (Aquaculture Stewardship Council):** Estándar de certificación internacional voluntario de tercera parte que audita el desempeño ambiental y social en centros de cultivo de salmón, exigiendo el cumplimiento de estrictos límites de sedimentación y conservación bentónica.

- **BACI (*Before-After / Control-Impact*):** Metodología de diseño experimental de ecología aplicada que compara mediciones en una estación de tratamiento (impacto) respecto a una estación de control no intervenida, tanto antes como después de implementar una tecnología, permitiendo aislar variables ambientales y demostrar causalidad estadística.

- **BAP (*Best Aquaculture Practices*):** Programa internacional de certificación acuícola integral desarrollado por la Global Seafood Alliance, enfocado en trazabilidad, inocuidad alimentaria, bienestar animal y sustentabilidad ambiental en centros de cultivo.

- **Bioextracción de Nutrientes:** Captura, asimilación e inmovilización de nutrientes inorgánicos disueltos (nitrógeno y fósforo) presentes en la columna de agua mediante la fotosíntesis y el crecimiento de macroalgas, convirtiéndolos en tejido vegetal cosechable y evitando su precipitación al fondo marino.

- **CES (Centro de Engorda de Salmones):** Unidad operativa emplazada en una concesión de acuicultura marítima donde se desarrollan las fases de crecimiento y engorda de peces salmonídeos en balsas-jaula suspendidas hasta alcanzar talla comercial.

- **Condición Anaeróbica:** Estado biogeoquímico de anoxia en el fondo marino caracterizado por el agotamiento del oxígeno disuelto en el sedimento, bajo potencial redox negativo, acumulación de sulfuros libres y proliferación de bacterias filamentosas (e.g., *Beggiatoa* spp.), gatillando el veto de siembra del Art. 20 del RAMA.

- **Consulta de Pertinencia de Ingreso al SEIA ("Gate 0"):** Trámite administrativo formal ante el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) mediante el cual el proponente solicita un pronunciamiento fundado que certifique que la incorporación de macroalgas perimetrales no constituye un cambio de consideración que deba ingresar obligatoriamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

- **CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*):** Sonda oceanográfica electrónica utilizada para el perfilamiento vertical continuo de la columna de agua, midiendo conductividad eléctrica (salinidad), temperatura y presión (profundidad), complementada habitualmente con sensores ópticos de oxígeno disuelto.

- **DIN (*Dissolved Inorganic Nitrogen* / Nitrógeno Inorgánico Disuelto):** Suma total de las fracciones inorgánicas solubles de nitrógeno en el agua de mar utilizada como indicador oceanográfico principal de la carga nutricional y de la eficiencia de biofiltración de macroalgas.

- **DIRECTEMAR:** Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile. Autoridad marítima encargada de la seguridad de la navegación, inspección de naves, habilitación de fondeos y otorgamiento de matrículas para buzos y tripulaciones en faenas acuícolas.

- **Dossier de Cumplimiento Ambiental:** Expediente técnico-documental estructurado, emitido periódicamente por la empresa operadora MAI, que consolida actas de posicionamiento satelital, análisis químicos de bioextracción, guías de despacho y cumplimiento de niveles de servicio (SLA) para auditorías de fiscalización (SMA/SERNAPESCA) o certificación ESG.

- **ERaaS (*Environmental Risk-as-a-Service* / Riesgo Ambiental como Servicio):** Modelo de negocio B2B estructurado para la gestión preventiva del riesgo ambiental mediante un esquema de infraestructura compartida (In-kind) y cofinanciamiento, diseñado para dar cumplimiento a la Ley N° 21.410.

- **ESG (*Environmental, Social, and Governance*):** Conjunto de factores ambientales, sociales y de gobernanza corporativa utilizados por inversores, certificadoras y bancos para evaluar la sostenibilidad, transparencia y gestión de riesgos no financieros de una empresa.

- **FAN (Floraciones de Algas Nocivas / "Mareas Rojas"):** Proliferación masiva y estacional de microalgas tóxicas o nocivas en la columna de agua, capaces de producir mortalidad en peces o deteriorar cultivos marinos debido a asfixia mecánica o producción de biotoxinas marinas.

- **Fosfato (Ortofosfato):** Anión inorgánico disuelto de fósforo lixiviado de las dietas salmonícolas y las deyecciones de los peces, capturado por las macroalgas como macronutriente esencial para la síntesis de fosfolípidos y ATP celular.

- **INFA (Informe Ambiental):** Evaluación ambiental reglamentada por la Res. Ex. SUBPESCA N° 3612/2009 y ejecutada por laboratorios certificados, que dictamina la condición aeróbica o anaeróbica del sedimento y la columna de agua de un centro acuícola para autorizar o vetar el siguiente ciclo productivo.

- **LGPA (Ley General de Pesca y Acuicultura - Ley N° 18.892 y sus modificaciones):** Cuerpo legal marco que rige las actividades pesqueras y de acuicultura en Chile, regulando el régimen de concesiones, causales de caducidad (Art. 142) y descansos sanitarios (Art. 69 bis).

- **Long-line (Línea de Cultivo Suspendida):** Sistema de cultivo marino consistente en cabos principales continuos fondeados y sustentados por boyarines superficiales, desde los cuales cuelgan las líneas de siembra o cabos semilleros de macroalgas para su desarrollo vegetativo en la columna de agua.

- **Lucro Cesante Concesional:** Pérdida financiera neta y costos fijos no absorbidos que sufre una empresa salmonera al verse impedida de operar un centro de engorda durante un

ciclo completo (USD 5,0 a 10,0 millones), originada por una resolución de veto ambiental bajo el Art. 20 del RAMA.

- **Macrocystis pyrifera (Huiro Flotador / Kelp Gigante):** Especie de macroalga parda nativa de los ecosistemas marinos del cono sur, caracterizada por su alta tasa de crecimiento diario (hasta 30-50 cm/día), morfología vertical ramificada con pneumatocistos y elevada capacidad de captura de nitrógeno disuelto.

- **Matriz de Temporalidad Operativa de Concesiones:** Estructura que clasifica los plazos y ventanas de descanso e inactividad de las concesiones salmoneras en tres niveles normativos: Nivel 1 (Descanso sanitario ordinario de 90 días), Nivel 2 (Paralización máxima ordinaria de 24 meses) y Nivel 3 (Prórrogas extraordinarias de paralización por 36 a 48 meses).

- **MOT (Materia Orgánica Total):** Parámetro biogeoquímico que cuantifica el porcentaje de compuestos orgánicos presentes en el sedimento marino mediante pérdida por ignición a altas temperaturas, utilizado para evaluar el grado de saturación del fondo bajo las jaulas.

- **Nitrato:** Forma inorgánica oxidada del nitrógeno disuelto en el medio marino, producida por la nitrificación bacteriana en aguas bien oxigenadas y absorbida activamente por las macroalgas para la síntesis de biomasa.

- **NMO (Nivel Mínimo de Operación - D.S. N° 383/2007):** Exigencia legal que impone a los titulares de concesiones acuícolas acreditar un volumen mínimo de abastecimiento, existencia o cosecha en el centro (al menos un 5% de la producción media proyectada) para no incurrir en inactividad causal de caducidad.

- **Prensa de Tornillo Helicoidal (Screw Press):** Equipo mecánico industrial instalado a bordo del pontón o embarcación de apoyo que extrae agua libre de la macroalga fresca por compresión volumétrica continua sin aporte de calor, reduciendo la humedad de 90% a 65% y disminuyendo el volumen de flete marítimo en más de un 70%.

- **Potencial Redox (Eh):** Medida electroquímica en milivoltios (mV) que indica el estado de oxidación o reducción del sedimento marino. Valores fuertemente negativos (Eh < -50 mV o según umbrales de textura del RAMA) evidencian condiciones anóxicas y acumulación excesiva de materia orgánica.

- **RAMA (Reglamento Ambiental para la Acuicultura - D.S. N° 320/2001):** Reglamento sectorial que establece las normas ambientales para la instalación y operación de centros de cultivo, cuyo Artículo 20 prohíbe taxativamente la siembra de peces en concesiones con fondo anaeróbico.

- **RCA (Resolución de Calificación Ambiental):** Acto administrativo vinculante emitido por la Comisión de Evaluación Ambiental competente que certifica la aprobación ambiental de un proyecto o sus modificaciones tras someterse al SEIA.

- **Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026:** Resolución exenta de abril de 2026 que modificó la normativa sectorial permitiendo la incorporación simplificada de macroalgas como cultivo complementario (conjunto o alternado) en concesiones de salmónidos vigentes, amparada en el Art. 21 bis del D.S. N° 290/1993.

- **Res. Ex. SMA N° 1.017/2024:** Instrumento formal de la Superintendencia del Medio Ambiente que fijó la Estrategia de Cumplimiento Ambiental para CES y formalizó el monitoreo satelital continuo de balsas-jaula y fondeos mediante imágenes SAR y Sentinel.

- **RNA (Registro Nacional de Acuicultura):** Registro público oficial administrado por SERNAPESCA donde se inscriben los títulos de concesión, resoluciones de operación y especies autorizadas por centro.

- **ROV (*Remotely Operated Vehicle* / Vehículo Operado Remotamente):** Robot submarino tripulado a distancia mediante cordón umbilical, empleado en los centros acuícolas para la filmación visual de fondos marinos, inspección de mortalidad, revisión de redes loberas y fondeos sin exponer a buzos.

- **SEA (Servicio de Evaluación Ambiental):** Organismo público del Estado de Chile encargado de administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y resolver formalmente las Consultas de Pertinencia de Ingreso.

- **SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental):** Instrumento de gestión ambiental preventivo reglado por la Ley N° 19.300 que evalúa si un proyecto o modificación genera impactos ambientales significativos y determina si debe tramitarse mediante DIA o EIA.

- **SERNAPESCA:** Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile. Entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento de las normativas pesqueras, sanitarias y ambientales

en acuicultura, administrar las declaraciones del sistema SIFA y certificar los informes ambientales (INFA).

- **SIFA (Sistema de Información de Fiscalización de Acuicultura):** Plataforma digital e interoperable de SERNAPESCA donde los titulares deben ingresar obligatoriamente los registros de siembra, abastecimiento, uso de alimentos, tratamientos farmacológicos y guías de despacho de cosecha en tiempo real.

- **SLA (*Service Level Agreement* / Acuerdo de Nivel de Servicio):** Cláusulas contractuales que definen compromisos cuantitativos de desempeño del servicio ERaaS (e.g., mantención de cobertura de biomasa, humedad de deshidratación 65% y entrega oportuna del Dossier dentro de 10 días), asociadas a esquemas de penalización tarifaria por incumplimiento.

- **SMA (Superintendencia del Medio Ambiente):** Organismo estatal autónomo dotado de facultades de fiscalización, sanción y fiscalización satelital sobre las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) y los instrumentos de gestión ambiental en centros de acuicultura.

- **SUBPESCA:** Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile. Órgano rector de las políticas públicas y normativas para la pesca y acuicultura en el territorio nacional.

- **TIL (Tasa de Interferencia Logística):** Métrica operacional formulada en este proyecto para cuantificar el porcentaje de retrasos que la instalación de macroalgas genera en las maniobras rutinarias del centro salmonero.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La industria salmonícola en la macrozona sur-austral de Chile se encuentra expuesta a un entorno regulatorio e institucional crecientemente estricto. La intensificación del monitoreo satelital continuo de balsas-jaula por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente (Res. Ex. SMA N° 1.017/2024) y las exigencias de gestión de residuos orgánicos (Ley N° 21.410) han cerrado los márgenes informales históricos de sobreproducción o desplazamiento no autorizado de estructuras. Bajo el Artículo 20 del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA, D.S. N° 320/2001), la obtención de un Informe Ambiental (INFA) anaeróbico gatilla la prohibición taxativa de ingresar nuevos ejemplares al centro, generando parálisis productiva, costos fijos hundidos y riesgo de caducidad de la concesión por inactividad prolongada (Art. 142 de la LGPA).

Frente a esta encrucijada, las empresas salmoneras enfrentan restricciones operacionales infranqueables: no pueden desplazar libremente las jaulas fuera del polígono autorizado (D.S. N° 290/1993) ni superar la biomasa máxima de salmónidos aprobada en su Resolución de Calificación Ambiental (RCA).

El **Modelo de Acompañamiento Integral (MAI)** aborda esta problemática mediante una plataforma B2B de *Environmental Risk-as-a-Service* (ERaaS). La propuesta diseña, instala y opera un módulo perimetral de 2 hectáreas para el cultivo complementario de macroalgas (*Macrocystis pyrifera*) dentro de la poligonal concedida, asumiendo la gestión técnica bajo un esquema de infraestructura compartida (In-kind) con la empresa salmonera. La solución se posiciona estrictamente como un **mecanismo preventivo de gestión de riesgo**, diseñado operacionalmente para garantizar una Tasa de Interferencia Logística nula (TIL = 0%) en las faenas del centro. El principal entregable del servicio es el "Dossier de Cumplimiento Ambiental", un expediente técnico auditable que certifica la bioextracción ante la SMA y fiscalizadores internacionales. El módulo intercepta activamente los nutrientes inorgánicos disueltos en la columna de agua, específicamente el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) compuesto principalmente por amonio y nitrato y el Fósforo Inorgánico Disuelto (DIP). De esta forma, el módulo opera como un mecanismo preventivo durante la fase de engorda, capturando nutrientes inorgánicos disueltos para atenuar la presión orgánica sobre el sistema bentónico antes de que se configure una condición anaeróbica. La magnitud real de este efecto en terreno será evaluada mediante validación experimental in situ (*Diseño BACI*).

Para resolver la viabilidad del flete marítimo austral, se integra un sistema de deshidratación mecánica in-situ (Screw Press) a bordo del pontón, que reduce el volumen de biomasa cosechada de 250 t frescas (90% humedad) a **71,4 t de producto prensado (65% humedad)**, equivalente a 25 t secas por ciclo destinadas potencialmente al mercado de bioestimulantes agrícolas, sujeto a la existencia de acuerdos de off-take, especificaciones de calidad y aceptación comercial del producto.

El modelo de negocio se estructura para la ejecución de un piloto demostrativo mediante un esquema de Infraestructura Compartida (In-kind). Para viabilizar su adopción técnica y financiera, la propuesta se alinea a la exigencia de la Ley N° 21.410 (Art. 74 ter), operando como el 'Plan de Investigación' obligatorio que la salmonera debe presentar para evitar la suspensión de operaciones. Bajo este modelo colaborativo, la salmonera absorbe los costos operativos de base (embarcaciones, buceo comercial y energía del pontón), mientras que la empresa operadora MAI invierte en el equipamiento especializado (líneas, sensores y la unidad de deshidratación Screw Press).

Financieramente, el costo real del piloto alcanza los USD 35.000 anuales. El modelo de ingresos aplica una regla de cofinanciamiento (50/50): el 50% (USD 17.500) se recupera mediante la venta de biomasa y el 50% restante se cobra como tarifa a la salmonera. Para el cliente, esta tarifa protege un lucro cesante expuesto de USD 5,0 millones (ROI teórico de 13,28 veces bajo el supuesto ilustrativo de una reducción de 5 % en la probabilidad de anoxia.). Para la empresa operadora MAI, la evaluación a 5 años sin subsidios confirma la viabilidad privada, con un Valor Actual Neto (VAN) de USD 11.778 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 20,44%.

La investigación empírica (N=75 profesionales) registró un 93,3% de disposición favorable a participar en pilotos demostrativos en terreno. Si bien esto evidencia un alto interés del sector, la conversión hacia una disposición de pago (*Willingness-to-Pay*) definitiva queda sujeta al éxito operacional de dichos pilotos.

El estudio concluye un dictamen de PREFACTIBILIDAD REGULATORIA, TÉCNICA, COMERCIAL Y FINANCIERA CONDICIONADA, cuya transición hacia el escalamiento comercial masivo no se plantea como un hecho consumado, sino supeditada a la superación de un sistema de etapas y compuertas de decisión (*Stage-Gate System*):

- **Gate A:** Confirmación técnica formal ante SUBPESCA y SERNAPESCA sobre la vía permisológica simplificada ("Gate 0" bajo la Res. Ex. N° 1102/2026) y la suficiencia de las cosechas para el cálculo del Nivel Mínimo de Operación (NMO, D.S. N° 383/2007).
- **Gate B:** Ejecución de un piloto industrial en sitio con diseño experimental BACI (*Before-After / Control-Impact*) para medir con rigor causal la tasa de bioextracción en la columna de agua y su correlación con la atenuación de pasivos en el sedimento bentónico.
- **Gate C:** Firma de acuerdos de compraventa de biomasa (Off-take a USD 700/t seca) y cartas de intención vinculantes (LOI) con empresas salmoneras para el cofinanciamiento del piloto B2B por USD 17.500/año.
- **Gate D:** Validación financiera del modelo bajo condiciones comerciales verificadas, considerando precio efectivo del servicio, costos operacionales observados, precio de venta de biomasa y requerimientos de capital. El escalamiento comercial se recomienda únicamente si el proyecto mantiene una TIR superior al WACC bajo un escenario sin dependencia estructural de subsidios.

ABSTRACT

The salmon farming industry in the southern-austral macro-region of Chile is exposed to an increasingly strict regulatory and institutional framework. Continuous satellite monitoring of cage positioning by the Environmental Superintendency (Res. Ex. SMA N° 1.017/2024) and organic waste management mandates (Law N° 21,410) have closed historical informal margins of overproduction or unauthorized structure relocation. Under Article 20 of the Environmental Regulation for Aquaculture (RAMA, D.S. N° 320/2001), obtaining an anaerobic Environmental Report (INFA) imposes a strict prohibition on stocking new fish, causing operational paralysis, stranded fixed costs, and concession forfeiture risks due to prolonged inactivity (Art. 142 LGPA). Faced with this dilemma, salmon producers encounter unyielding operational constraints: they cannot freely relocate cages outside authorized concession polygons (D.S. N° 290/1993) nor exceed the maximum salmonid biomass approved in their Environmental Qualification Resolutions (RCA). The Modelo de Acompañamiento Integral (MAI) addresses this industry challenge through a B2B platform operating under an Environmental Risk-as-a-Service (ERaaS) framework. The service deploys a 2-hectare peripheral module for the complementary cultivation of giant kelp (Macrocystis pyrifera) within the authorized concession polygon, assuming technical management under a shared infrastructure (In-kind) model with the salmon producer. The solution is strictly positioned as a preventive risk management mechanism, actively intercepting dissolved inorganic nutrients specifically Ammonium and Nitrate, which constitute Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN), as well as Phosphate, representing the primary fraction of Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP) in the water column during active salmon farming cycles to attenuate the rate of organic deposition on the seabed before anaerobic conditions occur. To ensure the logistical viability of patagonian maritime transport, an in-situ mechanical pressing system (Screw Press) is integrated aboard the support pontoon. This reduces harvested biomass volume from 250 fresh tons (90% moisture) to 71.4 pressed tons (65% moisture), yielding 25 dry tons equivalent per cycle for agricultural biostimulant markets under off-take agreements. The business model is structured for the execution of a demonstrative pilot through a Shared Infrastructure (In-kind) scheme to comply with Law N° 21,410. The salmon farming company absorbs the base operational costs (vessels, diving, and pontoon energy), while MAI invests in specialized equipment. Financially, the real cost of the environmental pilot reaches USD 35,000 annually. The revenue model applies a co-financing rule (50/50): 50% (USD 17,500) is recovered through biomass sales, and the remaining 50% is charged as a fee to the salmon company. Under a 5-

year projection without subsidies, the private viability for the MAI operator is confirmed, yielding a Net Present Value (NPV) of USD 11,778 and an Internal Rate of Return (IRR) of 20.44%.

Empirical field research gathered responses from 75 industry professionals (N=75), revealing a 93.3% favorable interest in participating in on-site pilot programs. This result represents exploratory evidence of interest and is conceptually distinguished from a binding willingness-to-pay (WTP) or commercial purchasing commitment. The study concludes with a verdict of CONDITIONAL REGULATORY, TECHNICAL, COMMERCIAL, AND FINANCIAL PRE-FEASIBILITY, whose transition toward full commercial scaling is governed by a 3-stage decision system (Stage-Gate System): Gate A: Formal technical confirmation from SUBPESCA and SERNAPESCA regarding the simplified regulatory pathway ("Gate 0" under Res. Ex. N° 1102/2026) and the validity of kelp harvests toward Minimum Operating Level (NMO, D.S. N° 383/2007) compliance. Gate B: Execution of an on-site industrial pilot using a BACI (Before-After / Control-Impact) experimental design to measure water column bioextraction rates and their correlation with benthic sediment mitigation with causal rigor. Gate C: Formalization of biomass off-take contracts (at USD 700/dry ton floor price) and binding letters of intent (LOI) with salmon producers for the USD 17,500/year B2B service fee.

1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

1.1 Contexto

La industria salmonicultora chilena se ha consolidado durante las últimas tres décadas como el segundo productor global de salmónidos, constituyendo un motor económico, social y logístico fundamental para la macrozona sur-austral (regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes). Sin embargo, la escala de producción intensiva en los cuerpos de agua del mar interior patagónico somete a los ecosistemas marinos a una constante tensión respecto de su capacidad de carga ecosistémica. En los últimos años, el sector ha experimentado una transformación estructural en su entorno institucional. El Estado chileno ha transitado hacia un régimen de fiscalización ambiental responsivo y de alto componente tecnológico. Esta evolución se formalizó con la "Estrategia de Cumplimiento Ambiental para Centros de Engorda de Salmones (CES)" formalizada por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, Res. Ex. N° 1.017/2024), la cual despliega un seguimiento algorítmico y satelital sobre las 1.349 Unidades Fiscalizables con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) vigentes. En este marco, el control estatal ha anulado los márgenes de maniobra informales del pasado: el monitoreo satelital masivo redujo los casos de incumplimiento por posicionamiento de estructuras fuera del polígono concesionado de 45 centros en 2018 a solo 2 centros en 2025, al tiempo que las toneladas de sobreproducción cayeron de 69.547 a tan solo 21 toneladas registradas en el período 2020-2025. A esta fiscalización sobre la ubicación y el volumen autorizado se suman exigencias legales de fondo. La Ley N° 21.410 exige a los titulares de concesiones la adopción de medidas para evitar o reducir el depósito de desechos orgánicos en el lecho marino, mientras que la Ley N° 21.600 (SBAP) condiciona la continuidad operacional de los 417 centros (30,9%) emplazados al interior de Áreas Silvestres Protegidas del Estado a la demostración de impactos ambientales compatibles con la conservación.

Dado este escenario de mayor fiscalización, las empresas productoras operan hoy con un margen de maniobra bastante acotado, el cual está condicionado por las siguientes restricciones:

Restricción Espacial: El Reglamento de Concesiones de Acuicultura (D.S. N° 290/1993) exige que la totalidad de las jaulas y estructuras operen estrictamente dentro de la poligonal concedida, siendo la relocalización un trámite administrativo complejo y no una flexibilidad operativa ordinaria.

Restricción de Biomasa: Las habilitaciones normativas recientes, incluyendo la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026, no autorizan en ningún caso a superar la producción máxima de salmónidos aprobada en la RCA matriz.

Restricción Ambiental del Art. 20 del RAMA: Cuando un centro degrada la condición del sedimento marino y obtiene un Informe Ambiental (INFA) de carácter anaeróbico, el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (D.S. N° 320/2001, RAMA) prohíbe de forma taxativa el ingreso de nuevos ejemplares hasta que el sitio demuestre la restauración de condiciones aeróbicas. Cuando la condición del fondo marino impide iniciar un nuevo ciclo, el centro enfrenta tiempos improductivos, pérdida de margen de contribución y una peligrosa acumulación de meses de inactividad. Es en este contexto de indisponibilidad donde surge la oportunidad de diseñar mecanismos preventivos técnicamente verificables que permitan gestionar la carga de nutrientes disueltos dentro de los límites espaciales y de biomasa autorizados.

La captura de nutrientes disueltos no equivale, por sí sola, a la remoción de la carga orgánica particulada ni permite inferir automáticamente la prevención de la anaerobiosis. La relación entre ambas dimensiones debe ser estimada mediante un balance de masa específico del sitio y validada con indicadores de columna de agua y sedimento.

1.2 Comprobación Científica y Fundamento Biogeoquímico de *Macrocystis pyrifera*

La integración de *Macrocystis pyrifera* como mecanismo biológico de mitigación responde a dos dinámicas biogeoquímicas comprobadas experimentalmente: la biofiltración pelágica de nutrientes disueltos y la dinámica de recuperación del oxígeno en la columna de agua.

a. Fundamento Oceanográfico de Biofiltración Pelágica

La capacidad extractiva de *Macrocystis pyrifera* sobre la pluma de efluentes acuícolas ha sido demostrada empíricamente en fiordos chilenos por Buschmann et al. (2017, 2018). Los ensayos en centros comerciales de salmónidos confirman que la especie presenta altas tasas de asimilación e inmovilización foliar de nitrógeno e inorgánicos solubles a profundidades operativas óptimas (~3 metros), destacando la absorción directa de:

- **Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN):** Principalmente catión amonio **(NH_4^+)** derivado de la excreción branquial de los peces y nitrato **(NO_3^-)**

- **Fósforo Inorgánico Disuelto (DIP):** Principalmente ortofosfato **(PO_4^{3-})**lixiviado de dietas y deyecciones.
- **Carbono Inorgánico:** Dióxido de carbono disuelto **(CO_2)** fijado mediante actividad fotosintética.

b. Desacople Mecanístico: Cadena 1 (Particulada) vs. Cadena 2 (Disuelta)

Para responder a los criterios de fiscalización de SERNAPESCA y la SMA, se establece una distinción estructural en la cadena de impacto del enriquecimiento orgánico:

- **Cadena 1 (Materia Orgánica Particulada - Carga Béntica Directa):** Corresponde al alimento no consumido y heces de los salmónidos que precipitan por gravedad hacia el fondo marino, generando enriquecimiento orgánico directo, demanda biológica de oxígeno y eventual anoxia en el sedimento. La literatura y la praxis técnica confirman que el cultivo suspendido de macroalgas en la columna de agua posee una intervención directa nula o marginal sobre esta fracción particulada pesada.
- **Cadena 2 (Nutrientes Inorgánicos Disueltos - Eutrofización Secundaria):** Corresponde a la fracción soluble **(NH_4^+ / NO_3^- / PO_4^{3-})** que permanece disuelta en la columna de agua. Esta fracción estimula la proliferación microbiana y fitoplanctónica secundaria, la cual, al senecer y decantar, genera una segunda ola de sedimentación orgánica sobre el fondo

Es en la Cadena 2 donde Macrocystis pyrifera actúa como un biofiltro de alta eficiencia: al capturar los nutrientes disueltos e incorporarlos en biomasa vegetal cosechable, el módulo perimetral interrumpe la eutrofización secundaria, reduciendo cuantitativamente la producción futura de materia orgánica que demandaría oxígeno en el sedimento. Aporte Fotosintético de Oxígeno y Dinámica de Recuperación Béntica. Durante la ventana de radiación diurna, la actividad fotosintética del bosque perimetral convierte (CO_2) y agua en biomasa foliar y oxígeno disuelto (O_2) pelágico:

$$\mathbf{CO_2 + H_2O + Luz \rightarrow Biomasa + O_2}$$

Este incremento local en la saturación de O_2 y pH en la columna de agua genera un microclima oxigenado que es transportado por las corrientes dominantes del fiordo hacia las capas inferiores del centro de engorda

Respecto a la resiliencia del bentos, las investigaciones recientes lideradas por el Dr. Marcelo Gutiérrez aportan un marco conceptual crítico sobre los factores que determinan la reversión de fondos degradados: el balance entre la carga orgánica, el flujo hídrico, el consumo

benthónico de O_2, el potencial redox (Eh) y el tiempo. Los ensayos experimentales bajo condiciones controladas y oxigenación constante demuestran que indicadores clave como el potencial redox y la demanda de oxígeno pueden retornar hacia niveles de referencia en ventanas aproximadas de **47 a 70 días**.

Si bien el investigador advierte que la extrapolación a sistemas abiertos depende de la ventilación hidrodinámica natural del sitio, estos hallazgos entregan el fundamento cuantitativo para el Modelo MAI: al mitigar la carga nutricional de la Cadena 2 y enriquecer el perfil de O_2 pelágico, De este modo, la plataforma MAI interviene la Cadena 2 como un biofiltro continuo, cuya causalidad directa sobre la prevención de la anaerobiosis bentónica será demostrada empíricamente mediante el diseño experimental propuesto en esta tesina.

c. Integración Estratégica con el Modelo de Negocio B2B

La validación científica descrita transforma la solución en un activo de gestión empresarial e institucional:

1. Compliance con la Ley N° 21.410 (Art. 74 ter): Justifica la elección de *Macrocystis* como un "mecanismo biológico" formal frente a SERNAPESCA para la elaboración del Plan de Investigación y Recuperación obligatorio.
2. Mitigación de la Pérdida Esperada (Lciclo): Al actuar preventivamente sobre la Cadena 2, disminuye la probabilidad de gatillar la anoxia bajo el Art. 20 del RAMA, resguardando el activo concesional frente a parálisis de $5,0 a $10,0 millones por ciclo.
3. Rigores del Piloto BACI (OE5): La diferenciación de ambas cadenas constituye la hipótesis biológica que medirá el protocolo BACI en sitio (CES Tratamiento vs. CES Control), aislando las variables estacionales para demostrar causalidad estadística en la tasa de bioextracción.

1.3 Aporte al Conocimiento del Proyecto

El principal aporte de esta tesina de grado al campo de la gestión empresarial radica en el diseño y evaluación de prefactibilidad de un modelo de servicios administrados (As-a-Service) aplicado a la mitigación del riesgo ambiental en la acuicultura. Históricamente, la literatura sobre Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA) y fitorremediación con macroalgas ha abordado el cultivo de Macrocystis pyrifera desde una perspectiva puramente agronómica, biológica o como iniciativas aisladas de responsabilidad social corporativa. Esta investigación trasciende la escala académica para evaluar cómo la estructuración de una plataforma B2B, denominada

Environmental Risk-as-a-Service (ERaaS), permite externalizar las fricciones de CAPEX, permisología y logística de deshidratación in-situ. El proyecto aporta un modelo conceptual para analizar cómo la captura trazable de datos ambientales (remoción de nitrógeno y fósforo disueltos) y la articulación de la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 como actividad complementaria pueden ofrecer a la alta dirección de las salmoneras una alternativa preventiva de gestión de riesgo. De este modo, la tesina contribuye a la ciencia de la administración explorando mecanismos B2B que transforman una restricción regulatoria en una oportunidad de gestión de activos y reportabilidad de sostenibilidad (ESG).

2 RESUMEN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

2.1 Definición Ejecutiva del Servicio

El Modelo de Acompañamiento Integral (MAI) se estructura como un servicio B2B administrado de gestión preventiva del riesgo ambiental (plataforma Environmental Risk-as-a-Service, ERaaS). El servicio diseña, instala, opera y monitorea un cultivo complementario de macroalgas (Macrocystis pyrifera) dentro de la poligonal concesionada de un Centro de Engorda de Salmones (CES), asumiendo la operación especializada bajo un modelo de infraestructura compartida (In-kind) con la empresa salmonera. La solución tiene como **objetivo generar evidencia ambiental verificable y evaluar su capacidad para reducir el riesgo o la severidad del deterioro ambiental,** operando estrictamente dentro de los límites espaciales y sin aumentar la biomasa autorizada de peces.

2.2 Caracterización del Problema de Negocio del Cliente

Como se analizó en detalle en la sección 1.1, las salmoneras operan bajo **estrictas restricciones espaciales y de biomasa**, enfrentando de forma permanente el **riesgo de indisponibilidad operacional por anoxia** (Art. 20 del RAMA). A este complejo escenario normativo se suman las barreras internas de ejecución corporativa:

- **Barreras internas de ejecución:** Las corporaciones salmoneras evitan asumir la gestión directa de cultivos secundarios por aversión al desembolso de capital (CAPEX), falta de know-how biológico interno, complejidad permisológica y fricciones logísticas en fiordos australes.

2.3 Arquitectura del Servicio Primario

- **Infraestructura Compartida (In-kind) y Operación Administrada**: El piloto se ejecuta colaborativamente. La salmonera aporta la logística operativa base que ya posee como costo hundido (embarcaciones, buceo comercial y energía del pontón), mientras que la firma operadora MAI asume la inversión en infraestructura especializada (semillas, long-lines y unidad de prensado), viabilizando económicamente el piloto.
- **Gestión Permisológica Centralizada (Gate 0):** MAI tramita la incorporación de macroalgas como actividad complementaria (cultivo conjunto o alternado) amparándose en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 y gestiona las Consultas de Pertinencia ante el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

- **Deshidratación Mecánica In-Situ:** Para solucionar la viabilidad del flete marítimo, derivada de la alta humedad del alga fresca (~90%), se instala a bordo del pontón del centro un sistema de Prensado Mecánico de Tornillo Helicoidal (*Screw Press*) alimentado por la matriz energética existente. Este equipamiento extrae el agua libre y reduce la humedad al 65%, concentrando la cosecha en una masa transportable equivalente a 25 toneladas secas por ciclo.
- **Ingeniería sin Interferencia:** El trazado perimetral de fondeos se diseña mediante modelación hidrodinámica bajo la meta operacional de minimizar interferencias navieras (TIL = 0%)

2.4 Mecanismo de Monetización Secundaria

Para estabilizar la estructura financiera de la firma operadora y liberar a la salmonera de la gestión comercial en mercados secundarios, MAI suscribe contratos de compraventa de biomasa a largo plazo (*Take-or-Pay*) con precio piso garantizado (*Floor Price* de USD 700/t seca) con empresas procesadoras terrestres de bioestimulantes agrícolas. La venta de esta biomasa actúa exclusivamente como una corriente secundaria de ingresos destinada a recuperar costos operacionales de la firma proveedora.

2.5 Beneficios Entregados y Resultados Contingentes

- **Dossier de Cumplimiento Ambiental:** Entregable trimestral auditable que compila datos de remoción neta de nitrógeno y fósforo disueltos en la columna de agua, actuando como expediente de información técnica para la gestión interna y fiscalización preventiva.
- **Antecedentes de Operación (NMO):** Provee guías de despacho y registros sectoriales de biomasa cosechada que pueden aportar antecedentes de operación para evaluar la contribución al Nivel Mínimo de Operación (NMO) bajo el D.S. N° 383/2007, sujeto al cálculo reglamentario y criterio formal de SERNAPESCA.
- **Reportabilidad ESG e Instrumentos SLL:** Aporta métricas trazables para memorias de sostenibilidad bajo estándares internacionales (GRI). Su eventual utilización para la renegociación de tasas en Préstamos Vinculados a la Sostenibilidad (SLL) dependerá estrictamente de los KPIs y criterios de verificación acordados con la institución financiera.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar y evaluar la prefactibilidad de un servicio B2B administrado de gestión preventiva del riesgo ambiental basado en el cultivo complementario de macroalgas (*Macrocystis pyrifera*) en concesiones salmoneras chilenas, determinando su factibilidad regulatoria, su potencial de biofiltración, la disposición de la industria a contratarlo y las condiciones económicas requeridas para crear valor en un escenario privado sostenible

3.2 Objetivos Específicos del Proyecto

Para alcanzar el propósito general, el proyecto de innovación se estructura bajo los siguientes cuatro objetivos específicos:

- **OE1 (Objetivo especifico 1 Operativo):** Diseñar la disposición perimetral del módulo y la integración de la unidad de prensado mecánico in-situ (Screw Press) a bordo del pontón, estableciendo como meta de diseño minimizar interferencias navieras (Tasa de Interferencia Logística TIL = 0%).
- **OE2 (Objetivo especifico 2 Regulatorio y Permisológico):** Estructurar la arquitectura permisológica amparada en la Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026 y Consultas de Pertinencia ante el SEA ("Gate 0"), definiendo la estructura del Dossier de Cumplimiento Ambiental como expediente de trazabilidad técnica.
- **OE3 (Objetivo especifico 3 Comercial y de Mercado):** Evaluar la percepción de valor y la disposición a participar en pruebas piloto en los segmentos corporativos (N=75), analizando la viabilidad del modelo de cofinanciamiento 50/50, compuesto por una tarifa objetivo B2B (USD 17.500/año) y acuerdos de Off-take (USD 17.500/año).
- **OE4 (Objetivo especifico 4 Financiero y Evaluación Económica):** Evaluar la viabilidad económica mediante flujos de caja a 5 años en un escenario base 100% privado (0% subsidio), analizando la sensibilidad del modelo ante variaciones de biomasa, precios, CAPEX, OPEX y tarifas.
- **OE5 (Objetivo especifico 5 Línea Biológica y Monitoreo Ecosistémico):** Formular un protocolo de pilotaje industrial con diseño experimental BACI para medir la tasa de remoción neta de nutrientes disueltos (Nitrógeno y Fósforo Inorgánico Disuelto) en la columna de agua, y evaluar su correlación con los indicadores bentónicos del sedimento.

3.3 Hipótesis de investigación

- **H1 (Regulatoria):** Bajo la Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026, la incorporación de Macrocystis pyrifera presenta una vía regulatoria potencialmente factible como actividad complementaria dentro del polígono concedido sin superar la biomasa autorizada de peces; su contribución efectiva al Nivel Mínimo de Operación (NMO, D.S. N° 383/2007) constituye una hipótesis regulatoria cuya ponderación dependerá de la validación caso a caso por SERNAPESCA.
    - **H2a (Ambiental Columna de Agua):** Un módulo de *Macrocystis pyrifera* de 2 hectáreas reduce de forma medible la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en su área de influencia directa en comparación con un sitio control.
    - **H2b (Ambiental Bentos):** La captura continua de nutrientes disueltos atenúa la presión orgánica pelágica, contribuyendo a atenuar la degradación del sedimento bentónico, cuya magnitud deberá validarse empíricamente mediante pruebas in-situ.
- **H3 (Comercial):** Las empresas salmoneras muestran disposición preliminar a evaluar la contratación de un servicio administrado de gestión preventiva en modalidad OPEX, materializable mediante acuerdos comerciales e intenciones de firma (LOI).
- **H4 (Económica):** El valor económico esperado derivado de la cobertura de riesgo justifica la evaluación del servicio por parte del cliente, mientras que la empresa operadora alcanza un retorno sobre el capital competitivo (TIR > WACC) en un escenario privado sin dependencia de subsidios estatales
- **H5 (Validación Experimental BACI):** La aplicación de un diseño experimental Before-After / Control-Impact (BACI) en condiciones de pilotaje industrial permite aislar las variables oceanográficas estacionales y demostrar con significancia estadística la relación de causalidad entre la tasa de bioextracción de nutrientes disueltos (DIN y DIP) en la columna de agua y la atenuación de la degradación orgánica en el sedimento bentónico.

3.4 Caracterización Metodológica del Estudio

La investigación adopta un enfoque mixto, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas con el propósito de evaluar la prefactibilidad del modelo de negocio desde la perspectiva de la gestión empresarial.

Tabla 3.1: Caracterización metodológica del estudio

Elemento Metodológico	Descripción
Enfoque de Investigación	Mixto (Cuantitativo - Cualitativo)
Tipo y Alcance	Aplicada, con alcance exploratorio-descriptivo.
Diseño	Prefactibilidad técnico-económica y diseño de modelo de negocios.
Universo de Estudio	Tomadores de decisión de la industria salmonera chilena (Operaciones, Sostenibilidad, Finanzas, Asuntos Corporativos).
Muestra Empírica	N = 75 participantes de la industria (muestreo no probabilístico intencional).
Técnicas e Instrumentos	Encuesta estructurada online mas Entrevistas semiestructuradas a actores clave.
Alcance de los Datos	La intención declarada obtenida representa evidencia exploratoria de *interés en evaluar un programa piloto*, distinguiéndose conceptualmente de una disposición contractual demostrada a pagar (WTP) o decisión de compra firme.

Fuente: Elaboración propia

4 MERCADO OBJETIVO

4.1 Caracterización del Mercado

Para responder a las exigencias analíticas de un plan de negocios presentado y corregir la concentración genérica en el tamaño corporativo, la segmentación de mercado se estructura bajo un modelo jerárquico de dos niveles:

Nivel 1: Elegibilidad y Perfil de Riesgo del Centro (CES Unidad de Análisis Primaria)

El dolor de negocio no se distribuye de manera uniforme según el tamaño de la salmonera, sino por las condiciones ambientales, oceanográficas y territoriales específicas de cada Centro de Engorda de Salmones (CES). El mercado primario se delimita mediante tres criterios de elegibilidad técnica y vulnerabilidad regulatoria:

1. **Centros en Áreas Silvestres Protegidas (SBAP):** Concesiones ubicadas al interior de Parques Nacionales o Reservas Marinas bajo la Ley N° 21.600, expuestas a un mayor escrutinio público y exigencias de impacto ambiental regenerativo.
2. **Centros con Historial de INFA Limítrofe o Riesgo de Anoxia**: Sitios que presentan tasas históricas de oxigenación deprimida o acumulación de materia orgánica en el sedimento, expuestos a caer en condición anaeróbica e incomunicación de siembras bajo el Artículo 20 del RAMA.
3. **Centros en Descanso Sanitario Coordinado (ACS) Prolongado:** Concesiones en períodos de pausa biológica no amparadas por resoluciones de autoridad donde se requiere mantener actividad económica complementaria dentro del marco de la Res. Ex. N° 1102/2026 de SUBPESCA

Nivel 2: Perfil Corporativo del Comprador B2B (Proceso y Capacidad de Compra)

Una vez filtrados los CES elegibles, la comercialización se adapta al proceso de decisión corporativo de la empresa titular:

Tabla 4.1: Perfil Corporativo del Comprador B2B

Segmento Corporativo	Escala de Producción	Perfil de Decisión y Motivación de Compra	Rol del Servicio MAI (ERaaS)
Tier 1: Big 5 (AquaChile, Cermaq, Multi X, Australis, Mowi)	> 80.000 ton/año	Comités formales de riesgo, legales y sostenibilidad. Buscan datos ambientales trazables para reportabilidad ESG y respaldo de Préstamos Vinculados a la Sostenibilidad (SLL)	Herramienta de Compliance corporativo y mitigación de riesgo reputacional y financiero.
Tier 2: Empresas Consolidadas (Tales como: Blumar, Camanchaca, Salmones Austral, Invermar)	$20.000 - 80.000 ton/año	Gerencias de Operaciones y Finanzas con foco en la eficiencia de costos. Buscan resguardar la disponibilidad de la concesión sin desviar capital.	Cofinanciamiento del piloto preventivo bajo esquema de infraestructura compartida (In-kind) y captura del 50% de ingresos por biomasa

Fuente: Elaboración propia

4.2 Justificación Económica de la Solución

Para justificar la tarifa B2B cofinanciada de USD 17.500 anuales por módulo piloto, no basta con comparar de forma estática el costo del servicio contra el valor patrimonial total de la concesión (USD 1,0 a 4,0 millones) o el lucro cesante general por ciclo no sembrado (USD 5,0 a 10,0 millones). Ese razonamiento demuestra que el activo expuesto es valioso, pero no cuantifica la creación neta de valor que genera el servicio

Para modelar la indisponibilidad operacional con evidencia empírica de la industria, se debe considerar la **matriz de temporalidad de inactividad**, utilizando como benchmark casos documentados de titulares relevantes ,donde los tiempos de detención operan en tres niveles regulatorios::

1. **Descanso Sanitario Coordinado Ordinario (90 días):** Fijado obligatoriamente por SERNAPESCA para la Agrupación de Concesiones (ACS). Bajo el Art. 69 bis de la LGPA, este periodo obligatorio se contabiliza como operación y no consume plazo de caducidad.
2. **Paralización Máxima Ordinaria (24 meses):** Plazo legal continuo en el que un sitio puede estar sin sembrar bajo el Art. 142 de la LGPA sin configurar causal de caducidad.
3. **Prórrogas Extraordinarias de Inactividad (36 a 48 meses):** Extensiones concedidas por SUBPESCA ante procesos severos de deterioro (INFA anaeróbica) o reestructuración de fondos, demostrando que la recuperación bentónica pasiva puede inmovilizar el activo hasta por 4 años comerciales.

Bajo este contexto, el beneficio económico directo para la salmonera se modela en función de la reducción de la pérdida esperada por indisponibilidad prolongada y la atenuación del costo de oportunidad espacial

$$\textbf{Beneficio Económico Esperado (Cliente)} = \Delta\text{Panoxia} \times \text{Lciclo}) + (\Delta\text{Días de Indisponibilidad} \times \text{Margen diario}) - \text{Fee MAI} - \text{Costo Oportunidad Espacial}$$

Donde:

- ΔPanoxia: Reducción en la probabilidad de caer en INFA anaeróbica por menor presión pelágica, prevención de floraciones microbianas secundarias y optimización de las condiciones ambientales de la concesión.
- Lciclo: Lucro cesante o margen de contribución perdido por la paralización forzada de un ciclo de engorda (estimado en USD 5,0 a 10,0 millones).

- ΔDías de Indisponibilidad: Días de retardo o inactividad evitados al acelerar o mantener la condición aeróbica del sitio.
- Margen diario: Margen de contribución generado por día operativo del centro de salmones.
- Fee MAI: Cofinanciamiento B2B del servicio piloto (USD 17.500/año)
- Costo Oportunidad Espacial: Valor del espacio de la concesión ocupado por las 2 hectáreas del módulo que deja de utilizarse para infraestructura salmonícola.

Desde la perspectiva de la Gerencia de Finanzas (CFO), el pago anual de USD 17.500 actúa como una tarifa reducida de cofinanciamiento para dar cumplimiento a la Ley N° 21.410 y resguardar la continuidad operacional. Al recuperar el 50% del costo total a través de la venta del alga, el costo efectivo representa menos del 0,35% del lucro cesante de un ciclo paralizado.

4.3 Vulnerabilidad Territorial y Fiscalizadora Oficial

La urgencia comercial del servicio se fundamenta en la clausura definitiva de los antiguos márgenes de maniobra informales por parte de la autoridad ambiental:

- **Presión en Áreas Silvestres Protegidas**: De los 1.349 CES con RCA a nivel nacional, 417 centros (un 30,9%) se ubican dentro de Parques Nacionales o Reservas Marinas. Estas instalaciones concentran el 36,6% de las denuncias ambientales históricas ante la SMA (447 de 1.222 denuncias), convirtiéndose en el foco prioritario de fiscalización.
- **Fiscalización Satelital de Posicionamiento:** La SMA erradicó la práctica no autorizada de desplazar jaulas fuera del polígono para buscar aguas más oxigenadas. En mayo de 2026, la SMA notificó preventivamente a 998 CES mediante seguimiento satelital SAR/Sentinel, reportando que los incumplimientos por posicionamiento cayeron de 45 centros en 2018 a solo 2 centros en 2025.
- **Erradicación de la Sobreproducción:** La sobreproducción no autorizada cayó drásticamente de 69.547 toneladas en 2020 a tan solo 21 toneladas en 2025. Al no poder sobreproducir para diluir costos ni mover las jaulas fuera del área concedida, las empresas están obligadas a maximizar la eficiencia ecológica dentro del perímetro estricto de la concesión, posicionando al servicio MAI como una herramienta preventiva estratégica

4.4 Dimensionamiento TAM - SAM - SOM

Para evitar distorsiones metodológicas, el dimensionamiento de mercado se separa de forma independiente entre la tarifa del servicio B2B pagada por las salmoneras y la comercialización secundaria de la biomasa procesada en industrias terrestres:



Figura 4.1: Funnel de dimensionamiento de mercado TAM - SAM - SOM para el Servicio MAI (ERaaS).

Fuente: Elaboración propia

Mercado 1: Servicio B2B de Gestión Preventiva (ERaaS Salmonero)

- TAM (Total Addressable Market): Integrado por el universo total de 1.349 Centros de Engorda de Salmones (CES) con RCA en Chile. Si el 100% de los centros cofinanciara el servicio a la tarifa B2B de USD 17.500 anuales, el mercado teórico alcanzaría USD 23,60 millones anuales.

- SAM (Serviceable Available Market): Delimitado mediante el funnel de elegibilidad técnica y regulatoria (centros en Áreas Protegidas o con INFA limítrofe). Se estima un mercado atendible de 100 centros críticos por año, representando un SAM de USD 1,75 millones anuales.
- SOM (Serviceable Obtainable Market): Meta comercial enfocada en la validación del Módulo Piloto Demostrativo (1 a 3 centros anfitriones iniciales). La facturación bruta por módulo piloto alcanza los USD 35.000/año (USD 17.500 aportados por la salmonera y USD 17.500 por venta de biomasa terrestre)

Mercado 2: Comercialización Secundarios de Biomasa (Off-take Terrestre)

- Corresponde a la venta de la materia prima secada e hidrolizada a plantas procesadoras de bioestimulantes agrícolas e hidrocoloides.
- Para la unidad piloto, la producción de 25 toneladas secas comercializadas a un precio de contrato de USD 700/tonelada seca genera un ingreso de USD 17.500 anuales, cubriendo exactamente el 50% del valor del servicio. Facturación Bruta Total del Módulo Piloto = USD 35.000/año.

.

5 DIAGNÓSTICO

5.1 Caracterización del Problema y Matriz de Temporalidad Operativa

El problema central de la industria salmonera en la macrozona sur-austral de Chile no radica en una necesidad agronómica intrínseca de cultivar macroalgas, sino en la **exposición a la indisponibilidad operacional del activo concesional** debido a la degradación ambiental del fondo marino y al endurecimiento del marco regulatorio e institucional.

Un Centro de Engorda de Salmones (CES) opera como una unidad de alta densidad de capital con elevados costos fijos. Cuando la actividad de engorda genera un enriquecimiento orgánico en el sedimento que supera la capacidad de carga del cuerpo de agua, el sitio cae en condición de anoxia. Bajo el marco normativo vigente, esta degradación gatilla sanciones administrativas que suspenden la continuidad del negocio, imposibilitando la siembra de nuevos peces, destruyendo el margen de contribución de la compañía y generando costos fijos hundidos sin generación de ingresos.

A este riesgo biológico y operativo se suma un entorno de **rigidez estructural de la concesión.**

- **Incapacidad de Desplazamiento Espacial:** La normativa concesional (D.S. N° 290/1993) exige que la totalidad de las estructuras permanezca dentro del polígono autorizado. La relocalización de un centro es un proceso regulatorio formal y de largo plazo (Ley N° 20.434 Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura), no una flexibilidad operativa ordinaria.

- **Incapacidad de Incremento Productivo:** Las habilitaciones ambientales y sectoriales limitan de forma estricta la biomasa máxima de salmónidos aprobada en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) matriz.

- **Aversión Interna a la Inversión en Activos Secundarios:** Más allá de las barreras normativas, durante las entrevistas semiestructuradas comprobé de primera mano una fuerte resistencia corporativa para destinar recursos a proyectos ambientales. Los tomadores de decisión evitan inmovilizar capital (CAPEX) en activos ajenos a su *core business*.

- **Este hallazgo cualitativo es clave:** el temor logístico y el desconocimiento agronómico son los factores reales que hunden las iniciativas de biorremediación in-house.



Figura 5.1: Cadena de impacto causa-efecto del riesgo ambiental y regulatorio en el Centro de Engorda de Salmones (CES).

Fuente: Elaboración propia

5.2 Dimensionamiento del Problema y Matriz de Temporalidad Operativa

Para evaluar el impacto económico de la indisponibilidad de la concesión, los tiempos de detención productiva se clasifican en tres niveles normativos

- **Nivel 1: Descanso Sanitario Coordinado Ordinario (SERNAPESCA - 3 meses / 90 días):** Periodo fijado obligatoriamente por resolución de SERNAPESCA para todas las concesiones pertenecientes a una misma Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS o barrio). Por mandato del Artículo 69 bis de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), este periodo dispuesto por la autoridad se contabiliza legalmente como tiempo operado y no consume plazo de caducidad

- **Nivel 2: Paralización Máxima Ordinaria (Art. 142 LGPA / SUBPESCA - 24 meses / 2 años):** Límite legal continuo en el que un sitio puede permanecer inactivo sin sembrar salmónidos. Si un centro supera los dos años continuos sin acreditar operaciones mínimas (D.S. N° 383/2007), la autoridad queda facultada para iniciar el procedimiento de caducidad del título concesional.

- **Nivel 3: Periodos Máximos de Inactividad Otorgados por la Autoridad (Prórrogas SUBPESCA - 36 a 48 meses / 3 a 4 años):** Ante situaciones de contingencia ambiental severa o lenta recuperación del sedimento bentónico tras Informes Ambientales (INFA) anaeróbicos, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) puede otorgar exenciones especiales de paralización por 12 a 24 meses adicionales. Si bien estas prórrogas eximen temporalmente de la caducidad, inmovilizan el activo productivo hasta por 4 años comerciales, acumulando pérdidas por lucro cesante estimadas entre USD 5,0 y 10,0 millones por ciclo no sembrado.

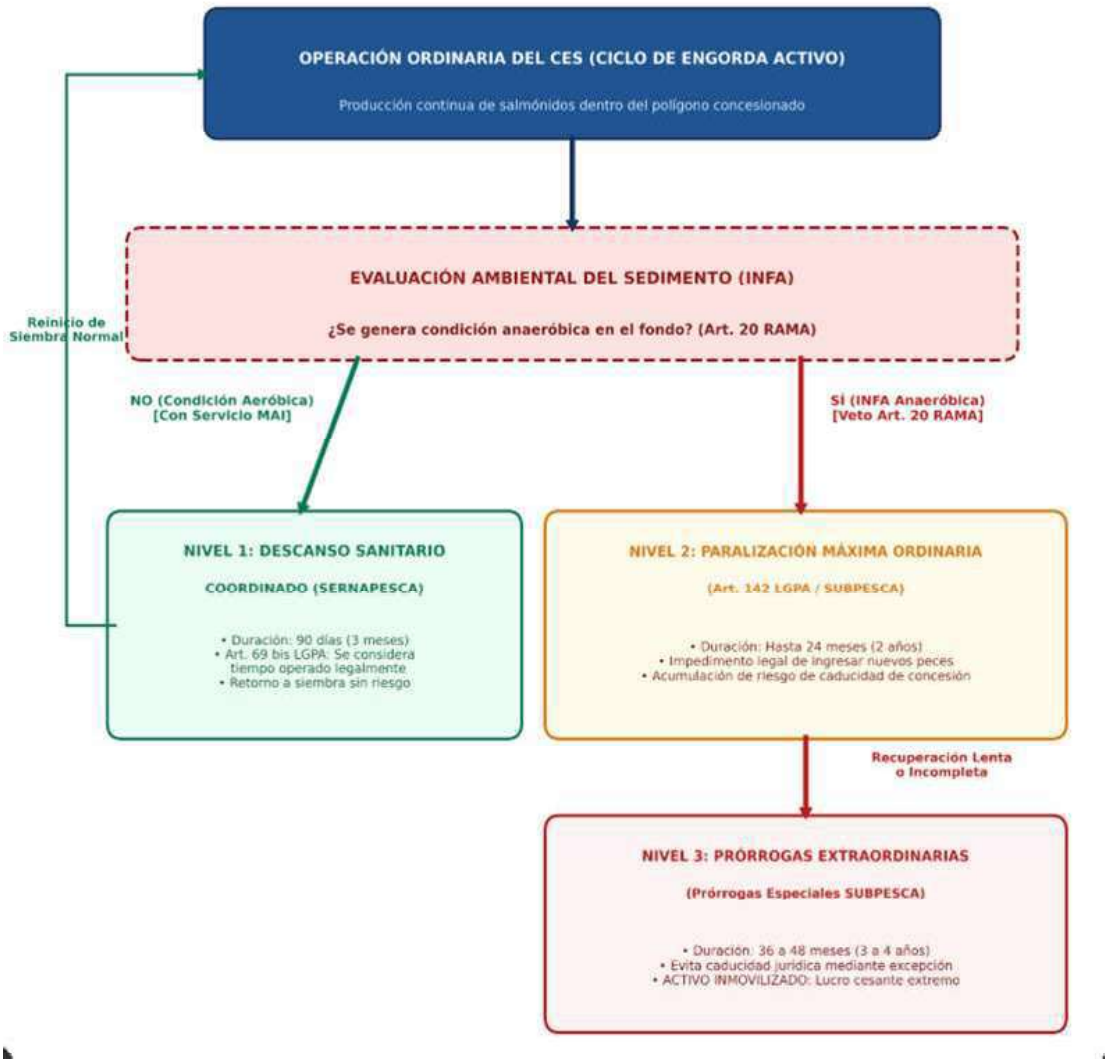


Figura 5.2: Diagrama de flujo de la matriz de temporalidad y desplazamiento de inactividad

Fuente: Elaboración propia

Cuando un centro colapsa ambientalmente y gatilla el Art. 20 del RAMA, la empresa es desplazada del Nivel 1 (descanso sanitario planificado de 90 días) hacia los Niveles 2 y 3. Este desplazamiento genera un riesgo directo de caducidad y destruye el margen de contribución del titular por la parálisis prolongada del sitio

5.3 Clausura de Márgenes de Maniobra Informales y Rigidez Regulatoria

Como se evidenció estadísticamente en la Sección 4.3, el monitoreo satelital de la SMA y la integración algorítmica de SERNAPESCA han erradicado las prácticas informales de sobreproducción y desplazamiento de balsas-jaula.

Esta clausura institucional configura un escenario de rigidez operacional sustentado en tres pilares normativos interconectados. En primer lugar, el Reglamento de Concesiones de Acuicultura (D.S. N° 290/1993) establece una restricción espacial infranqueable al exigir que la totalidad de las estructuras permanezca dentro del polígono otorgado, convirtiendo cualquier intento de relocalización en un trámite administrativo de largo plazo y no en una opción operativa inmediata. A esta limitación territorial se suma la restricción de biomasa reforzada por la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026, la cual faculta la incorporación de macroalgas como cultivo complementario pero prohíbe taxativamente superar la producción máxima de peces aprobada en la Resolución de Calificación Ambiental matriz. Finalmente, la promulgación de la Ley N° 21.410 (Artículo 74 ter) transforma la gestión de efluentes en un mandato legal expreso, obligando a los titulares a adoptar medidas activas para evitar la acumulación de desechos orgánicos en el fondo marino y validando expresamente el uso de mecanismos biológicos de absorción en la columna de agua.

5.4 Redefinición del Planteamiento Regulatorio y Posicionamiento Preventivo (Art. 20 RAMA, Caducidad y NMO)

Frente al rigor de la fiscalización estatal y la promulgación de la **Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026** que faculta la incorporación simplificada de macroalgas como especie complementaria dentro del grupo de salmónidos al amparo del Art. 21 bis del D.S. N° 290/1993, el Modelo MAI establece un marco de actuación técnica y jurídica delimitado:

1. Límite Estricto de Producción y Espacio

La Res. Ex. N° 1102/2026 establece expresamente que la incorporación de macroalgas **no autoriza a superar la producción máxima de salmónidos ni la superficie otorgada en la concesión**. El módulo de macroalgas debe instalarse y operar dentro del perímetro autorizado del polígono concesionado.

2. Posicionamiento Preventivo durante el Ciclo Activo vs. Ex-Post

Bajo el Artículo 20 del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA, D.S. N° 320/2001), se prohíbe taxativamente el ingreso de nuevos ejemplares a centros con INFA anaeróbica. Al no existir un pronunciamiento normativo que libere automáticamente esta restricción mediante algas ex-post, el Modelo MAI descarta presentarse como un servicio de recuperación en sitios ya colapsados.

La propuesta se posiciona estrictamente como un **mecanismo preventivo de gestión del riesgo ambiental**, instalándose durante el ciclo activo de salmones o descansos sanitarios programados. El módulo intercepta los excedentes de nutrientes inorgánicos disueltos (Amonio, Nitrato, Fosfato (u ortofosfato)) o Amonio + Nitrato que componen el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) y Fosfato que representa la fracción principal del **Fósforo Inorgánico Disuelto** (DIP) en la columna de agua antes de que precipiten y se degraden en el lecho bentónico, buscando atenuar la tasa de acumulación orgánica en el sedimento.

3. Hipótesis de Acreditación del Nivel Mínimo de Operación (NMO)

Las cosechas de *Macrocystis pyrifera* generan guías de despacho visadas en el sistema SIFA de SERNAPESCA, constituyendo antecedentes oficiales de actividad extractiva registrada. No obstante, la suficiencia de dichas cosechas para acreditar el Nivel Mínimo de Operación (D.S. N° 383/2007) o evitar causales de caducidad (Art. 142 de la LGPA) representa una **hipótesis regulatoria que debe ser validada formalmente ante SUBPESCA y SERNAPESCA (Gate A)** previo a la contratación comercial

4. Fundamento de Gestión de Residuos (Ley N° 21.410)

El servicio se ampara en el Artículo 74 ter de la LGPA (incorporado por la Ley N° 21.410), que exige a los titulares adoptar medidas para evitar o reducir el depósito de desechos orgánicos, reconociendo a los mecanismos biológicos de absorción como herramientas válidas de mitigación en la columna de agua.

Tabla 5.1: Cuadro comparativo entre el posicionamiento de corrección ex-post y el nuevo posicionamiento estratégico preventivo del Modelo MAI

Dimensión de Análisis	Posicionamiento Corrección Ex-Post (Vulnerable)	Posicionamiento Preventivo MAI
Momento de Intervención	Intenta instalarse después de que el centro obtiene INFA anaeróbica.	Se instala e interviene durante el ciclo activo o descansos antes de la anoxia.
Mecanismo Operativo	Pretende reacreditar la reanudación de siembras en sitios colapsados	Captura nutrientes disueltos en columna de agua para atenuar la carga bentónica.
Sustento Normativo	No constituye una garantía de continuidad de la concesión ni de cumplimiento automático del NMO y el Art. 20 del RAMA de forma automática.	Opera bajo la Res. Ex. N° 1102/2026 (Gate 0) y responde a la Ley N° 21.410
Aportes al NMO (Art. 142 LGPA)	Asume la suspensión automática de plazos de caducidad.	Aporta antecedentes cuya contribución al NMO dependerá del criterio de SERNAPESCA..

Fuente: Elaboración propia basada en el marco regulatorio sectorial (Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026, RAMA D.S. N° 320/2001 y D.S. N° 383/2007)

De este modo, el servicio administrado ERaaS se plantea como un mecanismo de gestión preventiva que busca favorecer la captura de nutrientes inorgánicos disueltos en la columna de agua antes de su eventual contribución a procesos de acumulación orgánica en el sistema bentónico. Su capacidad efectiva para modificar dichas condiciones deberá ser determinada mediante evidencia experimental.

6 ESTADO DEL ARTE

A nivel global y nacional, la gestión de pasivos ambientales en la acuicultura intensiva ha impulsado diversas alternativas tecnológicas y operacionales. Sin embargo, el abordaje de estas prácticas bajo la arquitectura de un servicio administrado B2B (*Environmental Risk-as-a-Service*, ERaaS) presenta brechas estratégicas en las soluciones actualmente disponibles en la industria

6.1 Análisis de Soluciones Existentes y Brechas de Mercado

1. Enfoque Internacional de Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA)

En las principales regiones salmoneras del Atlántico Norte (Noruega, Canadá y Escocia), la integración de macroalgas en centros de cultivo se ha desarrollado predominantemente bajo proyectos de investigación y desarrollo académico. Estas iniciativas presentan una brecha de escalamiento comercial estructural: se gestionan como experimentos biológicos aislados que no resuelven la logística de deshidratación in-situ, el costo del flete en fiordos remotos ni la estructuración de contratos de compra anticipada (*Off-take*) con industrias terrestres.

2. Remediación Mecánica y Física Nacional

En el ámbito chileno, la respuesta de la industria frente al Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) y la Ley N° 21.410 se ha concentrado en servicios de ingeniería submarina:

- Se identifican sistemas de inyección de microburbujas de oxígeno (O_2) provista por empresas como OXZO[1] Para mitigar eventos puntuales de anoxia en la columna de agua.
- **Limpieza Robótica de Redes :** Soluciones mecanizadas para mantener el flujo hídrico en las balsas-jaula, como empresa Mares Limpios[2] ofrecen un alivio paliativo e inmediato a la bioseguridad

Brecha detectada: Si bien estas tecnologías atienden la urgencia operativa inmediata de oxigenación y bioseguridad, representan centros de costo puro (OPEX hundido), no remueven nutrientes disueltos (nitrógeno y fósforo amoniacal) de la columna de agua ni generan biomasa valorizable ni antecedentes de actividad extractiva registrada

[1] https://oxzo.cl/

[2] https://mareslimpios.cl/

3. Iniciativas de Titulares Corporativos

Productoras salmoneras de gran escala han comenzado a explorar la incorporación de cultivos secundarios. Un hito relevante lo constituye el expediente del CES Seno Gemmel (Cermaq Chile S.A., 2026), donde la empresa ingresó una Consulta de Pertinencia ante el SEA para instalar 6 long-lines de macroalgas (1,62 ha) combinadas con nanoburbujas dentro de una concesión de 12 hectáreas, manteniendo la biomasa autorizada de 4.800 toneladas de salmón.

Brecha detectada: Este antecedente confirma la disposición de la alta dirección a invertir en la categoría, pero expone la ineficiencia de internalizar la operación: la salmonera debe asumir el CAPEX directo, tramitar los permisos, gestionar el cultivo biológico y resolver la comercialización de la biomasa. El Modelo MAI resuelve este cuello de botella transformando el desarrollo in-house en un servicio externo administrado.

6.2 Mapeo de Competencias Institucionales y Marco Regulatorio Aplicable

La viabilidad procedimental del servicio se articula en la interacción precisa entre cuatro entidades de la institucionalidad pública chilena:

1. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA)

Organismo encargado de regular el régimen concesional y visar las modificaciones operacionales de los proyectos técnicos. En materia de caducidad y temporalidad de la inactividad, SUBPESCA administra 3 instrumentos clave:

- Gestión del Plazo de Caducidad (Art. 142 letra e, LGPA): Aplica la causal de caducidad cuando un centro paraliza sus actividades por más de 24 meses consecutivos (2 años) sin acreditar operación.

- Otorgamiento de Prórrogas Extraordinarias de Inactividad: Ante situaciones de baja oxigenación, lenta recuperación bentónica tras INFAs anaeróbicas o reestructuraciones productivas, SUBPESCA posee la potestad de conceder exenciones especiales de paralización por 12 a 24 meses adicionales. Esto amplía el margen de inactividad a un rango de 36 a 48 meses (3 a 4 años) para evitar la caducidad del título mientras el sitio se mantiene sin salmones.

- Habilitación de Cultivos Complementarios (Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026): Norma dictada el 24 de abril de 2026 que modifica la Res. Ex. N° 1089/2021 e incorpora a las

macroalgas dentro del grupo de salmónidos para efectos del Art. 21 bis del D.S. N° 290/1993. Permite el cultivo alternado o conjunto de Macrocystis pyrifera mediante una declaración jurada simplificada, sin requerir la modificación del proyecto técnico matriz siempre que no se aumente la superficie ni la biomasa autorizada de peces.

2. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA)

Órgano fiscalizador sectorial encargado de verificar la operación efectiva en terreno, administrar el Registro Nacional de Acuicultura (RNA) y certificar el cumplimiento de la normativa ambiental y sanitaria:

- Reconocimiento de Descansos Sanitarios (Art. 69 bis, LGPA): Fiscaliza los Descansos Sanitarios Coordinados de 90 días (3 meses) fijados obligatoriamente para las Agrupaciones de Concesiones (ACS). Por mandato legal, este periodo dispuesto por la autoridad se contabiliza como tiempo operado y no descuenta plazo para la caducidad.

- Acreditación del Nivel Mínimo de Operación (NMO - D.S. N° 383/2007): Reglamento que establece que la sola instalación de estructuras no constituye operación, exigiendo acreditar abastecimiento, existencia o cosecha. Para centros con el grupo salmónidos y macroalgas incorporado bajo la Res. Ex. N° 1102/2026, las cosechas efectivas de Macrocystis pyrifera visadas mediante guías de despacho ante SERNAPESCA constituyen antecedentes documentales de actividad extractiva registrada. Estos antecedentes aportan evidencia de operación continua durante las ventanas de descanso o pausas de siembra de salmón, cuya contribución definitiva al cálculo del NMO quedará sujeta al criterio de ponderación sectorial de la autoridad.

3. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)

Responsable de administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y resolver las Consultas de Pertinencia de Ingreso.

- Criterio de Pertinencia ("Gate 0"): Basado en la jurisprudencia administrativa de proyectos reales aprobados (ej. Cermaq Chile S.A. en los CES Seno Gemmel, Caleta Soledad y Quemada), el SEA ha ratificado que la instalación de long-lines perimetrales de macroalgas dentro del polígono autorizado no constituye una modificación sustancial de proyecto que requiera ingresar obligatoriamente al SEIA mediante una Declaración (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

4. Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)

Entidad fiscalizadora de los instrumentos de gestión ambiental (Resoluciones de Calificación Ambiental - RCA).

- Fiscalización Satelital y Posicionamiento: Monitorea en tiempo real la ubicación de balsas-jaula y fondeos mediante tecnología SAR/Sentinel.
- Seguimiento de la Condición Bentónica (Art. 20 del RAMA): Fiscaliza la entrega de los Informes Ambientales (INFA). El servicio MAI suministra al titular el Dossier de Cumplimiento Ambiental como un expediente auditable de trazabilidad técnica para responder preventivamente a los requerimientos de información de la SMA, respaldando la atenuación de la carga orgánica antes de que el lecho marino alcance la condición anaeróbica.

Tabla 6.1: Síntesis de Interacción Normativa para la Gestión de Inactividad

Instrumento Legal / Normativo	Entidad Reguladora	Mecanismo de Control sobre la Concesión	Rol del Modelo MAI (ERaaS)
Art. 69 bis LGPA	SERNAPESCA	Considera como "tiempo operado" los descansos de 90 días por resolución.	Opera el cultivo de macroalgas durante el descanso sanitario para capturar nutrientes en columna.
Art. 142 letra e, LGPA	SUBPESCA	Fija caducidad tras 24 meses continuos de paralización sin siembra o cosecha	Genera guías de despacho de cosecha de macroalgas como antecedentes oficiales de actividad.
D.S. N° 383/2007 (NMO)	SERNAPESCA	Exige nivel mínimo de operación (5% de producción declarada) para mantener la concesión	Aporta registros de cosechas de Macrocystis para su evaluación como cumplimiento de NMO.
Prórrogas SUBPESCA	SUBPESCA	Concede de 12 a 24 meses extra de paralización (total 36-48 meses) por lenta recuperación.	Actúa de forma preventiva para evitar que el sitio colapse y requiera prórrogas de inactividad.
Res. Ex. N° 1102/2026	SUBPESCA	Habilita el cultivo de macroalgas en concesiones de salmón mediante trámite simplificado.	Sustenta la arquitectura de permisos ("Gate 0") para la operación legal del módulo perimetral.

Fuente: Elaboración propia

6.3 La Nueva Frontera Fiscalizadora de la SMA

Con el control tecnológico consolidado sobre el posicionamiento de estructuras (monitoreo SAR/Sentinel) y el volumen de cosecha (integración SIFA-SERNAPESCA), la frontera de fiscalización estatal se desplaza hacia la gestión de pasivos ambientales en la columna de agua y el sedimento bentónico.

En su "Estrategia de Cumplimiento Ambiental para Centros de Engorda de Salmones (CES)", la SMA definió como prioridad institucional el seguimiento del enriquecimiento de nutrientes (eutrofización), la acumulación de materia orgánica y la pérdida de oxigenación que gatilla la condición de INFA anaeróbica bajo el Art. 20 del RAMA. En este escenario, la entrega del Dossier de Cumplimiento Ambiental por parte de la plataforma MAI suministra al cliente un expediente auditable de trazabilidad técnica para responder preventivamente a los requerimientos de información del organismo fiscalizado.

6.4 Matriz de Diferenciación y Grado de Innovación del Modelo MAI

La innovación de la propuesta reside orquestación del modelo de negocio administrado (As-a-Service) que elimina las fricciones operativas, financieras y regulatorias para la empresa salmonera

Tabla 6.2 Matriz de Diferenciación y Grado de Innovación del Modelo MAI

Capa de Innovación	Solución Tradicional / Competencia	Propuesta Integrada Modelo MAI (ERaaS)	Ventaja Competitiva
Modelo Comercial y Estructura Financiera	Venta de equipos o consultoría puntual. Exige alto CAPEX inicial a la salmonera	Servicio piloto cofinanciado 50/50. La salmonera aporta infraestructura existente (In-kind) y la operadora vende la biomasa para reducir la tarifa B2B al 50% (USD 17.500/año)	Inversión asumida por la operadora; barrera de entrada financiera neutralizada para el cliente
Capacidad de Biofiltración Nutricional	Inyección de oxígeno (O_2) que atenúa el síntoma pero no remueve nutrientes disueltos.	Remoción activa de Nitrógeno e Inorgánicos y Fósforo disueltos en la columna de agua (≥150 kg N/ha/ciclo).	Mitigación biológica preventiva de la causa raíz de la eutrofización.
Orquestación Logística Austral	Transporte de alga fresca con ~90% de agua. Flete marítimo destruye el margen	**Prensado mecánico in-situ (Screw Press)** a bordo del pontón. Reducción de humedad al 65%.	Control estricto del OPEX logístico y viabilidad comercial del transporte en fiordos
Arquitectura de Cumplimiento (Compliance)	Desarrollo in-house expuesto a demoras burocráticas y gestión de venta de biomasa	Gestión centralizada "Gate 0" (Res. 1102/2026 SUBPESCA / SEA) + Contrato *Off-take* garantizado.	Exclusión total de la salmonera de la gestión de permisos y del riesgo comercial de commodities marinos

Fuente: Elaboración propia

7 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

7.1 Descripción Concreta del Servicio Plataforma ERaaS

El Modelo de Acompañamiento Integral (MAI) se constituye como una plataforma B2B administrada de *Environmental Risk-as-a-Service* (ERaaS) especializada en la gestión preventiva del riesgo ambiental para la salmonicultura en la macrozona sur-austral. La propuesta despliega módulos estandarizados de 2 hectáreas para el cultivo complementario de *Macrocystis pyrifera* (huiro flotador) dispuestos perimetralmente dentro del polígono autorizado de la concesión, integrando cuatro componentes tecnológicos y operacionales:

1. Ingeniería Naval e Hidrodinámica Adaptativa (Fondeos Perimetrales)

- **Disposición Espacial:** Diseño e instalación de líneas suspendidas (*long-lines*) y fondeos independientes adaptados a la batimetría y dinámica hídrica del sitio.
- **Compatibilidad Logística:** El trazado perimetral respeta estrictamente las zonas de maniobra del centro, manteniendo distancias de seguridad evaluadas mediante el indicador TIL = 0%.

2. Arquitectura Permisológica Centralizada ("Gate 0")

- **Tramitación Unificada:** La firma operadora MAI asume la representación y gestión burocrática integral del módulo.
- **Vía Normativa Simplificada:** Se tramita la inclusión del cultivo como actividad complementaria (conjunta o alternada) bajo el procedimiento simplificado de la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 y la presentación de Consultas de Pertinencia ante el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Asimismo, se gestionan las autorizaciones náuticas ante DIRECTEMAR y la emisión de guías de despacho de cosecha ante SERNAPESCA.

3. Sistema Modular de Deshidratación Mecánica In-Situ (Screw Press)

- **Tecnología de Prensado en Frío**: Instalación sobre plataformas flotantes de apoyo (pontones) de Prensas Mecánicas de Tornillo Helicoidal (Screw Press) conectadas a la matriz energética del centro de cultivo.
- **Eficiencia del Balance de Masa:** La biomasa fresca cosecha contiene aproximadamente un 90% de agua. La prensa remueve mecánicamente el agua libre sin requerir secado térmico (evitando consumo de diésel), reduciendo la humedad inicial al 65%. Esta deshidratación primaria reduce la masa transportable por ciclo de 250 toneladas frescas a

aproximadamente 71 toneladas de producto prensado concentrado (equivalente a 25 toneladas de materia seca final aproximadamente). Esta contracción volumétrica resulta indispensable para asegurar la viabilidad económica del flete naviero austral

4. Monetización Secundaria y Absorción del Riesgo Comercial (Off-take)

- **Desacople Comercial del Cliente:** La firma operadora absorbe íntegramente la volatilidad de precios de los commodities agrícolas.
- **Contratos a Largo Plazo:** MAI suscribe acuerdos de compraventa anticipada (Take-or-Pay) a 3-5 años con precio piso garantizado (Floor Price de USD 700/t seca) con empresas terrestres procesadoras de bioestimulantes e hidrocoloides, asegurando la colocación del subproducto y estabilizando los flujos de la operadora

7.2 Justificación Estratégica del Abordaje Operacional

El diseño del modelo MAI responde a las limitantes que observamos habitualmente en terreno. La idea central es tomar un dolor puramente regulatorio y externalizarlo a través de un servicio que no entorpezca las rutinas diarias del centro de cultivo.

1. Modelo de Implementación Piloto mediante Infraestructura Compartida (In-kind)

El modelo resuelve el freno de inversión y desconfianza técnica mediante un esquema colaborativo para el piloto demostrativo. La salmonera no requiere adquirir activos biológicos, sino que pone a disposición la infraestructura y personal que ya posee como costo hundido (embarcaciones de apoyo, horas de buceo por contrato marco y matriz energética del pontón). Por su parte, la operadora MAI asume el equipamiento extra especializado (líneas de cultivo, semillas, sondas oceanográficas y la unidad de deshidratación mecánica Screw Press). Esta sinergia reduce drásticamente el costo operativo puro y viabiliza la prueba in-situ.

2. Cumplimiento Legal Cofinanciado

A diferencia de desarrollos in-house, el piloto no es un gasto a fondo perdido. El valor total del acompañamiento preventivo se divide estructuradamente: un 50% es absorbido por la captura de valor de la propia alga (venta de biomasa) y solo el 50% restante representa el costo real en flujo de caja para la salmonera.

3. Desvinculación de la Operación Biológica y el Mercado Agrícola

La aversión técnica de la industria queda reflejada en los testimonios de campo recabados: *«No nos interesa convertirnos en cultivadores de algas ni lidiar con fletes de agua;*

nuestro negocio son los peces» (Gerente de Operaciones, entrevista N° 4). Atendiendo esta realidad, el Modelo MAI no exige capacidad instalada al cliente, entregando un servicio administrado que suministra antecedentes de operación y el Dossier de Cumplimiento. MAI asume la siembra, mantención, cosecha, prensado y venta del subproducto en la bioeconomía terrestre, cerrando el ciclo de valor sin alterar la rutina del centro.

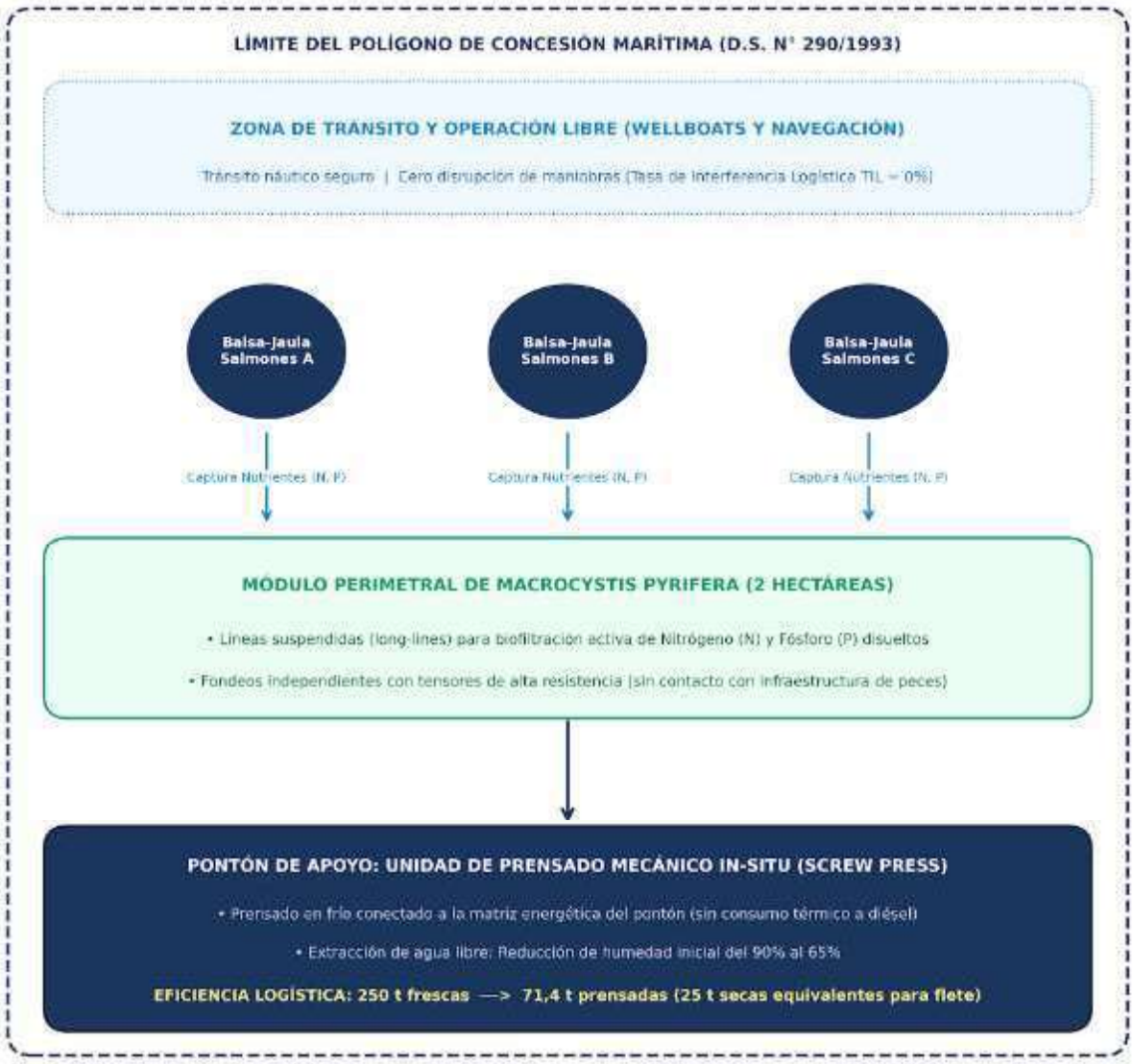


Figura 7.1: Esquema operacional del módulo perimetral de biofiltración y sistema de deshidratación mecánica in-situ (Screw Press) dentro de la poligonal de la concesión.

Fuente: Elaboración propia



Figura 7.2: Esquema de balance de masa e ingeniería de deshidratación mecánica in-situ.

Fuente: Elaboración propia

8 PROPUESTA DE VALOR Y GRADO DE INNOVACIÓN

8.1 Propuesta de Valor y el Dossier de Cumplimiento Ambiental

La propuesta de valor del Modelo de Acompañamiento Integral (MAI) se estructura articulando las necesidades operacionales y de cumplimiento de las empresas salmoneras con los componentes de la plataforma B2B de Environmental Risk-as-a-Service (ERaaS)

Alineación del Perfil del Cliente con el Mapa de Valor (Value Proposition Canvas)

Trabajos del Cliente (Customer Jobs):

- Trabajo Funcional: Mantener la disponibilidad operacional de los Centros de Engorda de Salmones (CES) dentro de las restricciones de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA, D.S. N° 320/2001).
- Trabajo Regulatorio/Compliance: Evitar la acumulación de pasivos ambientales en el sedimento bentónico que gatillen la prohibición de siembras del Artículo 20 del RAMA, y cumplir con la obligación de gestión de residuos orgánicos exigida por la Ley N° 21.410.
- Trabajo Estratégico/ESG: Generar información técnica auditable para memorias de sostenibilidad corporativa y cumplimiento de indicadores ante instituciones financieras.

Aliviadores de Frustraciones (Pain Relievers):

- Infraestructura Compartida (In-kind): Se eliminan las barreras de inversión aprovechando los recursos operativos de la salmonera (embarcaciones, buceo comercial) e invirtiendo únicamente en el equipamiento técnico especializado.
- Centralización Permisológica ("Gate 0"): Absorción completa de la burocracia ambiental mediante la tramitación simplificada de la Res. Ex. N° 1102/2026 de SUBPESCA y Consultas de Pertinencia ante el SEA.
- Garantía de Operación Náutica: Diseño perimetral de fondeos modelado hidrodinámicamente para asegurar cero disrupción de maniobras con wellboats y pontones (TIL = 0).
- **Creadores de Ganancias (Gain Creators):**
- Gestión Preventiva de Disponibilidad: Captura continua de nutrientes disueltos en la columna de agua para atenuar la tasa de degradación orgánica del sedimento.

- Desvinculación Comercial: Absorción total del riesgo de comercialización de la biomasa procesada mediante acuerdos Off-take en mercados secundarios.

- **Alineación Legal y Ventaja Comparativa de Costos (Ley N° 21.410)**

- La principal tracción comercial B2B de esta propuesta de valor radica en la obligación ineludible impuesta por la Ley N° 21.410 (Art. 74 ter). Esta normativa exige a la salmonera la implementación de un 'Plan de Investigación y Recuperación' para mitigar la caída de materia orgánica. La infracción de esta norma detona la suspensión inmediata de operaciones por 2 años (Art. 118 ter) y riesgo de caducidad.

- Al evaluar el mercado, las soluciones alternativas actuales (como la inyección de microburbujas o el dragado robótico de fondos) son mecanismos físicos o químicos de altísimo costo operativo. Al no generar ningún subproducto comercializable, la salmonera debe absorber el 100% de ese costo como un gasto hundido.

- En contraste, el Modelo MAI es el único "mecanismo biológico" (categoría expresamente validada por la ley) que genera un subproducto comercial: la biomasa agrícola. Esto permite que el 50% del costo del cumplimiento ambiental se pague automáticamente con la venta del alga, reduciendo la carga financiera de la salmonera a la mitad (USD 17.500 anuales).

- El sustento biológico se apoya en evidencias que muestran que la atenuación de la carga orgánica en la columna de agua (Cadena 2) promueve la recuperación de parámetros bentónicos clave (potencial redox y demanda de oxígeno) en ventanas de 47 a 70 días (Gutiérrez, 2024). Si bien esta dinámica favorece el equilibrio ecosistémico, se precisa cautelarmente que no constituye una garantía automática de reversión de INFAs anaeróbicas ni un eximente del Art. 20 del RAMA.

8.2 Fiscalización de la SMA

El entregable medular de la plataforma ERaaS es el **Dossier de Cumplimiento Ambiental**, un expediente de información técnica y trazabilidad de periodicidad trimestral. Basado en el modelo de regulación responsiva de Sparrow, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) aplica mecanismos de intervención escalonados:

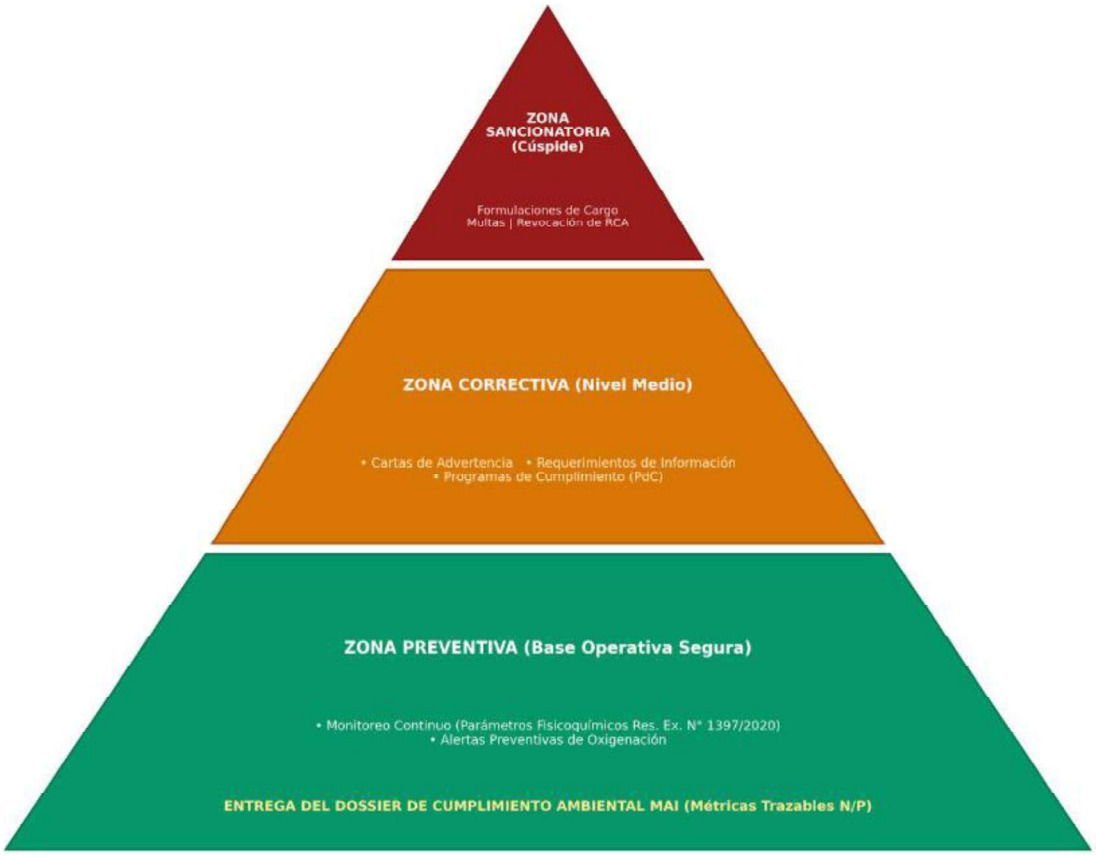


Figura 8.1: Rol del Dossier de Cumplimiento Ambiental dentro del modelo de pirámide de respuesta fiscalizadora responsiva de la SMA.

Fuente: Elaboración propia

El Dossier actúa como una herramienta de evidencia ambiental y trazabilidad para la gestión interna, fiscalización y reportabilidad ESG. Mantiene al cliente en la zona preventiva de la pirámide mediante el suministro de datos cuantitativos sobre remoción de nitrógeno y fósforo disueltos.

- Aclaración de alcance regulatorio: El Dossier constituye un soporte de información técnica privada que organiza evidencias para eventuales auditorías; su uso frente a autoridades fiscalizadoras (SMA/SERNAPESCA) o instituciones financieras dependerá estrictamente de la normativa aplicable, los instrumentos ambientales vigentes y los criterios contractuales definidos por cada entidad.

8.3 Grado de Innovación y Cuadro Comparativo

El grado de novedad del Modelo MAI no radica en la biología del cultivo de Macrocystis pyrifera tecnología ampliamente documentada en la literatura de IMTA, sino en la innovación del modelo de negocio e integración de capacidades (As-a-Service).

El modelo innova al empaquetar una tecnología biológica de biofiltración dentro de una estructura contractual B2B que resuelve simultáneamente la barrera de inversión (CAPEX 0), la burocracia permisológica, la deshidratación in-situ para controlar el flete austral y la colocación comercial de la biomasa.

Tabla 8.1 Cuadro Comparativo de Innovación y Diferenciación Competitiva:

Dimensión de Análisis	Propuesta Integrada Modelo MAI (ERaaS)	Remediación Mecánica / Física (OXZO, Mares Limpios)	Desarrollo IMTA Tradicional / Académico
Modelo Comercial y Estructura Financiera	Servicio administrado por suscripción B2B. Cofinanciamiento 50/50 e infraestructura compartida (In-kind)	Arriendo de equipos de ingeniería submarina. Represnta OPEX hundido alto	Desarrollo *in-house* que exige alto CAPEX directo y recursos de la salmonera.
Capacidad de Mitigación Ambiental	Biofiltración activa de Nitrógeno y Fósforo disueltos en la columna de agua.	Inyección puntual de O_2. Mitiga la anoxia momentánea pero no remueve nutrientes disueltos.	Remoción biológica activa, pero limitada a proyectos piloto sin escala comercial.
Orquestación Logística y Valorización	**Prensado mecánico in-situ (Screw Press).** Reducción de humedad al 65% + Off-take garantizado.	No genera biomasa ni subproductos valorizables.	Flete marítimo prohibitivo por transporte de alga fresca con ~90% de agua.
Sustento de Compliance y Resguardo	Tramitación centralizada "Gate 0" (Res. 1102/2026 SUBPESCA) + Dossier de trazabilidad.	Atiende la urgencia física pero no constituye antecedente de actividad extractiva.	Enfoque científico sin arquitectura de permisos ni resguardo de la concesión

Fuente: Elaboración propia

8.4 Principales Resultados o Beneficios Esperados en el Mercado Objetivo

Para garantizar el rigor analítico exigido en una evaluación de prefactibilidad, los beneficios esperados del servicio se clasifican categóricamente según su nivel de validación empírica y regulatoria:

Alineación de Objetivos Específicos, Resultados e Indicadores

1. **Desde la Operación (OE1):**

- **Resultado Esperado 1.1:** Operación perimetral fluida del módulo, diseñado bajo la meta de TIL = 0% cero impacto o retraso en las faenas navieras del centro (wellboats, pontones y robótica)

  - **Indicador de Medición 1.1** (Tasa de Interferencia Logística - TIL):

$$TIL = \frac{\text{N° de eventos de retraso reportados en faenas navieras}}{\text{N° total de maniobras logísticas ejecutadas en el ciclo}} \times 100$$

  - **Meta:** TIL = 0% (Cero interferencia náutica u operacional).

2. **Desde lo Legal y Regulatorio (OE2):**

- **Resultado Esperado 2.1:.** Obtención sistemática de autorizaciones sectoriales (Res. Ex. N° 1102/2026 de SUBPESCA y Consultas de Pertinencia SEA) y emisión del Dossier de Cumplimiento Ambiental.

  - **Indicador de Medición 2.1 (Cobertura Permisológica y Compliance - CPC):**

$$CPC = \frac{\text{N° de centros con Pertinencia SEA aprobada y Dossier emitido}}{\text{N° total de centros bajo contrato ERaaS}} \times 100$$

  - **Meta: CPC =** 100% de los centros atendidos previo al inicio de las siembras.

3. **Desde lo Comercial (OE3):**

- **Resultado Esperado 3.1**: Neutralización del riesgo comercial mediante la colocación anticipada de la biomasa pre-procesada en industrias terrestres.

- **Indicador de Medición 3.1 (Porcentaje de Biomasa Comprometida - PBO)**

$$PBO = \frac{\text{Toneladas de biomasa seca comprometidas bajo contratos Take-or-Pay}}{\text{Toneladas totales de biomasa seca proyectadas cosechar}} \times 100$$

- **Meta:** PBO ≥80 % de la producción proyectada colocada bajo contrato de precio piso

4. Desde lo Económico (OE4):

- **Resultado Esperado 4.1:** Generación de retornos financieros privados competitivos para la firma operadora en un escenario base 100% privado (0% subsidio)

- **Indicador de Medición 4.1:.** Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN) del flujo de caja del módulo piloto

- **Meta:** TIR = 20,44% y VAN USD 11.778,31 (con WACC = 10,0%)

8.5 Beneficios en Impactos Sociales y Medioambientales

El proyecto genera externalidades positivas que van más allá del retorno financiero directo, impactando favorablemente el ecosistema marino y el entorno socioeconómico de la macrozona sur-austral entre la regiones de Los lagos y Magallanes.

Impactos Medioambientales

- **Biorremediación Activa de Nutrientes disueltos:** Cada módulo de 2 hectáreas actúa como un biofiltro continuo que remueve nitrógeno y fósforo amoniacal disueltos en la columna de agua ≥150 kg N/ha/ciclo, atacando directamente la causa raíz de la eutrofización y disminuyendo la disponibilidad trófica que potencia Floraciones Algales Nocivas.

- **Cuantificación de Carbono Azul (Blue Carbon):** La fijación de dióxido de carbono (CO_2) disuelto en el tejido vegetal de *Macrocystis pyrifera* se cuantifica e incorpora en el Dossier de Cumplimiento como un KPI ambiental auditable no monetizado, robusteciendo la reportabilidad ESG del cliente sin introducir especulación por créditos de carbon.

Impactos Sociales

- **Integración de la Pesca Artesanal:** El modelo operativo subcontrata y capacita a sindicatos de pesca artesanal y recolectores de orilla locales para las faenas de siembra, mantención de líneas de fondeo, buceo comercial y cosecha de biomas

- **Reconversión Laboral y Licencia Social:** Esta articulación genera empleos verdes estables en zonas aisladas de la Patagonia, transformando históricas fricciones por el uso del borde costero en alianzas de desarrollo económico local y fortaleciendo la licencia social para operar de la industria salmonera

9 PRINCIPALES DESAFÍOS O BARRERAS

9.1 Matriz Jerarquizada de Riesgos del Proyecto

El despliegue comercial del Modelo de Acompañamiento Integral (MAI) enfrenta desafíos multifactoriales en los ámbitos regulatorio, técnico, operacional y de mercado. Para resguardar la viabilidad del negocio y proporcionar una evaluación de prefactibilidad transparente, la matriz de gestión de riesgos jerarquiza las amenazas según su impacto potencial en la continuidad operativa y la sostenibilidad financiera del modelo:

Tabla 9.1: Matriz de evaluación de riesgos y plan de mitigación operacional del proyecto.

Categoría de Riesgo	Identificación del Riesgo Estratégico	Nivel de Riesgo	Impacto Potencial en el Negocio	Estrategia de Mitigación y Salvaguarda
Regulatorio	Imposibilidad de instalación *ex-post* en sitios con INFA anaeróbica	ALTO	Paralización del servicio por veto del Art. 20 del RAMA.	Reposicionamiento del servicio a modelo 100% **preventivo** previo al colapso
Técnico-Ambiental	Captura ambiental insuficiente frente a la carga total del CES.	ALTO	Incumplimiento de las expectativas de mitigación del cliente	Ajuste dimensional mediante modelación hidrodinámica del sitio.
Operacional	Costo de oportunidad espacial dentro de la concesión.	ALTO	Fricción con la salmonera por uso de	Trazado en zonas perimetrales no aptas para

			superficie autorizada	balsas-jaula (TIL = 0%)
Sectorial	Rechazo de SERNAPESCA a la acreditación de NMO	ALTO	Pérdida de valor percibido frente al Art. 142 de la LGPA	Formalización previa de carpetas de cosecha y consulta técnica (Gate A)
Comercial	Volatilidad o ausencia de contrato *Off-take* de biomasa	ALTO	Reducción del margen operativo de la firma operadora.	Acuerdos *Take-or-Pay* a largo plazo con precio piso (USD 700/t)
Ingeniería/Logística	Fallas en la unidad de prensado mecánico in-situ (Screw Press).	ALTO	Incremento crítico del costo de flete por transporte de alga fresca	Redundancia modular, programa preventivo y respaldo energético.
Mercado B2B	Resistencia al cofinanciamiento de la tarifa del piloto (USD 17.500)	MEDIO	Alargamiento del ciclo de ventas corporativo.	Modelo de ROI basado en reducción de pérdida esperada (ΔPanoxia)

Fuente: Elaboración propia basada en la matriz de mitigación de riesgos operacionales, regulatorios y comerciales del proyecto

9.2 Análisis Profundo de Riesgos Críticos

1. Imposibilidad Jurídica de Instalación Post-INFA Anaeróbica

- **Descripción del Desafío:** Si un Centro de Engorda de Salmones (CES) cae en condición anaeróbica, el Artículo 20 del RAMA prohíbe de forma taxativa el ingreso de "nuevos ejemplares". Asumir que la autoridad permitirá instalar un cultivo de *Macrocystis pyrifera* con posterioridad al colapso representa una vulnerabilidad jurídica no respaldada en la norma.
- **Mecanismo de Control:** El modelo descarta categóricamente el posicionamiento como "servicio de recuperación ex-post". El contrato exige instalar e intervenir el sitio durante el ciclo activo o descansos sanitarios programados antes de que se configure la anaerobiosis en el sedimento.

2. Discrepancia de Escala entre el Módulo y la Carga Orgánica del CES

- **Descripción del Desafío:** Un centro salmonero de escala industrial genera miles de toneladas de biomasa de peces. Existe el riesgo de que un módulo de 2 hectáreas de macroalgas presente una tasa de absorción de nutrientes cuantitativamente marginal respecto a la carga bentónica total, diluyendo el beneficio percibido por el cliente.
- **Mecanismo de Control:** La solución se dimensiona para la captura de la pluma de nutrientes **inorgánicos disueltos** en la columna de agua (nitrógeno y fósforo amoniacal), donde las algas presentan una alta tasa de biofiltración. La efectividad se evalúa mediante balances de masa específicos por sitio respaldados por modelación hidrodinámica.

3. Costo de Oportunidad Espacial dentro de la Concesión

- **Descripción del Desafío:** La Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 prohíbe expandir la superficie concesionada. Ocupar 2 hectáreas con long-lines de macroalgas genera un costo de oportunidad espacial si interfiere con las áreas de fondeo o maniobra de la salmonera.
- **Mecanismo de Control:** Los módulos se instalarán en franjas perimetrales del polígono mediante tensores independientes, previa coordinación con la autoridad marítima. La disposición espacial buscará garantizar la no interferencia con las maniobras del centro (meta operacional TIL = 0%).

4. Incertidumbre en la Acreditación del Nivel Mínimo de Operación (NMO)

- **Descripción del Desafío:** La pretensión de que la cosecha de macroalgas mantenga activa la concesión para evitar la caducidad del Artículo 142 de la LGPA depende de

la interpretación y aplicación que realice la autoridad sectorial competente conforme al marco normativo vigente.Bajo el D.S. N° 383/2007.

- **Mecanismo de Control:** El beneficio no se vende como una garantía automática, sino como la entrega de expedientes técnicos y guías de despacho auditables. Se establece como prerrequisito de escalamiento la obtención de un pronunciamiento formal (Gate A) ante las autoridades sectoriales.

5. Colocación Comercial de la Biomasa Secundaría (Off-take)

- **Descripción del Desafío:** La viabilidad financiera del módulo piloto depende en un 50% de la comercialización de la biomasa procesada (USD 17.500/año por ciclo). La falta de poder de compra en el mercado terrestre o rechazos por especificaciones técnicas comprometerían el cofinanciamiento del servicio.
- **Mecanismo de Control:** Firma previa de Cartas de Intención (LOI) y contratos de compraventa a largo plazo con procesadores de bioestimulantes agrícolas que fijen especificaciones técnicas de humedad (65%) y un precio piso garantizado (Floor Price)
- **El contrato Take-or-Pay** con el procesador terrestre se acuerda en base a un volumen total anualizado (25 t secas/ciclo), permitiendo compensar la menor productividad biológica de invierno con los picos de cosecha de primavera-verano sin alterar la caja.

6. Vulnerabilidad Energética y Mecánica del Prensado In-situ (Screw Press)

- **Descripción del Desafío:** El flete marítimo austral es económicamente inviable si se transporta alga fresca con un 90% de agua. Una falla mecánica prolongada en la prensa de tornillo o la interrupción del suministro eléctrico desde el pontón obligaría a transportar biomasa no procesada, destruyendo el margen logístico.
- **Mecanismo de Control:** Se incorporan unidades de prensado modulares con respaldo hidráulico directo y se estipula contractualización del uso del generador del pontón dentro del fee del servicio, sumado a un stock de repuestos de alta rotación en las bases de apoyo de Puerto Montt y Castro.

9.3 Plan de Contingencia y Puertas de Decisión (Gates de Control)

Para mitigar los riesgos de ejecución y evitar desembolsos de capital sin validación previa, la empresa operadora implementa un protocolo de avance por etapas (Stage-Gate System):



Figura 9.1: Sistema de puertas de decisión (*Stage-Gate System*) para la gestión de riesgos y avance por etapas del Modelo MAI.

Fuente: Elaboración propia basada en la matriz de mitigación de riesgos operacionales, regulatorios y comerciales del proyecto

10 ESTRATEGIA DE NEGOCIO Y MODELO OPERATIVO

10.1 Estrategia de Comercialización B2B y Funnel de Ventas Corporativo

La estrategia de comercialización (*Go-to-Market*) del servicio administrado ERaaS se adapta al ciclo de decisión de la salmonicultura chilena. La transferencia de riesgo operativo y la gestión ambiental preventiva no se comercializan como un producto transaccional, sino como un proceso de consultoría estratégica y de acompañamiento técnico en sitio

1. Mapa de Actores y Unidades de Decisión Corporativa (DMU)

La venta del servicio B2B involucra a tres estamentos directivos clave dentro de la estructura de las salmoneras:

- **Gerencia de Operaciones y Producción (Sponsor Primario):** Su objetivo es resguardar la disponibilidad del Centro de Engorda de Salmones (CES) y prevenir la caída en condición anaeróbica bajo el Art. 20 del RAMA. Busca evitar el desplazamiento del sitio desde el Descanso Sanitario Ordinario (Nivel 1: 90 días) hacia inactividades prolongadas (Nivel 2: 24 meses; Nivel 3: 36 a 48 meses por prórrogas extraordinarias).
- **Gerencia de Medio Ambiente y Compliance (Evaluador Técnico):** Evalúa la factibilidad de la tramitación "Gate 0" (Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026 y Pertinencia SEA), verificando que la instalación perimetral no altere la RCA matriz del centro ni exponga a la compañía a procesos sancionatorios ante la SMA.
- **Gerencia de Finanzas (CFO / Decisor de Presupuesto):** Valida la tarifa de cofinanciamiento del piloto (USD 17.500/año) y exige la demostración del ROI del cliente basado en la atenuación del riesgo de lucro cesante por parálisis del activo

2. Etapas del Funnel Comercial B2B

El proceso de conversión corporativa se estructura en cinco etapas secuenciales (reflejadas en la Figura 10.1)



Figura 10.1: Funnel de ventas B2B y conversión corporativa para la comercialización del servicio ERaaS

Fuente: Elaboración propia

- **Etapa 1 (Prospección Técnica y Elegibilidad):** Selección de centros candidatos según historial de INFA, dinámica hidrodinámica y vulnerabilidad ambiental dentro de su Agrupación de Concesiones (ACS).
- **Etapa 2 (Presentación de Propuesta y Evaluación ROI):** Presentación del modelo de valor ante Operaciones y CFO, cuantificando la reducción de la pérdida esperada (ΔPanoxia) frente al costo fijo del servicio.

- **Etapa 3 (Verificación Regulatoria "Gate 0"):** Auditoría de la concesión, declaración bajo la Res. Ex. N° 1102/2026 e ingreso de Consulta de Pertinencia ante el SEA.
- **Etapa 4 (Acuerdo Piloto Demostrativo / LOI):** Firma de Carta de Intención (LOI) o contrato de piloto en sitio con diseño experimental BACI para validación de causalidad.
- **Etapa 5 (Conversión a Contrato ERaaS de Largo Plazo):** Cierre de acuerdo de pilotaje B2B cofinanciado por USD 17.500/año por módulo de 2 ha bajo el esquema de infraestructura compartida (In-kind).

10.2 Estructura del Modelo de Ingresos y Flujo Financiero Dual

La arquitectura de ingresos desacopla las dos corrientes financieras de la firma operadora MAI, aislando al cliente salmonero del riesgo comercial de commodities marinos

- **Flujo Primario: Suscripción B2B Piloto (Servicio ERaaS / Ley N° 21.410)**

a. **Tarifa de Suscripción Cofinanciada:** Tarifa fija de USD 17.500 anuales por módulo de 2 hectáreas (equivalente al 50% del valor total del servicio).

b. **Naturaleza Contable:** OPEX directo para la salmonera respaldado por el aporte de infraestructura y personal propio en sitio (In-kind)

- **Flujo Secundario:** ***Comercialización de Biomasa Terrestre (Off-take)***

a. **Rendimiento por Módulo:** 25 toneladas secas por ciclo × USD 700 / t seca = USD 17.500 / año. Esta corriente secundaria de ingresos subsidia exactamente el otro 50% del costo del servicio preventivo, consolidando una facturación bruta total de USD 35.000/año por módulo piloto (USD 17.500 tarifa salmonera + USD 17.500 venta biomasa).

10.3 Arquitectura Contractual, Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) y Deslinde de Responsabilidades

La arquitectura contractual se define como una prestación de medios altamente calificados, deslindando expresamente la responsabilidad por resoluciones administrativas exógenas o imponderables biológicos del sitio.

Tabla 10.1 Arquitectura Contractual, Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA)

Cláusula Contractual	Alcance Comprometido por la Firma Operadora MAI	Exclusión Explícita de Responsabilidad
Garantía Operacional y TIL	Mantiene fondeos perimetrales asegurando Tasa de Interferencia Logística TIL= 0% en las maniobras del CES.	Excluye retrasos causados por condiciones mareológicas extremas, marejadas o fuerza mayor.
Biofiltración Nutricional	Mantiene la biomasa de macroalgas para la captura de Nitrógeno y Fósforo disueltos en la columna de agua.	No garantiza la remoción directa de la materia orgánica depositada históricamente en el sedimento.
Soporte Permisológico	Elabora e ingresa la tramitación "Gate 0" (Res. 1102/2026 SUBPESCA y Pertinencia SEA).	Excluye responsabilidad por rechazos derivados de sanciones previas o sobreproducción del cliente
Estatus Sanitario y RAMA	Suministra el Dossier de Cumplimiento como evidencia técnica trazable	Excluye explícitamente garantías de reversión de INFAs anaeróbicas previas o suspensión de caducidad (Art. 142 LGPA).

Fuente: Elaboración propia basada estrategia de negocio y modelo operativo del proyecto

10.4 Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA - Service Level Agreement)

La tarifa B2B se condiciona al cumplimiento de tres indicadores de desempeño operativo:

1. SLA 1 (Mantenimiento de Cobertura Biológica): Preservación de la densidad proyectada de Macrocystis pyrifera en los long-lines. Penalización: Descuento proporcional mensual por mermas no justificadas superiores al 20%.
2. SLA 2 (Eficiencia del Prensado In-Situ): Asegurar la deshidratación primaria a bordo del pontón reduciendo la humedad al ≤ 65%. Penalización: La operadora asume el 100% del sobrecosto de flete si transporta biomasa no prensada por fallas en la prensa de tornillo (Screw Press).
3. SLA 3 (Oportunidad del Dossier Ambiental): Entrega del expediente de trazabilidad dentro de los 10 días hábiles posteriores al cierre de cada periodo de monitoreo trimestral

10.5 Modelo Operativo, Gobernanza y Red de Alianzas Clave

El despliegue territorial en las Regiones de Los Lagos y Aysén se apoya en una estructura de gobernanza descentralizada y alianzas locales:

- **Operación Logística sobre Infraestructura Compartida (In-kind):** Las faenas de siembra, inspección submarina, mantenimiento perimetral y cosecha se ejecutan coordinadamente utilizando las embarcaciones de apoyo y el equipo de buceo comercial ya contratado por la salmonera anfitriona. Esto elimina duplicidades operativas, reduce los costos directos de la firma operadora y garantiza el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad del centro de cultivo.
- **Bases Operativas Regionales:** Operación desde bases de apoyo en Puerto Montt y Castro para el mantenimiento preventivo de las prensas de tornillo, acopio temporal y logística de transporte terrestre hacia procesadores de bioestimulantes.
- **Monitoreo Experimental BACI (*Before-After / Control-Impact*):** Ejecución de protocolos de monitoreo rigurosos para pilotos industriales (1 CES Tratamiento con *Macrocystis* vs. 1 CES Control sin algas), permitiendo medir objetivamente la biofiltración en columna y aislar variables oceanográficas antes de confirmar el escalamiento

11 ESTIMACIÓN ECONÓMICA Y EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación económica se formula para responder a la ejecución de un Módulo Piloto Demostrativo (2 hectáreas) en un Centro de Engorda de Salmones (CES) anfitrión. El modelo financiero se fundamenta en un esquema de Infraestructura Compartida (In-kind) y Cofinanciamiento 50/50, donde la empresa salmonera aporta sus activos y logística existente (embarcaciones de apoyo, horas de buceo por contrato marco y energía del pontón) como costo hundido, mientras que la firma operadora MAI invierte exclusivamente en el equipamiento tecnológico especializado[3]

11.1 Estimación de Ingresos del Módulo Piloto

La arquitectura de ingresos se estructura bajo una regla de cofinanciamiento exacto (50/50), la cual permite reducir el costo del cumplimiento legal (Ley N° 21.410) para el cliente mediante la comercialización del subproducto agrícola:

- **Ingreso Primario B2B (Salmonera):** Tarifa plana de cofinanciamiento de **USD 17.500/año** por módulo piloto, justificada por el suministro del Dossier de Cumplimiento Ambiental para responder al Artículo 74 ter de la Ley N° 21.410 y prevenir el veto de siembras del Artículo 20 del RAMA.
- **Ingreso Secundario (Off-take Terrestre):** Venta de 25 toneladas de materia seca de *Macrocystis pyrifera* prensada in-situ (al 65% de humedad) a un precio de contrato garantizado (*Floor Price*) de USD 700/t seca, generando **USD 17.500/año**.

[3] *Nota: Metodológico sobre Moneda, IVA y Régimen Tributario: Todas las cifras presentadas en este capítulo corresponden a valores netos (expresados sin el 19% de IVA), en conformidad con los estándares internacionales de preparación y evaluación de proyectos. Al tratarse de un servicio B2B con facturación electrónica ordinaria, el IVA actúa como una cuenta de paso neutra (Débito vs. Crédito Fiscal) que no altera el Flujo de Caja Libre. Para el Caso Base se adopta conservadoramente la tasa impositiva del 27% correspondiente al Régimen General Semi-Integrado (Art. 14 A de la LIR), aplicando el principio de prudencia. No obstante, si la empresa se acoge al Régimen Pro Pyme General (Art. 14 D N° 3 LIR) aprovechando tasas reducidas (12,5%), el menor pago impositivo actuará como un upside financiero directo sobre la caja del proyecto*

Tabla 11.1: Estructura de Ingresos Anuales del Módulo Piloto Demostrativo (2 ha)

Corriente de Ingreso	Mecanismo de Cobro	Producción / Base	Tarifa / Precio Unitario	Ingreso Anual	Participación (%)
Suscripción B2B (Salmonera)	Fee de Cofinanciamiento	1 Módulo Piloto	USD 17.500 / año	USD 17.500	50,0%
Venta Biomasa (Off-take)	Contrato Take-or-Pay	25 t secas / ciclo	USD 700 / t seca	USD 17.500	50,0%
Facturación Bruta Total	Regla 50 / 50	1 Un. Operativa	USD 35.000 / año	USD 35.000	100,0%

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

11.2 Estimación de la Inversión Inicial (CAPEX e In-kind)

Bajo el esquema In-kind, la salmonera aporta los fondeos marinos primarios, líneas base y logística náutica. La inversión de capital (CAPEX) asumida por la firma operadora MAI se limita al equipamiento tecnológico especializado:

- **Unidad de Prensado Mecánico (Screw Press):** Adaptación e instalación de la prensa de tornillo helicoidal a bordo del pontón para deshidratación in-situ: **USD 25.000.**
- **Telemetría y Monitoreo Náutico:** Sondas oceanográficas multiparámetro (CTD), sensores fisicoquímicos y señalización autorizada por DIRECTEMAR: **USD 10.000.**
- **Capital de Trabajo Neto (NWC):** Fondo de maniobra operativo inicial: **USD 5.000.**

Tabla 11.2: Estructura de Inversión Inicial (CAPEX) para el Módulo Piloto (USD).

Componente del CAPEX	Descripción Técnica de la Inversión	Monto	Participación (%)
Unidad de Prensado In-Situ	Prensa helicoidal Screw Press adaptada al pontón	USD 25.000	62,50%
Monitoreo y Telemetría	Sondas CTD, telemetría y balizamiento DIRECTEMAR	USD 10.000	25,00%
Inversión Fija Bruta	Equipamiento Técnico Especializado MAI	USD 35.000	87,50%
Capital de Trabajo (NWC)	Fondo de maniobra operacional inicial	USD 5.000	12,50%
Inversión Inicial Total	Desembolso Neto Requerido (Año 0)	USD 40.000	100,00%

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

11.3 Estructura de Costos Operacionales Directos (OPEX Anual)

El uso de la infraestructura logística de la salmonera (barcos y buzos en contrato marco) reduce sustancialmente el OPEX directo de la firma operadora a USD 20.000 anuales.

Tabla 11.3: Estructura de Costos Operacionales Directos (OPEX) Anuales (USD).

Rubro de Costo Operativo	Detalle de Operación e Insumos	Costo Anual (USD)	Participación (%)
Logística y Flete Austral	Transporte marítimo y terrestre de 71,4 t de masa prensada (65% humedad)	9500	47.5%
Mantenimiento e Insumos	Repuestos mecánicos del Screw Press, insumos biológicos y seguros náuticos	6500	32.5%
Compliance y Dossier	Elaboración, procesamiento de datos y auditoría del Dossier Ambiental	4000	20.0%
OPEX Directo Total	Costo Operativo Anual MAI (In-kind)	20000	100.0%

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

11.4 Flujo de Caja Libre e Indicadores Financieros

El Flujo de Caja Libre (FCL) se proyecta a 5 años en un escenario base privado (0% subsidios), considerando la depreciación lineal de la inversión fija en 5 años (USD 7.000/año) y la tasa impositiva del 27% sobre la utilidad imponible:

Tabla 11.4: Flujo de Caja Libre proyectado a 5 años para el Módulo Piloto Demostrativo (USD)

Concepto Financiero	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos B2B Salmonera (50%)	0	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500
Ingresos Venta Biomasa (50%)	0	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500
Facturación Bruta Total	0	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
OPEX Directo Operacional	0	-20.000	-20.000	-20.000	-20.000	-20.000
EBITDA Piloto	0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Depreciación Activos (5 años)	0	-7.000	-7.000	-7.000	-7.000	-7.000
EBIT	0	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Impuesto Renta (27%)	0	-2.160	-2.160	-2.160	-2.160	-2.160
NOPAT	0	5.840	5.840	5.840	5.840	5.840
(+) Depreciación	0	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
(-) Inversión CAPEX Inicial	-35.000	0	0	0	0	0
(-) Capital de Trabajo (NWC)	-5.000	0	0	0	0	5.000
Flujo de Caja Libre (FCL)	**-40.000**	**12.840**	**12.840**	**12.840**	**12.840**	**17.840**

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

Tabla 11.5: Indicadores de rentabilidad económica del Módulo Piloto.

Indicador Financiero	Resultado Escenario Piloto	Criterio de Aceptación / Decisión
Valor Actual Neto (VAN con WACC = 10%)	**USD 11.778,31**	**VAN > 0** (Crea valor privado bajo cofinanciamiento 50/50).
Tasa Interna de Retorno (TIR)	**20,44%**	**TIR > WACC** (20,44% > 10,0%).
Período de Recuperación (Payback)		El período de recuperación estimado es de 3,12 años, por lo que la inversión se recupera durante el cuarto año de operación.
Relación Beneficio / Costo (B/C)	**1,32**	Genera USD 1,32 a valor presente por cada dólar invertido.

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

11.5 Análisis de Sensibilidad y ROI del Cliente Salmonero

- **Resiliencia Financiera B2B:** La simulación determinística muestra que la tarifa B2B mínima de equilibrio para mantener un VAN ≥ 0 desciende a **USD 14.150/año**, lo que otorga flexibilidad en la negociación con la salmonera.

- **Valor y Retorno para el Cliente Salmonero:** Desde la perspectiva del cliente, el cobro anual de USD 17.500 opera como una prima de cobertura frente al riesgo de parálisis de USD 5,0 millones. Asumiendo una atenuación conservadora del 5% en la probabilidad de anoxia (ΔPanoxia= 0,05), el valor monetizado de la protección alcanza USD 250.000/año. Descontando la tarifa del servicio, la salmonera obtiene un beneficio neto de USD 232.500/año (ROI teórico de 13,28 veces bajo el supuesto ilustrativo de una reducción de 5 % en la probabilidad de anoxia., Tabla 11.6)

Tabla 11.6: Modelo de Valor y Retorno de Inversión (ROI) para la Empresa Salmonera.

Variable de Evaluación	Valor Estimado	Fundamento / Fuente
Lucro Cesante Expuesto (L ciclo)	USD 5.000.000	Pérdida por ciclo paralizado (INFA anaeróbica / RAMA / Ley 21.410)
Atenuación Riesgo Anoxia (Δ Panoxia)	5,00%	Reducción de probabilidad por biofiltración preventiva
Ahorro Esperado para Salmonera	USD 250.000/año	Valor monetizado de la cobertura preventiva por año
Tarifa Cofinanciada B2B (Fee MAI)	USD 17.500/año	Costo del servicio para la salmonera Ingreso secundario por comercialización de biomasa
Beneficio Neto Anual Cliente	USD 232.500/año	Ahorro neto obtenido por la salmonera al contratar MAI
Retorno sobre Inversión Cliente (ROI)	13,28 veces	Veces de retorno en valor protegido por dólar pagado

Fuente: Elaboración propia basada en el modelo económico del proyecto

12 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

12.1 Contexto de Validación: El Escenario Regulatorio e Industrial

La validación del modelo de negocio se enmarca en la creciente rigidez fiscalizadora de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, Res. Ex. N° 1.017/2024) y en la entrada en vigencia de la Ley N° 21.410 (Art. 74 ter), la cual exige a las salmoneras implementar un 'Plan de Investigación y Recuperación' para mitigar la acumulación de desechos orgánicos en el fondo marino. Frente a la amenaza de suspensión de operaciones por 2 años (Art. 118 ter de la Ley N° 21.410) y el veto de siembras del Artículo 20 del RAMA, las empresas salmoneras demandan soluciones de Compliance de rápida implementación que no comprometan su flujo de caja. En este contexto, el Módulo Piloto Demostrativo (2 hectáreas) se estructura bajo un esquema de Infraestructura Compartida (In-kind) y Cofinanciamiento 50/50, donde el acompañamiento ambiental se valida como la alternativa legal y económica más eficiente de la industria

12.2 Triangulación Empírica y Sinceramiento Metodológico de la Muestra (N = 75)

La evaluación de la aceptación del servicio administrado ERaaS se estructuró mediante una investigación empírica de carácter mixto (cualitativa y cuantitativa), aplicada a una muestra no probabilística de 75 profesionales y ejecutivos de la industria salmonera chilena (Gerencias, subgerentes coordinadores y encargados de Operaciones, Medio Ambiente, Compliance y Finanzas).

Para garantizar el rigor metodológico exigido en una tesis de prefactibilidad MBA, se establece un sinceramiento analítico respecto a la interpretación de los datos primarios:

- **Interpretación del 93,3% de Aceptación:** Aunque el 93,3% de los encuestados declaró una disposición favorable hacia la acuicultura circular con macroalgas, las entrevistas semiestructuradas revelaron que la industria desconfía de los costos ocultos de flete y de la interferencia logística con los *wellboats*. Por ello, este 93,3% no constituye una disposición de pago (*Willingness-to-Pay*) contractual inmediata, sino una apertura genuina a participar en programas piloto demostrativos en sitio.
- **Perfil de la Muestra Evaluada:** Al reestructurar la propuesta hacia un piloto cofinanciado al 50% (USD 17.500/año) y basado en infraestructura existente (In-kind), se neutraliza la aversión al CAPEX y se supera la barrera permisológica. Este interés exploratorio justifica avanzar decididamente hacia la validación comercial en terreno.

- **Evidencia de Mercado de la Categoría** (Caso Cermaq Chile S.A.): La Consulta de Pertinencia ingresada en 2026 ante el SEA por Cermaq para el CES Seno Gemmel (inversión declarada de USD 50.000 en 1,62 hectáreas de macroalgas). Constituye un antecedente de mercado que evidencia el interés de al menos un actor relevante de la industria en evaluar soluciones asociadas al cultivo complementario de macroalgas.

12.3 Matriz de Validación Multidimensional del Modelo MAI

El estado de avance del proyecto se clasifica en cinco dimensiones estratégicas, estableciendo los hitos alcanzados y las restricciones pendientes de verificación:

Tabla 12.1: Matriz de Validación Multidimensional del Modelo MAI

Dimension	Hipotesis Evaluada	Nivel de Validacion	Evidencia Disponible	Hito Pendiente / Verificacion
1. Problema	Salmoneras sufren perdidas por anoxia y Ley 21.410	VALIDADO	Fiscalización SMA y riesgo suspensión 2 años (Art. 118 ter)	N/A (Problema consolidado en la industria)
2. Solución	Industria demanda solución biológica sin interferencia (TIL=0%)	VALIDADO PRELIMINAR	93.3% interés en pilotos (N=75) y caso Cermaq Seno Gemmel	Verificación en terreno de Tasa Interferencia TIL=0%
3. Disposición Pagar (WTP)	Cliente acepta cofinanciamiento USD 17.500/año por Compliance	HIPOTESIS PENDIENTE	ROI estimado cliente de 13.28 veces el pago realizado	Firma de LOI o convenios de piloto cofinanciado
4. Factibilidad Regulatoria	Modulo opera como especie complementaria sin SEIA (Gate 0)	VALIDADO PARCIAL	Res. Ex. SUBPESCA 1102/2026 y Pertinencias SEA	Confirmación de NMO (D.S. 383) ante SERNAPESCA (Gate A)
5. Viabilidad Financiera	Piloto es rentable bajo esquema In-kind y regla 50/50	VALIDADO MODELADO	Flujo piloto VAN = USD 11.778,31 y TIR = **20,44**%	Firma contrato Off-take ($700/t seca) con comprador

Fuente: Elaboración propia basada en la validación de la propuesta de solución del proyecto

12.4 Protocolo Experimental de Pilotaje Industrial (Diseño BACI)

Para cerrar la brecha entre la intención declarada y la contratación comercial, la tesina formula un protocolo de pilotaje en sitio basado en un diseño experimental de ecología aplicada Before-After / Control-Impact (BACI):

- **Configuración del Experimento:** Selección de 2 Centros de Engorda de Salmones (CES) comparables dentro de la misma Agrupación de Concesiones (ACS). El CES Tratamiento se equipa con un módulo de 2 ha de *Macrocystis pyrifera* y la unidad Screw Press a bordo del pontón. El CES Control opera bajo la práctica tradicional sin algas.
- **Horizonte de Verificación:** 1 ciclo productivo de engorda completo (14 a 18 meses) más la ventana de evaluación ambiental INFA posterior.
- **Aporte al "Plan de Investigación" (Ley N° 21.410):** La ejecución de este protocolo BACI es asumida por la firma MAI y entregada a la salmonera para su presentación oficial ante SERNAPESCA, cumpliendo con la exigencia legal del Artículo 74 ter

Tabla 12.2: Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) del Piloto Industrial.

Categoría de Medición	Indicador Clave (KPI)	Metodología / Instrumental	Criterio Técnico de Éxito
Biológico-Extractivo	Ratios crecimiento y captura de N y P	Pesaje en cubierta y laboratorio foliar	Rendimiento ≥ 250 t frescas/ciclo (25 t secas)
Columna de Agua	Atenuación de DIN y O_2 disuelto	Sondas CTD y botellas Niskin perimetrales	Reducción estadísticamente significativa vs Control
Sedimento Bentico	Potencial Redox (Eh), pH y Materia Orgánica	Núcleos de sedimento (Corer)	Menor degradación y mantención estado aeróbico
Eficiencia Logística	Humedad residual en torta prensada	Balanza halogenada a bordo (Screw Press)	Humedad ≤ 65% (Masa prensada fletada 71.4 t)
Interferencia Operativa	Tasa de Interferencia Logística (TIL)	Bitácora de maniobras con wellboats y ROV	TIL = 0% (Cero retrasos en faenas del centro)

Fuente: Elaboración propia basada en la validación de la propuesta de solución del proyecto

12.5 Matriz Decisional Go / No-Go y Sistema Stage-Gate

Para garantizar un despliegue de capital disciplinado, el paso desde el Módulo Piloto hacia el escalamiento comercial se supedita a un sistema de etapas y compuertas (*Stage-Gate System*):



Figura 12.1: Esquema del diseño experimental BACI)

Descripción de Compuertas del Sistema Stage-Gate:

- GATE A (Pronunciamiento Regulatorio y Sectorial - Meses 1 a 3): Confirmación normativa de la vía "Gate 0" (Res. Ex. N° 1102/2026 y Pertinencia SEA) y consulta interpretativa ante SERNAPESCA sobre el cálculo del NMO (D.S. N° 383/2007).
- GATE B (Piloto Técnico y Validación BACI - Meses 4 a 18): Instalación del Módulo Piloto (2 ha) bajo esquema In-kind. Verificación de humedad de prensado ≤65%, bioextracción de DIN/DIP y TIL = 0% durante 1 ciclo completo.
- GATE C (Validación Comercial y Off-Take Firme - Meses 16 a 20): Firma de al menos 3 Cartas de Intención (LOI) con salmoneras para la tarifa cofinanciada B2B de USD 17.500/año y 1 contrato *Off-take* (Take-or-Pay a USD 700/t seca) con procesador terrestre.
- GATE D (Cierre Financiero de Escalamiento - Meses 21 a 24): Estructuración de financiamiento privado para la replicación del módulo respaldado por los contratos firmados en Gate C y convenios In-kind.
- GATE E (Despliegue Territorial Gradual - Años 3 a 5): Expansión progresiva a nuevos centros de engorda conservando el margen EBITDA del piloto (≥ 42,8%) y el cumplimiento estricto de los SLAs

13 CONCLUSIÓN Y PRÓXIMOS PASOS

13.1 Dictamen Final de Prefactibilidad Condicionada

La evaluación desarrollada indica que la gestión preventiva del riesgo ambiental mediante Macrocystis pyrifera presenta una hipótesis técnica plausible y una vía regulatoria potencialmente aplicable. No obstante, su eficacia ambiental y su viabilidad comercial definitiva permanecen condicionadas a la ejecución de un piloto industrial y a la obtención de los pronunciamientos sectoriales correspondientes. Al enmarcar la solución en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 y responder a las exigencias de la Ley N° 21.410, el proyecto demuestra que es posible implementar un mecanismo de biofiltración en la columna de agua sin incurrir en modificaciones complejas de la Resolución de Calificación Ambiental matriz ni alterar el programa de producción de peces. Desde la perspectiva estratégica, el valor del servicio administrado radica en resolver las fricciones de inversión y conocimiento técnico que frenan a las salmoneras para adoptar tecnologías secundarias. La integración del prensado mecánico a bordo neutraliza el costo del flete austral, mientras que la estructuración contractual del Dossier de Cumplimiento Ambiental suministra a las gerencias un expediente auditable para resguardar la continuidad operativa del activo concesional. No obstante, el dictamen final de este estudio se mantiene en una condición de prefactibilidad condicionada. El paso definitivo hacia el escalamiento comercial no debe plantearse como un hecho consumado, sino como una hoja de ruta supeditada al cumplimiento estricto del sistema Stage-Gate. La ejecución del piloto industrial bajo un diseño experimental BACI será la instancia decisiva para verificar en terreno la tasa de bioextracción de nutrientes disueltos, confirmar la tasa de interferencia logística nula y formalizar los acuerdos de off-take que consoliden la sostenibilidad financiera del modelo.

13.2 Síntesis de Conclusiones por Dimensión Estratégica

a. Dimensión Regulatoria e Institucional

- **Habilitación Operativa ("Gate 0"):** La Resolución Exenta SUBPESCA N° 1102/2026 (Art. 21 bis D.S. N° 290/1993) posibilita la incorporación simplificada de macroalgas como especie complementaria dentro del grupo salmónidos mediante declaración jurada. Esto faculta el cultivo perimetral dentro de la concesión sin requerir la modificación del proyecto técnico matriz ni el ingreso obligatorio al SEIA via DIA/EIA, criterio ratificado por la jurisprudencia del SEA en proyectos reales de la industria (e.g., Cermaq Chile S.A., CES Seno Gemmel, 2026).

- **Impulsor Legal de Compliance (Ley N° 21.410):** El servicio se constituye como la herramienta biológica para dar cumplimiento al "Plan de Investigación y Recuperación" exigido por el Artículo 74 ter de la Ley N° 21.410. Este marco otorga una tracción B2B crítica al mitigar directamente la sanción de suspensión de operaciones por 2 años (Art. 118 ter).
- **Posicionamiento Preventivo Estricto:** Se descarta categóricamente el posicionamiento como servicio "correctivo ex-post" en fondos colapsados. Bajo el Artículo 20 del RAMA, la anoxia decreta el veto inmediato de siembras; por ende, la validez técnica de la *Macrocystis* radica exclusivamente en su actuación preventiva durante el ciclo activo.

b. Dimensión Técnica, Logística y Biogeoquímica

- **Economía Unitaria Cofinanciada (Regla 50/50):** La adopción del esquema de Infraestructura Compartida (In-kind) donde la salmonera aporta buzos, embarcaciones y energía como costo hundido reduce la inversión inicial de la firma operadora a USD 40.000 (CAPEX técnico especializado) y el OPEX a USD 20.000/año.
- **Indicadores de Rentabilidad Privada:** El módulo piloto demuestra viabilidad económica autónoma en un escenario 100% privado (0% subsidios) con un costo de capital WACC = 10,0%:
- **Facturación Bruta Anual:** USD 35.000 (USD 17.500 Tarifa B2B Salmonera + USD 17.500 Venta de Biomasa).
- **EBITDA Anual Piloto:** USD 15.000/año.
- **Valor Actual Neto (VAN) de USD 11.778 y Tasa Interna de Retorno (TIR) del 20,44% (Sección 11.4).**
- **Período de Recuperación (Payback):** El período de recuperación estimado es de 3,12 años, por lo que la inversión se recupera durante el cuarto año de operación.
- **Retorno para el Cliente Salmonero (ROI):** Para la salmonera, el cobro cofinanciado de USD 17.500/año protege un lucro cesante expuesto de USD 5.000.000. Una reducción marginal de solo 5% en la probabilidad de anoxia (ΔPanoxia = 0,05) genera un ahorro esperado de USD 250.000/año, traduciéndose en un beneficio neto para el cliente de USD 232.500/año y un ROI teórico de 13,28 veces bajo el supuesto ilustrativo de una reducción de 5 % en la probabilidad de anoxia. sobre el pago realizado.

13.3 Matriz de Riesgos Críticos y Estrategias de Mitigación

Tabla 13.1: Matriz de riesgos operacionales, biológicos y regulatorios del Módulo Piloto MAI.

Tipo de Riesgo	Evento Identificado	Severidad / Probabilidad	Impacto en el Modelo	Medida de Mitigación Estratégica
Biológico	Floraciones Algales Nocivas (FAN) o epifitismo severo	Media / Media	Pérdida de biomasa o desprendimiento foliar	Monitoreo oceanográfico preventivo, cosecha anticipada previa al estío y selección de cepas locales resistentes.
Operacional	Falla mecánica en la unidad Screw Press en pontón	Alta / Baja	Imposibilidad de prensar; elevación del flete marítimo	Plan de mantenimiento preventivo desde bases Puerto Montt/Castro y stock de repuestos críticos.
Logístico	Colisión menor con embarcaciones del centro (TIL > 0%)	Crítica / Baja	Daño a líneas o retrasos en faenas del CES	Respeto estricto del buffer de 50 m respecto a jaulas, balizamiento náutico DIRECTEMAR y señalización.
Comercial	Volatilidad en el precio de bioestimulantes agrícolas	Media / Baja	Caída del ingreso secundario por biomasa	Contrato marco de Off-take (3-5 años) con cláusula Take-or-Pay y precio piso (USD 700/t seca).
Regulatorio	Rechazo de SERNAPESCA al cómputo de cosecha para NMO	Baja / Media	La salmonera no acredita NMO en pausas prolongadas	La tarifa de $17.500 se sostiene en el Compliance de la Ley 21.410 (Art. 74 ter); el NMO se plantea como beneficio secundario.

Fuente: Elaboración propia

13.4 Hoja de Ruta de Implementación y Sistema Stage-Gate

Tabla 13.2: Matriz de control y criterios de decisión Stage-Gate para la implementación del Módulo Piloto MAI.

Compuerta	Plazo	Hitos Críticos de Ejecución	Criterio GO para Avanzar / Escalar
Gate A	Meses 1 - 3	Consulta formal NMO y selección de CES anfitrión	Confirmación normativa "Gate 0" (Res. Ex. N° 1102) y viabilidad de Plan de Investigación (Ley 21.410).
Gate B	Meses 4 - 18	Piloto 2 ha con diseño BACI y Screw Press In-kind	TIL = 0%, humedad de prensado ≤ 65% y bioextracción de DIN/DIP demostrada en sitio.
Gate C	Meses 16 - 20	Contrato *Off-take* firme y LOIs B2B cofinanciadas	Firma de *Take-or-Pay* a USD 700/t seca y convenios B2B por USD 17.500/año con salmoneras.
Gate D	Meses 21 - 24	Cierre de financiamiento para réplica de módulos	Validación de caja con TIR ≥ 20,44% y acuerdos In-kind cerrados para nuevos centros de cultivo.
Gate E	Años 3 - 5	Despliegue territorial continuo según demanda	Mantención de margen EBITDA ≥ 42,8% por módulo y cumplimiento estricto de SLAs operacionales.

Fuente: Elaboración propia

13.5 Recomendaciones Estratégicas

1. **Para el Equipo Promotor y la Empresa Operadora MAI:**

- **Ejecutar el Piloto con Rigor Experimental Causal:** Diseñar la prueba en sitio bajo el protocolo BACI (CES Tratamiento vs. CES Control), instrumentando sondas CTD y muestreos de sedimento. El objetivo primario no debe ser comercializar promesas no demostradas de reducción de meses de inactividad, sino medir con rigor la atenuación de la Cadena 2 y la conservación de la condición aeróbica.

- **Preservar la Disciplina del Modelo In-kind:** Asegurar que los convenios B2B estipulen con claridad los aportes operativos de la salmonera (embarcaciones, buceo comercial y energía del pontón) para resguardar la estructura de costos directos (USD 20.000/año) y mantener la competitividad de la tarifa cofinanciada ($17.500/año).

- **Auditoría Rigurosa de SLAs:** Mantener el cumplimiento irrestricto de los tres acuerdos de nivel de servicio: cobertura biológica en líneas, humedad de prensado ≤ 65 % y entrega oportuna del Dossier de Cumplimiento dentro de los 10 días hábiles posteriores al cierre trimestral.

2. **Para la Industria Salmonera (Clientes B2B):**

- **Adopción de Medidas Preventivas de Compliance (Ley N° 21.410):** Transitar desde acciones paliativas ex-post hacia la gestión preventiva en la columna de agua durante el ciclo activo. El copago de USD 17.500/año se traduce en la ejecución externa del Plan de Investigación obligatorio, resguardando la continuidad operacional frente a posibles suspensiones de 2 años (Art. 118 ter).

- **Aprovechamiento de la Vía Simplificada ("Gate 0"):** Utilizar el marco regulatorio habilitado por la Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026 para diversificar ambientalmente las concesiones vigentes sin incurrir en los costos y plazos de una modificación de la RCA matriz.

3. **Para la Autoridad Sectorial y Reguladores (SUBPESCA, SERNAPESCA, SMA):**

- **Clarificación del Cómputo del Nivel Mínimo de Operación (NMO):** Emitir una orientación o pronunciamiento sectorial formal que explicite los criterios para considerar las cosechas registradas de macroalgas en concesiones salmoneras como antecedentes

válidos para la acreditación del NMO (D.S. N° 383/2007) durante descansos sanitarios o pausas de siembra.

- **Incentivos a la Acuicultura Multitrófica Preventiva:** Reconocer normativamente en el RAMA las soluciones biológicas perimetrales de captura de nutrientes disueltos como medidas válidas de mitigación en los planes de manejo de las ACS, promoviendo esquemas de acuicultura circular regenerativa en la Patagonia chilena.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquaculture Stewardship Council [ASC]. (2022). *ASC Salmon Standard (Version 1.4)*. Aquaculture Stewardship Council. https://www.asc-aqua.org/our-standards/farm-standards/salmon-standard/

- Buschmann, A. H., Camus, C., Infante, J., Neori, A., Israel, Á., Hernández-González, M. C., Pereda, S. V., Gomez-Pinchetti, J. L., Golberg, A., Tadmor-Shalev, N., & Critchley, A. T. (2017). Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *European Journal of Phycology*, *52*(4), 391–406. https://doi.org/10.1080/09670262.2017.1365175

- Chopin, T., Buschmann, A. H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G. P., Zertuche-González, J. A., Yarish, C., & Neefus, C. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *Journal of Phycology*, *37*(6), 975–986. https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x

- Cohen, I. (2015). *Nutrient bioextraction by native macroalgae species in coastal aquaculture environments*. Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report.

- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*. Ellen MacArthur Foundation. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/

- Ferrández-Gómez, M. J., Sánchez-Jerez, P., & Bayle-Sempere, J. T. (2021). Benthic habitat remediation under marine fish cages: Effectiveness of artificial bottom re-oxygenation. *Aquaculture Environment Interactions*, *13*, 215–228. https://doi.org/10.3354/aei00401

- Global Aquaculture Alliance [GAA]. (2021). *Best Aquaculture Practices (BAP) Salmon Farms Standards (Issue 2.4)*. Global Seafood Alliance. https://www.bapcertification.org/Standards

- Global Reporting Initiative [GRI]. (2021). *GRI 1: Foundation 2021*. Global Sustainability Standards Board. https://www.globalreporting.org/standards/

- Hadley, S., Wild-Allen, K., Rizwi, F., & Macleod, C. (2016). Modeling macroalgae growth and nutrient uptake for integrated multi-trophic aquaculture. *Ecological Modelling*, *331*, 108–121. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.09.006

- Hale, R., Swearer, S. E., & Morris, R. L. (2023). Benthic recovery dynamics under coastal finfish mariculture: Decoupling physical assimilation and biological remediation. *Marine Pollution Bulletin*, *188*, 114620. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114620

- Hargrave, B. T. (2010). Empirical relationships between enrichment and benthic recovery times following fallowing at salmon farm sites. *Aquaculture Environment Interactions*, *1*(2), 149–160. https://doi.org/10.3354/aei00015

- Huiro Regenerativo. (2024). *Modelo de cultivo y regeneración de ecosistemas marinos en la Patagonia*. https://www.huiroregenerativo.com/

- Karakassis, I., Hatziyanni, E., Tsapakis, M., & Plaiti, W. (1999). Benthic recovery following cessation of fish farming: A combined study of biochemical and faunal indicators. *Marine Ecology Progress Series*, *177*, 255–264. https://doi.org/10.3354/meps177255

- Keeley, N., Valdemarsen, T., Woodcock, S., & Holmer, M. (2019). Resilience of benthic marine ecosystems following organic loading disturbances from finfish mariculture. *Science of the Total Environment*, *652*, 496–508. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.155

- Kerrigan, D., & Suckling, C. C. (2018). A meta-analysis of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) performance: Biomass yield and nutrient bioextraction by seaweeds. *Reviews in Aquaculture*, *10*(4), 860–874. https://doi.org/10.1111/raq.12209

- Macleod, C. K., Moltschaniwskyj, N. A., & Crawford, C. M. (2008). Recovery of soft sediment benthos following salmon farming: Distinguishing functional recovery from structural community return. *Aquaculture*, *277*(1-2), 13–21. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.026

- Mares Limpios. (2024). *Servicios de limpieza y extracción de residuos en fondos acuáticos*. https://mareslimpios.cl/

- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. (1991). *Ley 18892: Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30265

- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. (1993). *Decreto 290: Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=12959

- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. (2007). *Decreto 383: Aprueba reglamento sobre el nivel mínimo de operación de las concesiones y autorizaciones de acuicultura (NMO)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=266938

- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2001). *Decreto 320: Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=193137

- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2022). *Ley 21410: 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 inorgánicos y orgánicos*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1171881

- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Ley 21600: Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1195655

- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (1994). *Ley 19300: Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667

- Nederlof, M. A. J., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2022). Nutrient retention and waste bioextraction efficiency in open-water integrated multi-trophic aquaculture: A global review. *Aquaculture*, *550*, 737839. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737839

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2018). *Making Blended Finance Work for the Sustainable Development Goals*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264288768-en

- Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., & Smith, A. (2014). *Value Proposition Design: How to Create Products and Services Customers Want*. John Wiley & Sons.

- OXZO. (2024). *Soluciones tecnológicas de oxigenación para la industria acuícola*. https://oxzo.cl

- S&P Global. (2023). *Dow Jones Sustainability Indices (DJSI) Methodology*. S&P Dow Jones Indices. https://www.spglobal.com/spdji/en/

- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag Puelma, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

- Servicio de Evaluación Ambiental [SEA]. (2025). *Consulta de Pertinencia de Ingreso al SEIA: CES Caleta Soledad (Cermaq Chile S.A.)*. Expediente Electrónico ID PERTI-2025-11124. https://pertinencia.sea.gob.cl/api/public/expediente/PERTI-2025-11124

- Servicio de Evaluación Ambiental [SEA]. (2026a). *Consulta de Pertinencia de Ingreso al SEIA: Modificación CES Quemada (Cermaq Chile S.A.)*. Expediente Electrónico ID PERTI-2026-1094. https://pertinencia.sea.gob.cl/api/public/expediente/PERTI-2026-1094

- Servicio de Evaluación Ambiental [SEA]. (2026b). *Consulta de Pertinencia de Ingreso al SEIA: Modificación CES Seno Gemmel, Macroalgas + NB (Cermaq Chile S.A., Código 110193)*. Buscador de e-Pertinencias SEIA. https://pertinencia.sea.gob.cl/api/public/buscador

- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura [SERNAPESCA]. (2026). *Procedimientos e instructivos técnicos para la acreditación ambiental y sanitaria en centros de cultivo: Sistema de Información de Fiscalización de Acuicultura (SIFA) e Informes Ambientales (INFA)*. Departamento de Salud Animal y Medio Ambiente, SERNAPESCA.

- Sparrow, M. K. (2020). *Fundamentals of regulatory design*. Independently Published.

- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura [SUBPESCA]. (2009). *Resolución Exenta N° 3612: Fija metodologías y requisitos técnicos para la elaboración del Informe Ambiental (INFA)*. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura [SUBPESCA]. (2022). Resolución Exenta N° 1141: Aprueba nómina de tecnologías autorizadas y proveedores acreditados para la recuperación e investigación en fondos marinos (Art. 8 bis RAMA). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura [SUBPESCA]. (2026). Resolución Exenta N° 1102: Modifica Resolución Exenta N° 1089 de 2021 y establece procedimiento simplificado para la incorporación de macroalgas como especie complementaria en concesiones de salmónidos vigentes (Art. 21 bis D.S. N° 290/1993). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

- Superintendencia del Medio Ambiente [SMA]. (2020). Resolución Exenta N° 1397: Instruye sistemas de monitoreo continuo en línea para parámetros fisicoquímicos en Centros de Engorda de Salmones. Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

- Superintendencia del Medio Ambiente [SMA]. (2024). Resolución Exenta N° 1.017: Aprueba Estrategia de Cumplimiento Ambiental para Centros de Engorda de Salmones (CES) y monitoreo satelital de posicionamiento de concesiones. Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

- Superintendencia del Medio Ambiente [SMA]. (2026a). Estrategia de Cumplimiento Ambiental para Centros de Engorda de Salmones (CES). Comité de Acuicultura, Superintendencia del Medio Ambiente. https://portal.sma.gob.cl/

- Superintendencia del Medio Ambiente [SMA]. (2026b). Registro Nacional de Programas de Cumplimiento (PDC) y Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA). Superintendencia del Medio Ambiente. https://snifa.sma.gob.cl/

- Varela, D. A., Henríquez, L. A., Fernández, P. A., Leal, P., Hernández-González, M. C., Figueroa, F. L., & Buschmann, A. H. (2018). Photosynthesis and nitrogen uptake of the giant kelp Macrocystis pyrifera in southern Chile: Applications for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). Aquaculture Environment Interactions, 10, 369–382. https://doi.org/10.3354/aei00277

ANEXOS

I. Anexo 1 Entrevista Semiestructurada

El Objetivo es Identificar barreras técnicas, financieras, regulatorias y culturales para la implementación de acuicultura circular con *Macrocystis pyrifera*, asegurando un enfoque estratégico y riguroso acorde a los estándares de un MBA UTFSM. Este guion está diseñado para obtener información profunda y accionable que permita fundamentar la propuesta de acompañamiento integral.

Bloques de preguntas:

- **Barreras técnicas:**
- ¿Cuál es su nivel de conocimiento y experiencia práctica con el cultivo de *Macrocystis pyrifera* y su integración en sistemas salmoneros?
- ¿Qué desafíos técnicos específicos anticipan en la implementación y operación de acuicultura circular?
- ¿Qué soluciones innovadoras o mejores prácticas consideran aplicables para superar estas barreras?
- **Barreras financieras:**
- ¿Cómo evalúan la viabilidad económica y los costos iniciales asociados a la implementación de acuicultura circular?
- ¿Qué mecanismos de financiamiento (subsidios, créditos verdes, alianzas estratégicas) consideran más efectivos para apoyar este tipo de proyectos?
- ¿Qué indicadores financieros serían clave para monitorear el retorno de inversión y la sostenibilidad económica?
- **Barreras regulatorias:**
- ¿Cuáles son los principales obstáculos regulatorios y de permisos ambientales que enfrentan o anticipan?
- ¿Qué propuestas normativas o políticas públicas podrían facilitar la adopción de acuicultura circular con macroalgas?
- ¿Cómo evalúan el impacto de la regulación actual en la competitividad y sostenibilidad del sector?
-

- **Barreras culturales/organizacionales:**

- ¿Qué grado de apertura y receptividad existe en su organización hacia innovaciones sostenibles y modelos circulares?
- ¿Qué incentivos internos o externos podrían potenciar la adopción de estas prácticas?
- ¿Cómo se gestionan los cambios culturales y organizacionales para integrar nuevas tecnologías y procesos?

- **Perspectiva estratégica:**

- ¿Qué beneficios reputacionales, comerciales o de mercado visualizan al implementar acuicultura circular?
- ¿Estarían dispuestos a participar en un piloto de acompañamiento integral que permita validar y ajustar el modelo propuesto?

II. Anexo 2: Encuesta Diagnóstica de Acuicultura Circular

Título: Estudio de Sostenibilidad y Competitividad: Acuicultura Circular en la Industria Salmonera Chilena.

Introducción:

Esta encuesta forma parte de una investigación del MBA de la Universidad Técnica Federico Santa María. El objetivo es identificar las barreras y oportunidades para la implementación de modelos circulares con *Macrocystis pyrifera*. Sus respuestas son confidenciales y los resultados se utilizarán exclusivamente con fines académicos y estratégicos. Tiempo estimado: 5 minutos.

Sección 1: Perfil del Participante

1. **Cargo o área de desempeño:**

- Operaciones / Producción
- Sostenibilidad / Medio Ambiente
- Asuntos Corporativos / Gerencia General
- I+D / Innovación

2. **Tamaño de la organización (Capacidad de producción anual):**

- Pequeña/Mediana (menos de 20.000 ton)
- Grande (20.000 - 80.000 ton)
- Muy Grande (más de 80.000 ton)

Sección 2: Percepción y Conocimiento (Escala Likert 1-5)

Donde 1 es "Nada / Muy bajo" y 5 es "Totalmente / Muy alto".

3. **Nivel de conocimiento:** ¿Cuál es su nivel de conocimiento técnico sobre la acuicultura circular y el cultivo de *Macrocystis pyrifera* (huiro)?

4. **Relevancia estratégica:** ¿Qué tan relevante considera la adopción de modelos circulares para asegurar la competitividad del sector a largo plazo?

5. **Presión del entorno:** ¿Qué tanta presión percibe desde el mercado internacional y los reguladores para implementar prácticas de biorremediación?

Sección 3: Barreras y Desafíos

6. **Priorización de barreras:** ¿Cuál considera que es la principal barrera para implementar sistemas con macroalgas hoy? (Seleccione la más crítica)

- **Técnica:** Falta de protocolos probados a escala industrial.
- **Financiera:** Elevado CAPEX inicial y falta de retorno claro.

- **Regulatoria:** Complejidad en la tramitación de permisos (concesiones).
- **Cultural/Organizacional:** Resistencia interna o priorización de la producción de peces.

7. **Complejidad regulatoria:** ¿Qué mejora normativa facilitaría más la adopción? (Seleccione una)

- Simplificación de permisos ambientales.
- Incentivos fiscales por servicios ecosistémicos (Carbono Azul).
- Creación de una normativa específica para la acuicultura multitrófica (IMTA).

Sección 4: Oportunidades y Viabilidad Económica

8. **Principales beneficios:** ¿Qué beneficio generaría mayor valor para su empresa? (Máximo 2 opciones)

- Reducción de impactos ambientales (Biorremediación).
- Mejora de la imagen de marca y licencia social.
- Diversificación de ingresos (Venta de biomasa de algas).
- Acceso a financiamiento verde o mejores tasas de crédito.

9. **Mecanismos de fomento:** ¿Qué incentivo financiero considera más adecuado?

- Subsidios públicos (CORFO/FIA).
- Créditos verdes con tasas preferenciales.
- Alianzas estratégicas con proveedores de la bioeconomía azul.

Sección 5: Intención de Acción

10. **Disposición al cambio:** ¿Estaría su organización dispuesta a participar en un programa piloto de acompañamiento integral que mitigue los riesgos iniciales?

- Sí, definitivamente.
- No, por el momento.
- Depende del nivel de apoyo financiero y regulatorio.

11. **Contacto (Opcional):** Si desea recibir el **Resumen Ejecutivo** con los resultados de este estudio o participar en una entrevista breve, deje su correo aquí:

- [Campo de texto abierto]

III. Anexo 3: Modelo de Correo de Invitación

Asunto: Invitación: Estudio Estratégico sobre Acuicultura Circular y Competitividad - MBA UTFSM

Estimado/a [Nombre del Líder]:

Le saludo cordialmente. Mi nombre es **Sebastián Ignacio Maldonado Cortez** y actualmente desarrollo mi investigación de tesina en el **MBA de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM)**.

El objetivo central de mi estudio es diseñar un **Modelo de Acompañamiento Integral** que facilite la implementación de acuicultura circular con *Macrocystis pyrifera* en Chile. Ante los actuales desafíos de sostenibilidad y las nuevas exigencias normativas (como la Ley N° 21.410), su visión estratégica es fundamental para identificar las barreras reales técnicas, financieras y regulatorias que enfrenta el sector.

¿Podría apoyarme con 5 minutos de su tiempo?

1. **Encuesta Diagnóstica (Breve):** https://forms.gle/WRdHSiLaNntsncUM9 Diseñada para capturar la percepción de la industria sobre la viabilidad de estos modelos.

2. **Entrevista Estratégica (Opcional):** Si desea profundizar en los cuellos de botella regulatorios o incentivos de fomento, estaré encantado de coordinar una breve llamada de 15 minutos.

Compromiso de Valor: Como agradecimiento por su colaboración, me comprometo a enviarle un **Resumen Ejecutivo** con los hallazgos finales del estudio. Este documento le ofrecerá un *benchmark* actualizado sobre la disposición del sector hacia prácticas regenerativas y las rutas de financiamiento verde disponibles.

Toda la información será tratada bajo estrictos estándares de confidencialidad académica.

Agradezco de antemano su disposición para fortalecer la competitividad sostenible de la salmonicultura chilena.

Atentamente,

Sebastián Ignacio Maldonado Cortez

MBA UTFSM

IV. ANEXO 4: Lista de chequeo y estructura del dossier de cumplimiento ambiental (ERaaS - Modelo MAI)

1. Propósito y Alcance del Dossier de Cumplimiento Ambiental

El **Dossier de Cumplimiento Ambiental** constituye el entregable técnico y documental fundamental del servicio administrado *Environmental Risk-as-a-Service* (ERaaS). Su finalidad es consolidar en un expediente único, auditable y estandarizado, el conjunto de registros operacionales, perfiles oceanográficos, balances de masa de bioextracción y acreditaciones sectoriales generados por el módulo perimetral de macroalgas (*Macrocystis pyrifera*) durante el ciclo de cultivo.

Este expediente técnico cumple una triple función de aseguramiento y resguardo para el Centro de Engorda de Salmones (CES) anfitrión:

1. **Gestión documental y trazabilidad regulatoria:** Organizar y mantener disponible evidencia documental sobre las actividades ejecutadas, registros operacionales y medidas preventivas implementadas, para efectos de gestión interna, fiscalización y eventuales procesos de revisión por parte de las autoridades competentes, respaldando la adopción formal de medidas preventivas para atenuar la sedimentación de materia orgánica en la columna de agua (conforme al Art. 74 ter de la Ley General de Pesca y Acuicultura, incorporado por la Ley N° 21.410) y la estricta permanencia dentro del polígono concedido (Res. Ex. SMA N° 1.017/2024).

2. **Soporte de Trazabilidad Sectorial:** Respaldar documentalmente las cosechas periódicas de biomasa mediante guías de despacho visadas en el Sistema de Información de Fiscalización de Acuicultura (SIFA), aportando antecedentes de operación efectiva en el marco de la Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026 y el D.S. N° 383/2007 (Nivel Mínimo de Operación).

3. **Auditoría de Estándares Internacionales (ESG):** Suministrar evidencia cuantitativa de biofiltración de excedentes orgánicos y economía circular para auditorías de certificación bajo estándares internacionales de sustentabilidad como Aquaculture Stewardship Council (ASC) y Best Aquaculture Practices (BAP).

2. Estructura Modular del Dossier de Cumplimiento Ambiental

El expediente se organiza en seis (6) módulos técnicos recopilados trimestralmente y consolidados al término del ciclo productivo del centro:

Módulo 1: Antecedentes Concesionales y Habilitación Normativa ("Gate 0")

- **1.1 Ficha Técnica del Centro:** Código de centro (RNA), titular de la concesión, Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS o barrio), coordenadas geográficas del polígono autorizado (datum WGS-84) y vigencia del título concesional.

- **1.2 Habilitación Ambiental Matriz:** Copia de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) matriz y pronunciamiento de la Consulta de Pertinencia emitida por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), acreditando que la instalación de líneas de algas perimetrales no requiere ingresar al SEIA.

- **1.3 Declaración de Especie Complementaria:** Copia de la Declaración Jurada formal tramitada ante SUBPESCA bajo la Res. Ex. N° 1102/2026 (Art. 21 bis del D.S. N° 290/1993), certificando la incorporación de *Macrocystis pyrifera* como cultivo complementario sin incremento de biomasa de peces ni de la superficie autorizada.

Módulo 2: Posicionamiento Espacial, Fondeos y Convivencia Náutica

- **2.1 Certificado de Posicionamiento Satelital:** Superposición de coordenadas de fondeos y líneas de cultivo sobre imágenes satelitales (SAR / Sentinel), demostrando el cumplimiento de la directriz de cero ocupación fuera del área concedida (Res. Ex. SMA N° 1.017/2024).

- **2.2 Plano de Disposición de Fondeos:** Planimetría de las 2 hectáreas perimetrales, indicando anclas, muertos, cabos de fondeo, boyarines de señalización y el mantenimiento del buffer de amortiguación (≥ 50 metros) respecto a las balsas-jaula de peces.

- **2.3 Bitácora de Maniobras Náuticas y Reporte TIL:** Registro cronológico de operaciones de atraque de *wellboats*, pontón de ensilaje, faenas de buceo comercial y navegación de robots submarinos (ROV), certificando una Tasa de Interferencia Logística nula (TIL = 0%).

Módulo 3: Trazabilidad Biológica del Cultivo

- **3.1 Origen del Material Biológico:** Certificados de trazabilidad y fitosanidad del *hatchery* proveedor de plántulas o esporofitos de *Macrocystis pyrifera*.

- **3.2 Récord de Siembra y Crecimiento:** Registros mensuales de elongación foliar en líneas suspendidas (*long-lines*), biomasa estimada por metro lineal (kg/m) y monitoreo visual de desprendimiento y epifitismo.

- **3.3 Procedimiento de Contingencia FAN:** Protocolo preventivo y registros de muestreo fitoplanctónico ante eventos de Floraciones de Algas Nocivas (FAN).

Módulo 4: Balance de Masa, Prensado In-Situ y Cadena de Custodia

- **4.1 Actas de Cosecha en Pontón:** Pesaje de biomasa húmeda recién extraída (base de diseño: 250 toneladas frescas por ciclo).

- **4.2 Protocolo de Deshidratación Mecánica (Screw Press):** Registro de operación de la prensa de tornillo a bordo, reportando horas de funcionamiento, volumen de licor de prensa recirculado y medición de humedad residual en torta prensada mediante balanza halógena (verificación del criterio de humedad ≤ 65%).

- **4.3 Cadena de Custodia y Flete Austral:** Guías de despacho visadas en el sistema SIFA de SERNAPESCA, certificando el transporte marítimo y terrestre de 71,4 toneladas de biomasa prensada hacia la planta terrestre.

- **4.4 Certificado de Recepción Off-take:** Comprobante de pesaje y recepción final suscrito por el procesador terrestre de bioestimulantes agrícolas bajo contrato *Take-or-Pay*.

Módulo 5: Monitoreo Oceanográfico, Bioextracción y Vínculo INFA

- **5.1 Perfiles Fisicoquímicos de Columna:** Mediciones trimestrales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (O_2) mediante sondas CTD en estaciones de barlovento y sotavento del módulo.

- **5.2 Cuantificación de Bioextracción de Nutrientes:** Balance de masa de remoción de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN: amonio NH_4^+ y nitrato NO_3^-) y ortofosfato (PO_4^{3-}), a partir del análisis foliar de nitrógeno (%N) y fósforo (%P) total de la biomasa cosechada.

- **5.3 Indicadores Bénticos de Seguimiento:** Registro de mediciones paramétricas en sedimento (pH, potencial redox Eh, materia orgánica total MOT) alineadas a la Res. Ex. SUBPESCA N° 3612/2009, demostrando la conservación del estado aeróbico del fondo marino.

Módulo 6: Liquidación de Acuerdos de Nivel de Servicio (SLAs) y Reportabilidad ESG

- **6.1 Auditoría de Cumplimiento de SLAs:** Liquidación formal de los indicadores SLA 1 (densidad biológica en líneas), SLA 2 (humedad de prensado in-situ ≤

65%) y SLA 3 (emisión oportuna del dossier dentro de los 10 días hábiles posteriores al cierre del trimestre).

- **6.2 Declaración de Deslinde y Naturaleza Jurídica:** Cláusula de cierre que ratifica la naturaleza del servicio como una prestación de medios calificados, eximiendo a la empresa operadora de garantías respecto a pronunciamientos discrecionales o resoluciones sancionatorias de la autoridad.

- **6.3 Cuadro de Indicadores ESG:** Reporte de biofiltración de nutrientes e impacto circular preparado para su incorporación directa en memorias de sostenibilidad corporativa bajo estándares GRI 303 y GRI 304.

3. Lista de Chequeo (Checklist) para Auditoría del Dossier

La siguiente tabla corresponde al protocolo formal de verificación que debe ser completado y suscrito trimestralmente entre la firma operadora MAI y la empresa salmonera:

Código	Ítem / Documento Requerido	Medio de Verificación	Periodicidad	Responsable MAI	V°B° Cliente Salmonero
CK-01	Resolución de Consulta de Pertinencia aprobada	Oficio SEA / Consulta electrónica	Única (Habilitación)	Asuntos Regulatorios	[ ] Conforme
CK-02	Declaración Jurada Res. Ex. SUBPESCA N° 1102/2026	Comprobante de ingreso formal	Única (Habilitación)	Asuntos Regulatorios	[ ] Conforme
CK-03	Cartografía satelital de fondeos (WGS-84)	Reporte satelital SAR / Archivo .kml	Trimestral	Jefe de Operaciones	[ ] Conforme
CK-04	Bitácora de maniobras náuticas del CES (TIL = 0%)	Libro de guardia y firmas de patrones	Mensual	Supervisor de Terreno	[ ] Conforme
CK-05	Certificado fitosanitario y origen de plántulas	Guía de despacho de hatchery acreditado	Por siembra	Biólogo Marino MAI	[ ] Conforme

CK-06	Récord biométrico de cultivo suspendido (kg/m)	Fichas de muestreo biométrico en sitio	Mensual	Biólogo Marino MAI	[ ] Conforme
CK-07	Certificado de mantención de prensa y balanzas	Informe técnico de calibración	Trimestral	Encargado de Mantención	[ ] Conforme
CK-08	Verificación de humedad de torta prensada (≤ 65%)	Reportes de balanza halógena in-situ	Por faena de cosecha	Supervisor de Planta	[ ] Conforme
CK-09	Guías de despacho de biomasa visadas en SIFA	Guías electrónicas en portal SERNAPESCA	Por embarque	Encargado Logístico	[ ] Conforme
CK-10	Certificado de recepción en planta terrestre	Guía de recepción de planta off-take	Por entrega	Encargado Logístico	[ ] Conforme
CK-11	Informe de calidad de agua y bioextracción DIN	Informe de laboratorio acreditado	Trimestral	Director Técnico	[ ] Conforme

CK-12	Registro paramétrico de sedimento (redox / pH)	Informe de seguimiento ambiental	Por ciclo	Director Técnico	[ ] Conforme
CK-13	Liquidación de cobro de tarifa sujeta a SLAs	Factura proforma y acta de liquidación	Trimestral	Gerente de Finanzas	[ ] Conforme

Fuente: Elaboración propia basada en los requerimientos de auditoría ambiental y estándares operacionales del servicio ERaaS.

4. Protocolo de Emisión, Firma y Custodia Digital

- **Plazo de Entrega:** El Dossier trimestral consolidado debe remitirse a las Gerencias de Operaciones y Medio Ambiente del titular salmonero en un plazo máximo de **diez (10) días hábiles** tras la conclusión de cada trimestre calendario (compromiso SLA 3).

- **Firmas de Responsabilidad Técnica:** Cada entrega requiere la firma electrónica avanzada del Ingeniero Acuícola o Director Técnico responsable por parte de la empresa operadora MAI, y la recepción conforme del Gerente de Medio Ambiente y Compliance de la compañía salmonera.

- **Almacenamiento y Disponibilidad Auditable:** Los antecedentes, análisis químicos, cartografías y actas de fiscalización se alojarán en una plataforma digital en la nube con acceso permanente (24/7) para el cliente durante un periodo mínimo de **cinco (5) años**, asegurando su inmediata disponibilidad frente a inspecciones ordinarias o requerimientos de información de la SMA, SERNAPESCA, DIRECTEMAR o auditores de certificación internacional.