



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DISMINUCIÓN
DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL MANEJO DE
Lodos RESULTANTES DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE REDES EN
LA INDUSTRIA SALMONERA EN LA REGIÓN DE AYSÉN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

CAROLINA ANDREA JARA MARTINEZ

**PROFESOR GUÍA:
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SEBASTIÁN DEPOLO CABRERA
EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA**

SANTIAGO DE CHILE

JUNIO 2008

*RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL
POR: CAROLINA JARA MARTÍNEZ
FECHA: 25/07/2008
PROF. GUÍA: SR. JUAN PABLO ZANLUNGO*

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL MANEJO DE LODOS RESULTANTES DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE REDES EN LA INDUSTRIA SALMONERA EN LA REGIÓN DE AYSÉN

El presente trabajo de título tiene por objetivo central, identificar y analizar diferentes estrategias orientadas a la disminución del impacto ambiental, de los contaminantes provocados por las faenas de limpieza de redes salmoneras en la región de Aysén para, a partir de ellas, sugerir líneas de acción atinentes al desarrollo actual de la industria. De este modo, el presente trabajo tiene como propósito contribuir a la industria chilena del salmón en su esfuerzo por convivir en armonía con el medio ambiente, la población y las otras actividades productivas, hechos fundamentales para generar un desarrollo sustentable en el largo plazo.

El proceso investigativo realizado contempló tres fases fundamentales: la identificación de alternativas de solución, el análisis de las mismas, y la generación de una propuesta para la adopción de tecnologías.

Este estudio se centró en el análisis de trece alternativas de solución, que fueron en una primera etapa identificadas mediante un proceso de investigación en terreno, entrevistas a actores clave de la industria y de reparticiones gubernamentales involucradas en el control de la actividad, y revisión de fuentes secundarias de información. Así, las posibles soluciones corresponden a tecnologías desarrolladas o propuestas específicamente para la acuicultura, métodos utilizados en otras industrias o áreas con problemas similares, o bien a proyectos de investigación actualmente en estudio.

La evaluación y comparación meramente económica resulta compleja e insuficiente dada la diversidad de las opciones de solución identificadas, tanto respecto del nivel de la cadena productiva y de decisión en que son aplicables, como en sus características particulares y el impacto que éstas tienen sobre el medio ambiente y la comunidad. Es por esto que, en la segunda etapa del estudio, fue utilizada la metodología de Proceso de Análisis Jerárquico para encontrar la mejor alternativa en cada etapa de decisión basado en la priorización de múltiples criterios, entre los que destacan aspectos económicos, medioambientales y de eficiencia, todos regidos por las leyes, normativas y acuerdos vigentes en la industria.

Si bien este documento realiza una propuesta concreta en base al análisis jerárquico realizado, es fundamental recalcar que esta metodología se basa en el juicio de expertos, por lo que un cambio de criterios y paradigmas al interior de la industria podrían ser relevantes en el resultado de la investigación.

Finalmente, a partir de este estudio se ha logrado concluir que, por sus diferencias de aplicación y la diversidad de las alternativas posibles, la estrategia óptima está compuesta no por una única tecnología, sino por la utilización de un conjunto de alternativas que permiten, desde distintas etapas de la cadena productiva, mejorar la situación que enfrenta hoy la región de Aysén y la industria en general.

Agradecimientos

Este documento no sólo contiene los datos, análisis y conclusiones propios de una Memoria de Título, en él también se entremezclan los recuerdos de un año difícil y, sin embargo, lleno de experiencias y aprendizajes, así como también la emoción propia de la culminación de un ciclo que atesoro con gran cariño. Es por esto que me es imposible no mencionar en estas breves líneas a aquellos quienes, de una u otra manera, me han ayudado y acompañado en este camino.

En primer lugar agradezco a Dios las bendiciones infinitas con que me colma día a día y porque, junto a cada prueba que se ha presentado en este camino, Él ha puesto a las personas indicadas para poder seguir avanzando.

A a mis papás, Hernán y Ana María, que han sido mi apoyo y el mejor ejemplo de vida y amor que podría desear.

A mis hermanos que adoro como nada en el mundo. A Orielle por su fortaleza inconmensurable que me impulsa a seguir adelante cada día y a Bastián, el bálsamo de mi vida. A David, mi sobrino, que me llena de alegría y fe, y a mi cuñado Mario por su apoyo y constancia indiscutible.

A mis abuelos: Delia, Carmen y Guillermo, y a las hermosas familias que dieron origen.

A Christian, por ser mi compañero, cómplice y confidente, y porque a pesar de las adversidades hemos descubierto juntos más felicidad de la que creí posible.

También quiero agradecer a mis amigos de la vida, y a los que en todo momento he sentido a mi lado. En particular, a la familia Basoa Oviedo (y a todos quienes de una u otra manera son parte de ella) ya que los siento mi propia familia. A mis amigas Carolina, Marjorie, Denise y María Ángeles, quienes además de su apoyo incondicional, fueron una gran fuente de conocimiento teórico y de generación de redes de contacto clave para esta investigación.

A aquellos con quienes compartí largas horas de estudio y años de amistad; Pato Pérez M., Pato Pérez G. y Cristian, también Paula, Bárbara y María Isabel. Y por supuesto a quienes encontré más tarde en el camino académico: Claudia, Carla, Maribel, Eduardo, Karla... entre tantos más.

Mención aparte para mis amigas Francisca y María José, quienes no sólo han sido mis compañeras al final de esta etapa, sino también mi gran apoyo y el mejor equipo de trabajo que podría haber deseado. Gracias también a Sergio y Javier, por su amistad y entrega.

A mis profesores, en particular a Juan Pablo Zanlungo, por su comprensión y constante preocupación, por confiar en mí y alentarme en todo momento con sabiduría y prudencia.

Quiero agradecer también a Carlos Odebret, y a través suyo a SalmonChile e INTESAL, por todo el apoyo prestado. A las Asociaciones de Talleres de Redes, ATARED y ATRA, por la generosidad y confianza depositada en mi labor, en particular a Viviana Cabello, Miguel Vargas, Walther Gillibrand, Richard Medina y Luis Andrade. Asimismo,

toda mi gratitud para Alejandro Novoa (Pesca Chile) y Gonzalo Romero (PTI Cluster del Salmón).

También agradezco a las reparticiones públicas que se interesaron en esta investigación y me entregaron oportuna y diligentemente toda la información que solicité (CONAMA de las regiones de Aysén y Los Lagos, Servicio de Salud de Aysén y DIRECTEMAR Puerto Montt).

Por último, a los profesores Galo Cárdenas de la Universidad de Concepción y Luis Filun de la Universidad de Los Lagos, así como a Alex Brown y Alberto Bezama. A todos ellos mi gratitud, no sólo por los conocimientos entregados, sino por su interés, dedicación y sobre todo por la pasión con que trabajan para desarrollar conocimiento y a través de él mejorar el mundo.

Gracias nuevamente a todos, porque la experiencia y aprendizaje recogidos supera con creces el limitado alcance de este documento.

Índice de Contenidos

Capítulo 1: Presentación del Trabajo	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Objetivos	8
1.3 Alcances.....	8
1.4 Planteamiento General	9
Capítulo 2: Situación Actual	13
2.1 Descripción del Problema y Justificación del Estudio	13
2.2 Descripción de la Industria.....	14
2.3 Manejo de Lodos	18
Capítulo 3: Marco Teórico.....	20
3.1 Métodos de Análisis Multicriterio.....	20
3.2 Marco Regulador	27
Capítulo 4: Marco Metodológico.....	29
4.1 Revisión de Bibliografía y Fuentes Secundarias.....	29
4.2 Visitas a Terreno	30
4.3 Proceso de Identificación de Posibles Soluciones	31
4.4 Análisis Alternativas.....	31
4.5 Estructuración de Propuestas	31
Capítulo 5: Identificación de Soluciones	32
5.1 Manejo de Residuos	32
5.2 Disminución de Contaminantes.....	37
5.3 Subproductos	40
5.4 Síntesis	41
Capítulo 6: Análisis de Soluciones	42
6.1 Centro de Manejo de Residuos Industriales Sólidos.....	42
6.2 Fitorremediación.....	44
6.3 Tratamiento Físicoquímico	47
6.4 Tratamiento Bioquímico	48
6.5 Antifouling Mecánico.....	50
6.6 Antifouling Bacterial	52
6.7 Redes Semirrígidas	53
6.8 Redes de Cobre	55
6.9 Pintura de Quitosano-Cobre	57
6.10 Limpieza In Situ.....	58
6.11 Pintura “Biodeg”.....	60
6.12 Generación de Energía.....	61
6.13 Fabricación de Materiales.....	63
6.14 Proceso de Jerarquización de Alternativas.....	64

6.15	Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico.....	66
Capítulo 7:	Propuesta	71
Capítulo 8:	Conclusiones	74
Capítulo 9:	Bibliografía.....	75
Capítulo 10:	Anexos	78
	Anexo A: Resumen de la Situación Sanitaria de los Vertederos en la Región de Aysén.	78
	Anexo B: Glosario.....	79

Índice de Figuras

Figura 1:	Distribución de Exportaciones región de Aysén	9
Figura 2:	Instalaciones de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en la región de Aysén	11
Figura 3:	Composición de Residuos de la Industria Salmonera	12
Figura 4:	Diagrama de Centros de Cultivo	14
Figura 5:	Comparación de posibles escenarios de crecimiento considerando posible cierre Fiordo de Aysén	17
Figura 6:	Esquema de un Relleno de Seguridad.....	19
Figura 7:	Proceso de Toma de Decisiones	22
Figura 8:	Representación gráfica del método AHP	25
Figura 9:	Marco Metodológico	29
Figura 10:	Tipos de Fitorremediación	34
Figura 11:	Bio-lixiviación de minerales mediante bacterias P. Bohneri.....	36
Figura 12:	Costos de operación promedio para jaulas de cultivo.....	54
Figura 13:	Árbol de Decisión y Ordenamiento Lógico	65
Figura 14:	Árbol de decisión (Estrategia para el manejo de redes)	72
Figura 15:	Estrategias	73

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:	Lavado de redes	15
Ilustración 2:	Riles y Lodos	16
Ilustración 3:	Reparación de redes	16
Ilustración 4:	Impregnado (pintura antifouling)	17
Ilustración 5:	Imágenes (piscina de tratamiento de riles y torre de decantación): Izquierda taller de redes La Paloma, derecha taller de redes Vargas y Vargas	35

Índice de Tablas

Tabla 1:	Metales en lodos tratados.....	20
Tabla 2:	Metodologías Aplicables al Problema de Toma de Decisión.....	21

Tabla 3: Escala para Comparaciones de a Pares (AHP).....	25
Tabla 4: Costos de tratar suelos enriquecidos con metales con distintas metodologías en Estados Unidos	45

1.1 Introducción

En el contexto de las nuevas normativas internacionales de desarrollo sustentable de las empresas en armonía con el medio ambiente, se hace cada vez más necesario tomar medidas responsables respecto al manejo de los desechos provocados por cada una de las unidades productivas de la industria salmonera.

A nivel internacional cada vez son más las normas y acuerdos que buscan la adopción de prácticas con mayores estándares de responsabilidad medioambiental por parte de las empresas. De igual modo, los consumidores, en particular los europeos y norteamericanos, cada vez son más exigentes con los productos que eligen, dando gran importancia a aspectos relacionados con la responsabilidad social que exhiben las marcas que eligen. Es así que en países como Noruega (que compite directamente con la industria chilena del salmón), se han establecido plazos para la disminución drástica de contaminantes en su proceso productivo a lo largo de todas sus etapas, política que se alinea con las exigencias medioambientales de la comunidad europea.

Dada esta nueva coyuntura, el posicionamiento de la industria del salmón en Chile exige prestar atención a la trazabilidad de los desechos generados a lo largo de toda la cadena productiva, siendo de particular relevancia la problemática de los desechos provocados por la limpieza de las redes, a causa de los contaminantes que estos poseen.

Las redes jaula que mantienen confinados a los salmones en ambiente natural y las redes loberas utilizadas para evitar que lobos marinos destruyan los centros de cultivo, son afectados por microorganismos, moluscos y algas que paulatinamente van cubriendo la superficie de las redes evitando el flujo de agua en los centros de cultivo. Para retardar la proliferación de biofouling¹ sobre las redes, estas son impregnadas con pintura antiincrustante². La limpieza de redes se realiza de forma mecánica, mediante el uso de hidrolavado a presión que desprende los elementos orgánicos adheridos a la superficie, este proceso además retira parte del revestimiento químico que protege al material que sirve de sustrato. Este proceso genera un lodo constituido en un alto porcentaje de óxido cuproso, que generalmente excede los parámetros de contaminantes permitidos por las normativas medioambientales, razón por la que se los considera residuos peligrosos.

Basándose en el competitivo escenario internacional, así como en las actuales prácticas de manejo de residuos utilizadas por la industria salmonicultora nacional (especialmente la vecindada en la región de Aysén) y los cambios en la normativa que

¹ El biofouling o fouling, se puede definir como la acumulación no deseada de depósitos vivos, sobre una superficie artificial sumergida o en contacto con agua de mar. (Ver Anexo B: Glosario)

² Antifouling o Antiincrustante: Producto que contiene biocidas para prevenir la adherencia y el crecimiento de organismos, microorganismos, flora y fauna marina en superficies sujetas a inmersión. (Ver Anexo B: Glosario)

rige la actividad acuícola (RAMA³) concretados recientemente, es que se buscan alternativas a los actuales métodos de control de biofouling, limpieza de redes y tratamiento de residuos, para generar una estrategia sustentable capaz de mejorar el escenario actual. Cada una de las soluciones posibles involucra un cambio en los procesos productivos de distintos agentes participantes del mercado o inversiones a diversas escalas, las que deberán ser analizadas detalladamente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Identificar y analizar diferentes estrategias orientadas a la disminución del impacto ambiental de los contaminantes provocados por las faenas de limpieza de redes salmoneras en la región de Aysén para, a partir de ellas, sugerir líneas de acción afines con el desarrollo de la industria.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i. Identificar métodos que permitan el manejo sustentable de los lodos resultantes del proceso de limpieza de redes.
- ii. Generar parámetros cualitativos y cuantitativos que permitan el análisis y comparación de las estrategias identificadas.
- iii. Generar una propuesta de líneas de acción factibles para enfrentar el problema de la industria salmonera de la región de Aysén.

1.3 Alcances

El presente documento busca proponer estrategias de acción al actual proceso de manejo de redes en la industria chilena del salmón, en particular aquella emplazada en la región de Aysén.

Las consecuencias ambientales que tiene el actual sistema de manejo de redes, basado en la utilización de pinturas anti-incrustantes que contienen óxido cuproso como principal elemento activo, hacen que sea urgente la búsqueda de alternativas viables y ambientalmente sustentables que replacen o mejoren, la tecnología que se utiliza hoy en día. Es así que esta memoria identifica y analiza un determinado número de alternativas posibles al sistema de manejo de redes y residuos actual para, en base a ello, proponer estrategias que puedan ser utilizadas por la industria en uno o más de los eslabones de la cadena productiva que la caracteriza.

³ CHILE, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca. 2001, Decreto Supremo N°320: Reglamento Ambiental para la Acuicultura. 24 de Agosto de 2001, Modificación Decreto Supremo N° 86, 8 de Enero de 2008, que aprobó el Reglamento Ambiental para la Acuicultura.

1.4 Planteamiento General

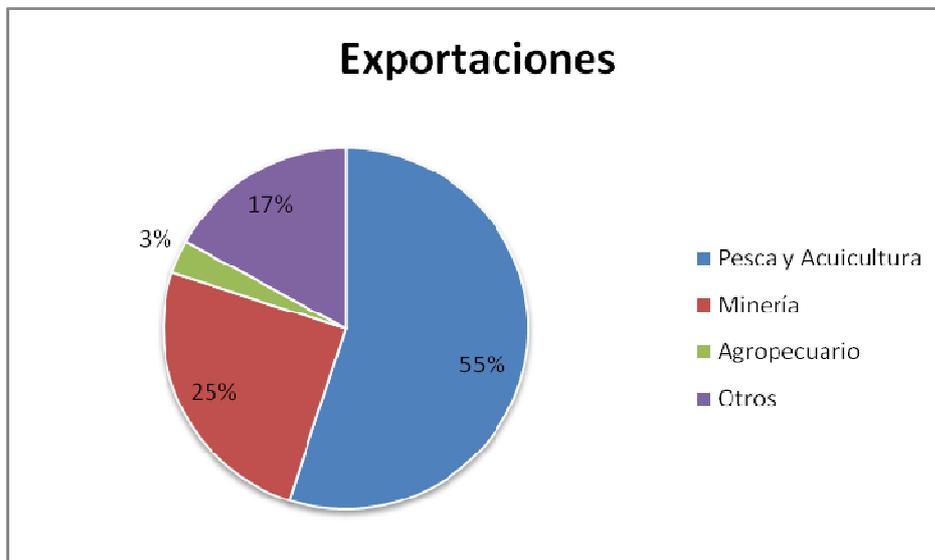
1.4.1 Caracterización de la Región

La locación analizada donde se presenta la problemática que aborda el presente trabajo de memoria es la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, una de las zonas más alejadas y de difícil acceso del país.

La abundancia y diversidad de recursos naturales que posee, así como su complejidad geográfica, escasa población e incipiente desarrollo económico, son factores que la caracterizan y proponen desafíos tendientes a proteger el valioso patrimonio ambiental que ella presenta, ante el crecimiento industrial que enfrenta en la actualidad y a las proyecciones futuras.

El tardío poblamiento de la región, que se inició recién durante el siglo XX, sumado a la vastedad y complejidad geográfica de su territorio, han contribuido a que su densidad poblacional sea la más reducida del país, sin embargo, el número de habitantes aumentó un 13.7% durante el último periodo inter censal, lo que da clara muestra del crecimiento económico experimentado en la zona. La falta de servicios básicos e infraestructura en los centros poblados, asociado a la dificultad de acceso a las zonas aisladas y a la escasez de actividades económicas apropiadas, ha provocado la migración de los habitantes rurales hacia centros urbanos en la misma región, originando un desequilibrio en la distribución territorial de la población, que se concentra en un 77.6 % en las ciudades de Coyhaique y Puerto Aysén⁴.

Figura 1: Distribución de Exportaciones región de Aysén



Fuente: Elaboración propia, en base a los datos obtenidos desde el documento Política Ambiental de la Región de Aysén.

⁴ CHILE, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Sistema Nacional de Información Ambiental. Política Ambiental para la Región de Aysén. [en línea] <http://www.sinia.cl/1292/article-26206.html> [Agosto de 2007]

La actividad económica, por su parte, ha experimentado durante los últimos años un crecimiento superior que el de la mayoría de las regiones del país⁵, lo que da cuenta del gran potencial que la región presenta en términos de desarrollo productivo.

En lo que respecta a las exportaciones, el sector pesca y acuicultura (en particular la industria salmonera) son los responsables de la mayor parte de ellas en la zona, seguidas desde lejos por las del sector minero y luego por el agropecuario, que representa una porción muy pequeña de las exportaciones regionales (ver Figura 1).

1.4.2 Manejo de Residuos

El crecimiento que ha experimentado la región de Aysén, tanto en la cantidad de habitantes como en el número y tamaño de las industrias avicuinadas, hace urgente el desarrollo de políticas claras en torno al manejo de residuos propios de las industrias, de modo que éstos sean tratados de forma que no afecten el ecosistema de la región. Aún no se ha llegado a una solución a nivel gubernamental respecto al manejo de residuos industriales y residenciales en la región de Aysén.

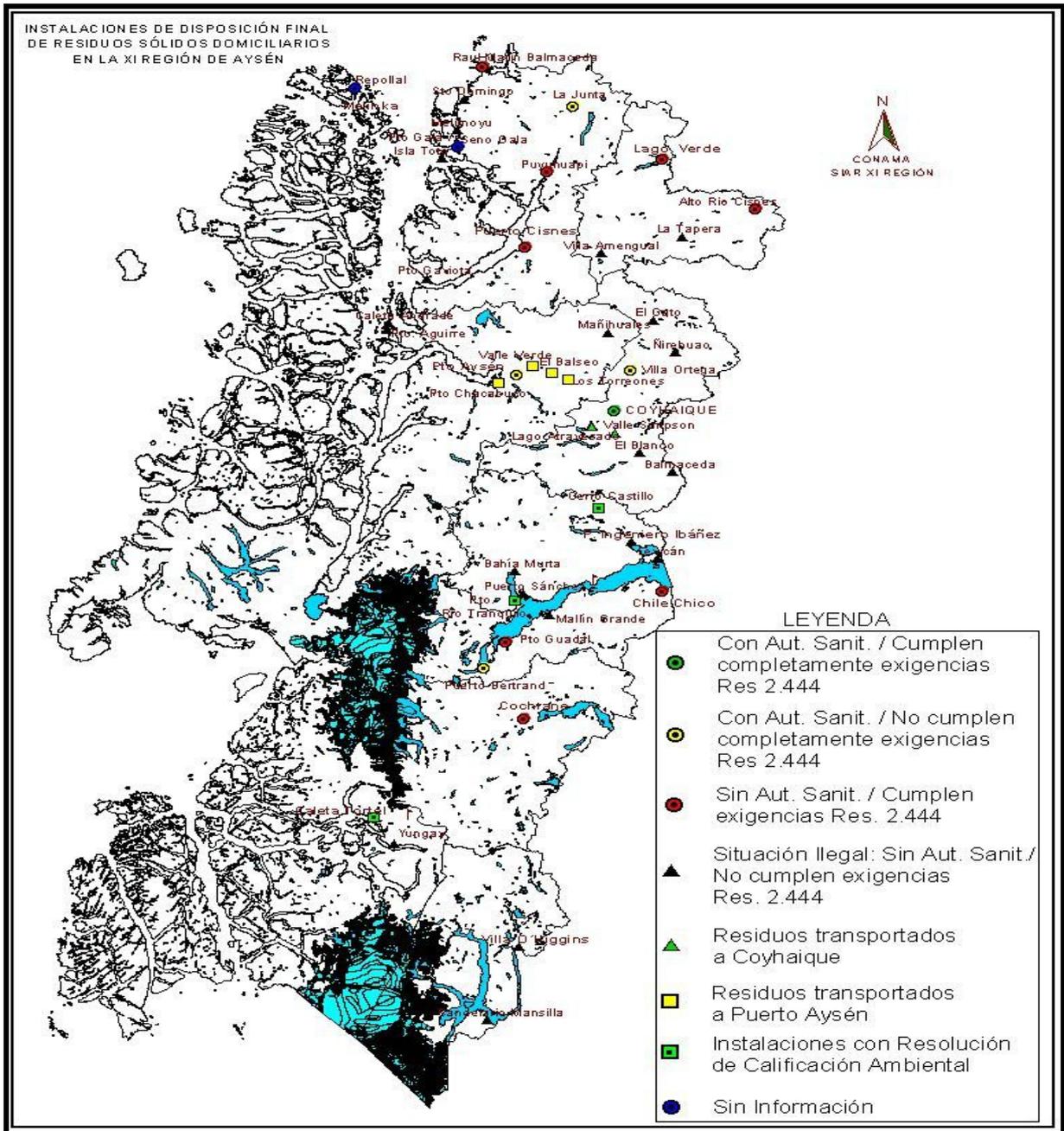
En la actualidad, como se muestra en la Figura 2, gran parte de los desechos industriales son depositados en vertederos que no cuentan con las condiciones establecidas por la actual normativa del sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA), y que exige un sistema de control de líquidos percolados y emisiones de gases en base a la utilización de geosintéticos. Por otra parte, prácticamente la totalidad de las zonas de desecho ilegales utilizadas por los empresarios de la zona, por no haber sido diseñados dentro de un programa de desarrollo sustentable de sistemas de control de desechos, se encuentran saturados, sin embargo, a la fecha reciben residuos sin control por parte de las autoridades sanitarias a cargo de los municipios involucrados. Debido a lo anterior se ha podido observar la proliferación de una gran cantidad de vertederos ilegales en la región, los que no tienen ningún tipo de control⁶ (ver Anexo A: Resumen de la Situación Sanitaria de los Vertederos en la Región de Aysén).

El crecimiento experimentado por la industria salmonera en la región propone retos adicionales relacionados con el manejo de los residuos industriales generados en las distintas etapas que involucra el proceso productivo (ver Figura 3).

⁵ CHILE, Ministerio del Interior, Subsecretaría de Desarrollo Administrativo. 2005, Informe de Competitividad Regional 2003. [En línea], <http://hdl.handle.net/1950/2147> [Septiembre de 2007].

⁶ En base a las entrevistas sostenidas con Christian Betancourt y Marcela Bahamondes en la CONAMA de la región de Aysén y con Javier Alarcón y Juvencio Alarcón en el Servicio de Salud de la región de Aysén (Coyhaique, 18 de Julio, 2007)

Figura 2: Instalaciones de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en la región de Aysén



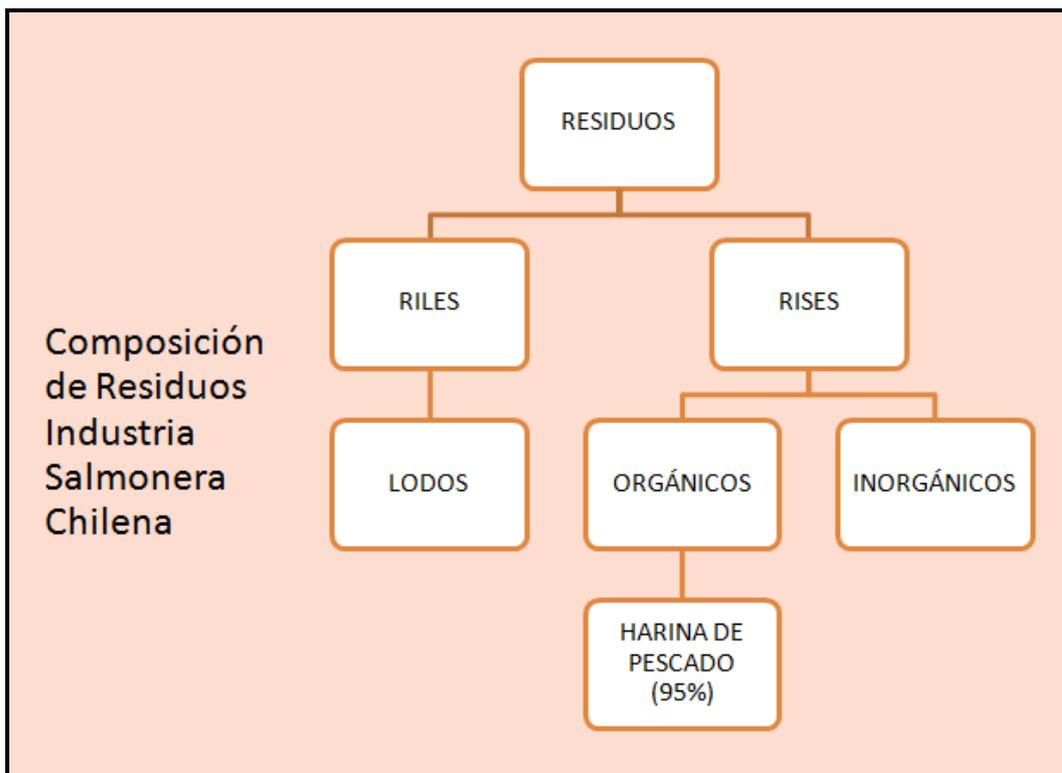
Fuente: CONAMA región de Aysén.

Sin embargo, las políticas públicas de los municipios de la zona y los intereses comerciales de privados no han llegado a un consenso que permita una adecuada comunicación que permita generar soluciones en torno al manejo tanto de residuos sólidos (RISÉS⁷), como de los lodos resultantes del tratamiento de RILES⁸, los que

⁷ Residuos Industriales Sólidos (ver Anexo B: Glosario).

requieren de un tratamiento distinto que los de origen residencial debido a su composición, por lo que las instalaciones exigen niveles mayores de inversión. Existen nociones generales referentes al tratamiento de lodos provenientes de las actividades de las empresas criadoras de salmones, lo que se ve reflejado en políticas o planes que, sin embargo, no abordan la totalidad de la problemática con una actitud acorde con las exigencias medioambientales que actualmente se manejan en el país y se basan en el conocimiento adquirido por las autoridades de la región de Los Lagos.

Figura 3: Composición de Residuos de la Industria Salmonera



Fuente: Elaboración propia

Dadas las condiciones geográficas de la región, el manejo de desperdicios de la zona y el alto costo que implica el traslado de los residuos a lugares habilitados para estos fines, es que resulta urgente el estudio de alternativas conducentes a disminuir los efectos contaminantes de los procesos del sistema productivo de las salmoneras, en particular el referido a los lodos resultantes del proceso de limpieza de redes, los que revisten una mayor complejidad debido a las características de los productos contaminantes que presentan.

⁸ Residuos Industriales Líquidos (ver Anexo B: Glosario).

Capítulo 2: Situación Actual

La competitividad de la industria salmonera chilena la ha posicionado en un lugar relevante dentro del mercado internacional, lo que ha incidido de manera importante en el crecimiento que esta ha experimentado en los últimos años. Este crecimiento es observable no sólo en cifras, sino también en la ampliación y densidad de sus zonas de operación, estando extendida en la actualidad entre las regiones de La Araucanía y de Magallanes.

La complejidad territorial que enfrenta la porción de la industria salmonera emplazada en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, presenta múltiples desafíos. Uno de ellos, y fundamental, es el manejo de desperdicios generados a partir de las diversas etapas del proceso productivo, esto debido a que en la región no se ha llegado a una solución sobre el manejo de residuos industriales y residenciales⁹.

2.1 Descripción del Problema y Justificación del Estudio

Los centros de cultivo de la industria salmonera consisten en sistemas de balsas emplazados en el mar los que, en su mayoría, utilizan un sistema de redes recubiertas con productos antifouling (que evitan la adherencia de algas y moluscos) para la protección de dichos módulos de cultivo¹⁰. Estas redes son retiradas para ser lavadas e impregnadas (y reparadas en caso de ser necesario) de manera periódica según el plan de manejo establecido por cada empresa para este fin. Durante la etapa de lavado del proceso se producen RILES (residuos industriales líquidos) que luego de ser tratados generan lodos residuales compuestos principalmente por material orgánico contaminado con óxidos de cobre, que es el principal agente activo de las pinturas antifouling utilizadas en la industria salmonera nacional y que tiene características biocidas y gran estabilidad, lo que lo convierte en un compuesto tóxico y considerado peligroso por la autoridad ambiental y sanitaria de la región de Aysén.

Dadas las condiciones territoriales y de manejo de desperdicios de la zona, así como el alto costo que implica el traslado de los residuos a lugares habilitados para estos fines, es que resulta urgente el estudio de alternativas que resuelvan el problema, en particular el referido a los lodos resultantes del proceso de limpieza de redes y que reviste una mayor complejidad debido a los productos contaminantes que presentan.

A partir de lo anterior, por medio del presente estudio se busca identificar y evaluar posibles soluciones para el manejo de lodos residuales del proceso de limpieza de redes de la industria salmonera en la región de Aysén. Problema de principal interés para los diversos agentes que interactúan en torno a la industria salmonera, las organizaciones de protección medioambiental, la comunidad de la zona y el Estado, representados por la CONAMA (Comisión Nacional de Medioambiente), SERNAPESCA (Servicio Nacional de Pesca), entre otros.

⁹ De acuerdo a lo expresado en la entrevista realizada por Tomás Budinich a Jimena Silva (CONAMA, Aysén) en Abril del 2007.

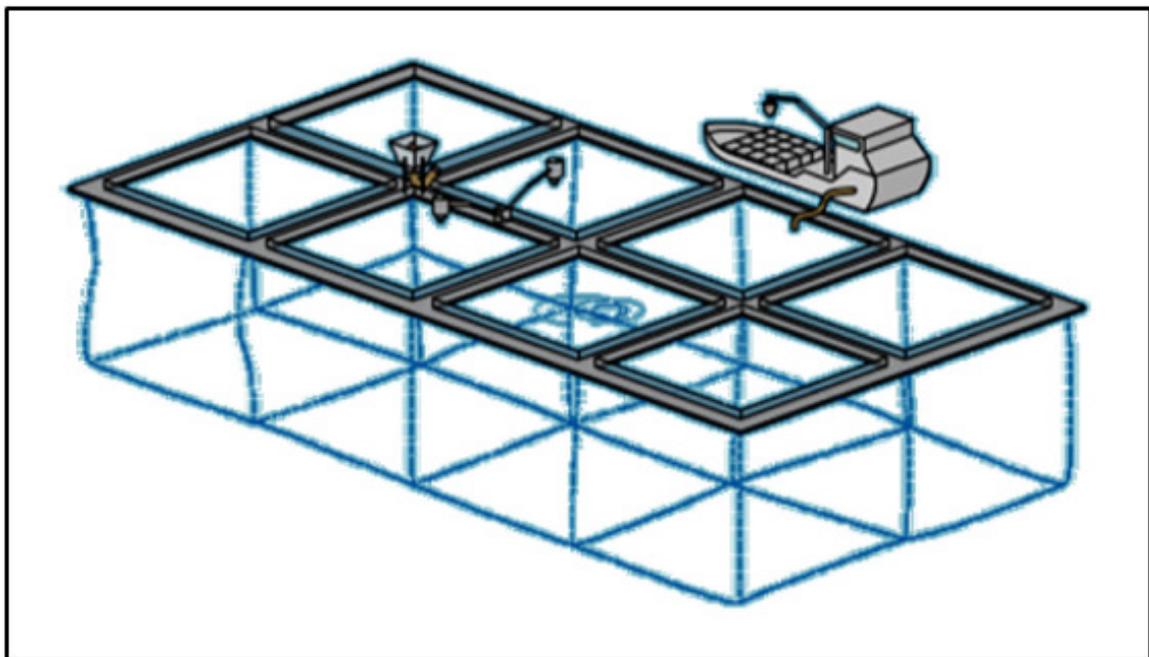
¹⁰ Las redes de las jaulas de cultivo deben mantener el tamaño de su abertura, ya que tienen que permitir el traspaso de fluidos, para asegurar la salud de los salmónidos.

2.2 Descripción de la Industria

2.2.1 Centros de Cultivo

El cultivo del salmón en el mar se desarrolla en balsas jaulas flotantes (Figura 4). Estas estructuras son capaces de soportar fuertes vientos, oleajes y corrientes, comunes en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, principales zonas del país donde se inserta la salmonicultura¹¹.

Figura 4: Diagrama de Centros de Cultivo



Fuente: www.salmonchile.cl

En la actualidad, prácticamente la totalidad de los centros de cultivo utilizan redes tradicionales, tanto para jaulas como para redes loberas, en la mayor parte de los casos estas se impregnan con pinturas antifouling tradicionales para disminuir su tasa de cambio (situación que provoca estrés en los salmónidos y que implica un alto costo).

Sin embargo, existen esfuerzos por parte de algunas empresas productoras y centros de investigación, quienes están buscando alternativas para la fabricación de jaulas y otras técnicas menos nocivas para el medio ambiente. Es el caso de Pesca Chile, que desde hace algunos años no utiliza pinturas antifouling en sus redes y hoy se encuentra probando redes semirrígidas y la técnica de limpieza in-situ en sus centros.

¹¹ SALMON CHILE, Ciclo de Producción. [En línea], <http://www.salmonchile.cl/frontend/seccion.asp?contid=39&secid=3&secoldid=3&subsecid=15&pag=1>

2.2.2 Talleres de Redes

Los talleres de redes son empresas dedicadas a prestar servicios de limpieza, reparación e impregnación, también algunas realizan traslado y estiba de redes en centros de cultivo.

En la región de Aysén, actualmente se encuentran operando 5 talleres de redes, todos ellos cuentan con un sistema de manejo de RILES (condición necesaria para la aprobación de las operaciones por parte de SEIA¹²). Estos además, se encuentran recientemente agrupados en ATRA A.G.¹³ y se han sumado al APL¹⁴ que los Talleres de Redes de la X Región ya habían suscrito. De este modo, los talleres de red de la XI Región, buscan hacer frente en conjunto a los serios problemas de índole medioambiental que han tenido en el pasado y que, entre otras cosas, los han llevado a tener que pagar importantes multas e incluso suspender su funcionamiento en algunos casos.

De los 5 talleres que hoy se desempeñan en la región, 2 lo hacen en el sector de Puerto Cisnes, mientras que los 3 restantes operan en la zona de Puerto Aysén y Puerto Chacabuco.

El proceso productivo de estas empresas, salvo pequeñas variaciones, consta de tres etapas fundamentales:

2.2.2.1 Limpieza

Las redes son lavadas (Ilustración 1), resultando como desechos residuos orgánicos sólidos (choritos y algas principalmente) y RILES¹⁵.

Ilustración 1: Lavado de redes



Fuente: Archivo fotográfico personal.

¹² Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental dependiente de la CONAMA regional.

¹³ Asociación de Talleres de Redes de Aysén.

¹⁴ Acuerdo de Producción Limpia.

¹⁵ Residuos Industriales Líquidos

Los residuos orgánicos resultantes son almacenados para luego ser dispuestos en el relleno sanitario correspondiente.

Los riles en tanto, van a dar a una piscina para su tratamiento. Luego, por medio de un proceso fisicoquímico, el material particulado precipita, obteniéndose agua, que es devuelta a los cauces naturales, o bien drenada a las napas subterráneas, y lodos, que son almacenados para su posterior envío a la X región, para su disposición final (Ilustración 2).

Ilustración 2: Riles y Lodos



Fuente: Archivo fotográfico personal.

2.2.2.2 Reparación

Una vez limpias, las redes son reparadas y armadas de manera tal que cumplan con los requerimientos del centro de cultivo al que pertenecen (Ilustración 3). Este proceso es completamente manual y se ajusta a los requerimientos del cliente, lo realizan cuadrillas de trabajo especializadas en la confección y reparación de redes para centros de cultivo.

Ilustración 3: Reparación de redes



Fuente: Archivo fotográfico personal.

2.2.2.3 Impregnado:

Las redes de los centros de cultivo que requieran ser impregnadas, pasan a esta etapa, donde se les añade pintura antifouling mediante un proceso de inmersión, luego de lo cual son secadas para su posterior empaquetamiento y despacho.

Ilustración 4: Impregnado (pintura antifouling)

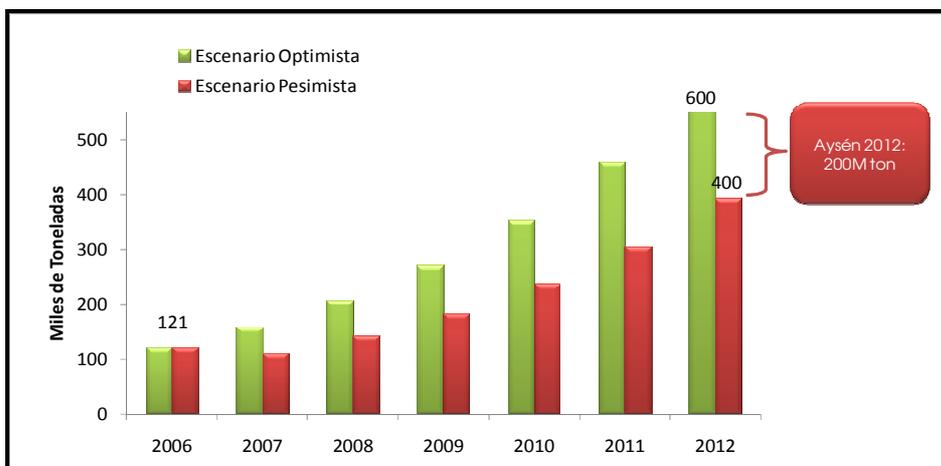


Fuente: Archivo fotográfico personal.

2.2.3 Proyecciones de la Industria

Desde el 1993, la tasa de crecimiento de la industria salmonera en la región de Los Lagos ha sido de un 18% anual, mientras la del sector en la región de Aysén ha estado cercana al 31%. En base a esto y al crecimiento estimado para la actividad mundial que proyecta crecer a razón de 2 millones de toneladas anuales hasta el 2030, además de la coyuntura propia de la industria, que indica que en la región de Los Lagos ya no quedan más concesiones acuícolas por otorgar, se ha calculado que para el 2012, la industria salmonera producirá alrededor de 1.5 millones de toneladas, con 600 mil de ellas provenientes de la región de Aysén.

Figura 5: Comparación de posibles escenarios de crecimiento considerando posible cierre Fiordo de Aysén



Fuente: Estudio de Ordenamiento Territorial de la Industria del Salmón en las Comunas de Aysén y Cisnes: Levantamiento de la Situación Actual y Potencialidades de Crecimiento.

Bajo este escenario, se espera que la región de Aysén el año 2012 alcance una participación cercana al 40%, que es la predicción hecha por la industria, y el siguiente año llegando al límite de las concesiones que SERNAPESCA espera que se otorguen como máximo¹⁶.

Durante el año 2004, la empresa Ingeniería Alemana S.A. estimó la cantidad anual de lodos producidos por los talleres de redes de la región de Aysén en 50 toneladas por año. Siguiendo las estimaciones de crecimiento de un 30% aproximadamente para la industria en la zona, hace que para el año 2012 esta cantidad supere las 530 toneladas al año de residuos considerados peligrosos (lodos resultantes del lavado de redes)¹⁷.

2.3 Manejo de Lodos

Debido al serio problema de manejo de residuos existente en la Región de Aysén y a disposiciones impuestas por la autoridad sanitaria local, en conocimiento de las características particulares de los lodos provenientes del proceso de lavado de redes, se ha establecido que estos no pueden depositarse en rellenos sanitarios o vertederos industriales de la región, debido a que son considerados residuos peligrosos. Siendo la única alternativa para disponer estos desechos en la zona, la creación de un monorrelleno¹⁸ que cuente con membrana impermeabilizante y que posea techo, esto último corresponde a una exigencia adicional para protegerlo de las lluvias y evitar el anegamiento del mismo.

Al tratarse de residuos considerados peligrosos¹⁹, estos no pueden ser almacenados o trasladados sin la autorización de la autoridad sanitaria respectiva, razón por la cual los Talleres de Redes de Aysén deben enviarlos periódicamente a la X región, donde existen rellenos industriales habilitados para disponerlos de manera definitiva. Este traslado y disposición final, en la actualidad tiene un costo para las empresas de la zona de aproximadamente 40.000 \$/m³, siendo un punto crítico para su desarrollo y expansión.

Si bien en la actualidad cada taller cuenta con un sistema de tratamiento de riles aprobado por la autoridad zonal, en muchos casos no operan de manera eficaz, produciéndose fugas de RILES contaminados o valores de minerales por sobre lo que permite la norma en los efluentes. Esto hace urgente el buscar alternativas que permitan un mayor control sobre el proceso, de modo tal que se eviten riesgos medioambientales.

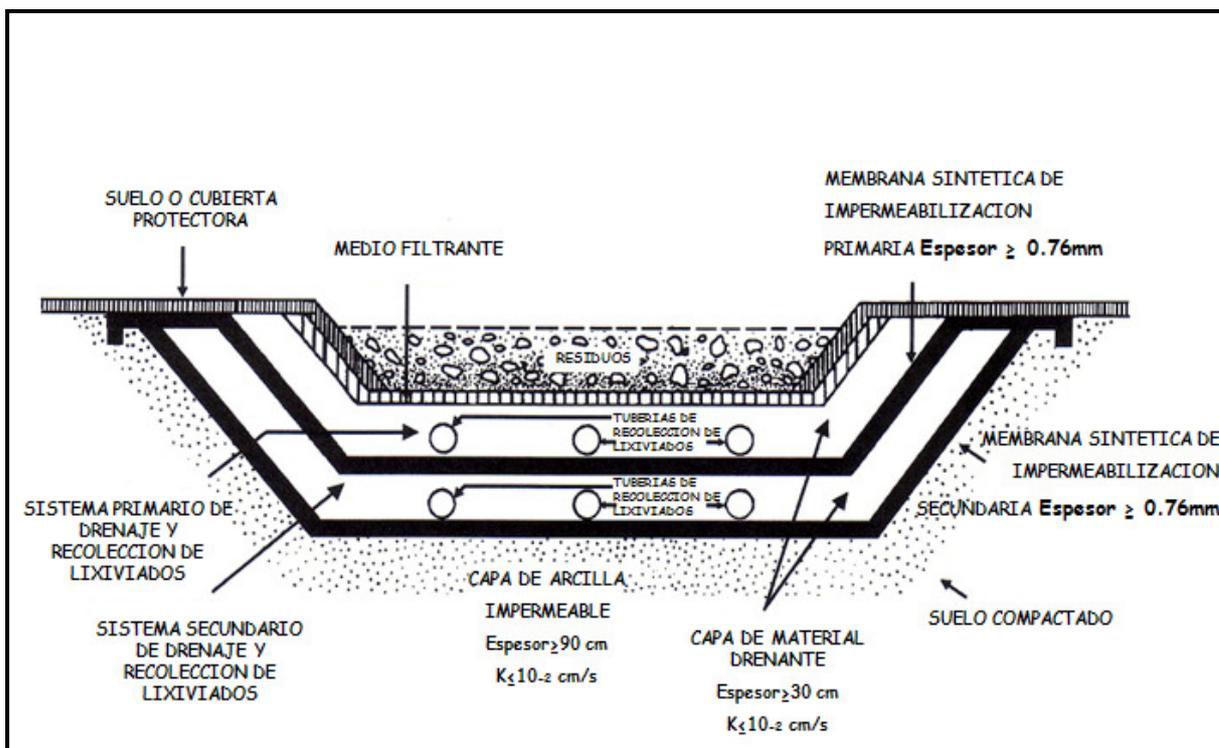
¹⁶ KMT CONSULTORES, 2007. Estudio de Ordenamiento Territorial de la Industria del Salmón en las Comunas de Aysén y Cisnes: Levantamiento de la Situación Actual y Potencialidades de Crecimiento.

¹⁷ INGENIERIA ALEMANA S.A, 2005. Estudio de factibilidad del centro de manejo de residuos industriales Sólidos-Puerto Aysén. Proactiva Medio Ambiente.

¹⁸ Relleno sanitario habilitado para recibir exclusivamente esta clase de lodos, los que de ninguna manera podrían mezclarse con otros residuos.

¹⁹ DS N°148. Artículo 18. Códigos RP: I.12, II.4, II.5.

Figura 6: Esquema de un Relleno de Seguridad



Fuente: Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos.

Durante el año 2005 la COREMA²⁰ de la región de Aysén recibió denuncias de vertimientos contaminantes a las aguas del río Cisnes. A raíz de estas denuncias se solicitó a los integrantes del COFA de la región de Aysén la fiscalización de los Talleres de Redes ubicados en el sector, solicitando luego a la Universidad de Concepción la realización de estudios químicos y bioensayos sobre muestras de lodos, sedimentos, efluentes y cauces de agua en torno a las empresas Bams y Segá, ambas emplazadas en el sector de Puerto Cisnes, encontrándose en ellos niveles de metales pesados que superaban ampliamente la norma en varios de los casos analizados y obteniéndose valores particularmente altos para el caso de cobre presente en las muestras. Además, el estudio concluyó que al realizar bioensayos con las muestras tomadas, los lodos tratados inhibieron la germinación de todas las especies estudiadas. A continuación se presenta la tabla de resultados de las muestras de lodos tratados analizadas por el laboratorio EULA.

²⁰ Comisión Regional del Medio Ambiente.

Tabla 1: Metales en lodos tratados

Metal	Bams	Sega	Reg. Lodos aguas servidas Art.22	Pauta canadiense		Países Desarrollados	
	Lodos	Lodos	Valor máx.	ISQGs(TEL)*	ISQGs(PEL)**	Valor min.	Valor máx.
Cadmio	0,56	0,8	8	0,6	3,5	0,6	9,6
Cobre	18165,7	42430,1	1000	36	197	36	270
Cromo	22,2	110,1	-	37	90	37	370
Cromo VI	< 0,125	0,25	-	-	-	-	-
Hierro	17907,2	16937,3	-	-	-	-	-
Mercurio	< 0,0125	0,0152	10	0,17	0,49	0,15	1
Plomo	26,5	87,2	300	35	91	35	530
Zinc	1252	2216,8	2000	123	315	123	480

* ISQGs (TEL): concentración bajo la cual se espera que los efectos biológicos adversos ocurran raramente (TEL)

** ISQGs (PEL): concentración bajo la cual se espera que los efectos biológicos adversos ocurran frecuentemente (PEL)

Fuente: Informe EULA N°937/2005

Capítulo 3: Marco Teórico

La identificación y análisis de alternativas para el problema de manejo de lodos resultantes del proceso de limpieza de redes de la industria salmonera y posterior determinación de propuestas que aborda el presente documento, representa un problema de solución compleja a causa, por una parte, de la diversidad de alternativas posibles y las diferencias que se observan entre ellas (nivel en el que es posible su aplicación, estado de la tecnología, etc.), y por otra parte, a causa de la gran cantidad de criterios involucrados en este análisis, y que dicen relación básicamente con aspectos de origen normativo (leyes, reglamentos, acuerdos, etc.) y en criterios de factibilidad técnica y económica.

Es por esto que se ha establecido para su ejecución, la utilización de métodos de análisis multicriterio para la toma de decisiones, lo que a su vez debe ser complementado con el marco legal vigente, de manera que se asegure que la decisión propuesta esté de acuerdo a lo exigido por la normativa que actualmente rige en el país y en particular sobre la industria salmonicultora nacional.

3.1 Métodos de Análisis Multicriterio

Un método de análisis multicriterio es un procedimiento que, a diferencia del tradicional análisis costo-beneficio utilizado para tomar decisiones relativas a la ejecución de proyectos, contempla situaciones donde los puntos de vista no necesariamente pueden reducirse a términos monetarios, los puntos de vista pueden expresarse en diferentes

dimensiones y escalas, y no necesariamente se obtiene una puntuación global de las alternativas bajo análisis.

3.1.1 Teoría de Toma de Decisiones

“La toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos”²¹.

En efecto, de manera generalizada, un proceso de toma de decisión puede entenderse como la elección de “lo mejor” entre “lo posible”, donde “lo mejor” corresponde al objetivo que se persigue por el medio del análisis de criterios, mientras “lo posible” describe al conjunto de soluciones factibles que se posee. A partir de lo anterior, es posible distinguir cuatro diferentes maneras de abordar un problema de toma de decisión, las que dependen de la cantidad de criterios definidos para dar solución al problema y las características propias del conjunto de alternativas de solución con que se cuenta. Las metodologías utilizadas para cada uno de los casos descritos son las que se muestran en el siguiente esquema.

Tabla 2: Metodologías Aplicables al Problema de Toma de Decisión

Problema de Toma de Decisión		"Lo Mejor"	
		Único Criterio	Varios Criterios
"Lo Posible"	Conjunto Continuo	Optimización Clásica	Optimización Multiobjetivo
	Conjunto Discreto	Problema Clásico de Decisión	Análisis Multicriterio Discreto

Fuente: MÉNDEZ S., M. 2003. **Análisis Multicriterio Discreto para la Formulación y Priorización de Proyectos de Infraestructura Educativa**. Memoria de Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Existen tres metodologías fundamentales en torno a la toma de decisiones²²:

- a) Teoría de la Decisión con Aleatoriedad: Analiza la toma de decisiones en presencia de aleatoriedad en los resultados, es decir, cuando las consecuencias de una decisión no son previamente determinables (azar).
- b) Decisión Multicriterio: La toma de decisiones se encuentra sujeta a la resolución de varios objetivos a la vez.

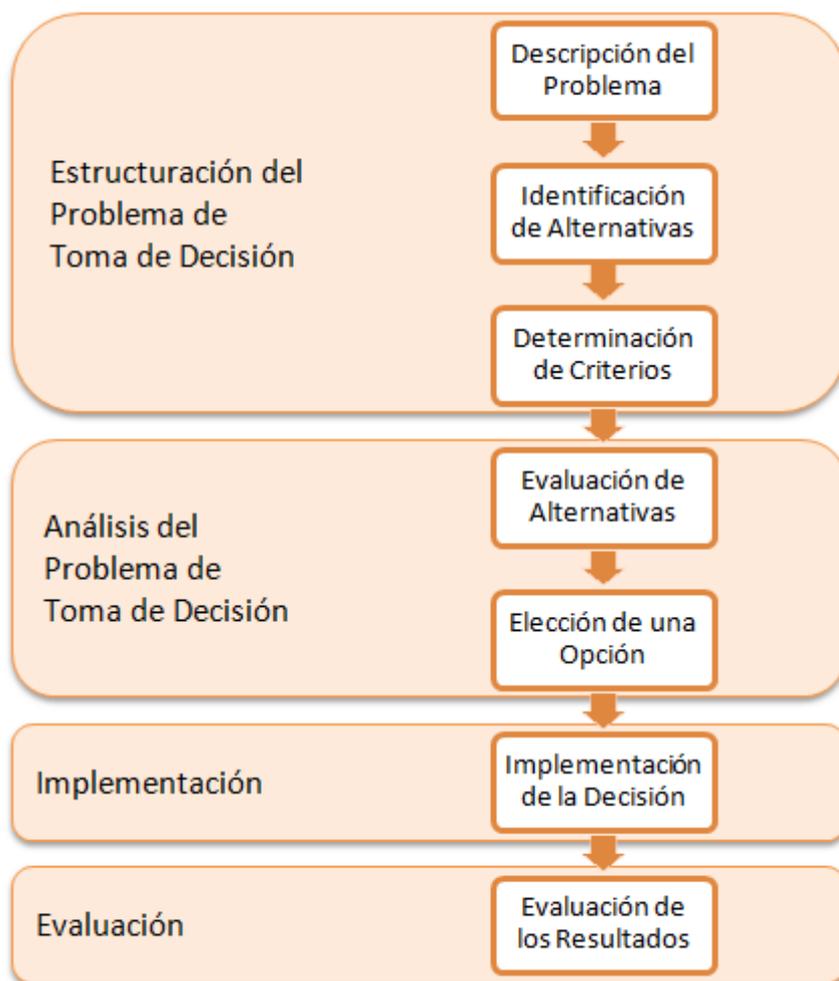
²¹ Herbet Simon, “The New Science of Management Decision”, Harper and Row, New York, 1960.

²² OYARCE S., C. 2005. **Análisis Multicriterio Discreto para la Evaluación de Alternativas de Solución a Proyectos Viales Urbanos**. Memoria de Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

- c) Teoría de Juegos: Las decisiones presentan interdependencia con aquellas que adoptan los otros participantes, pudiendo variar el resultado de la propia decisión en presencia de cambios en las que estos otros elijan.

En relación al proceso de toma de decisiones, en él es posible distinguir cuatro etapas fundamentales, compuestas a su vez por los siguientes pasos (ver Figura 7)²³:

Figura 7: Proceso de Toma de Decisiones



Fuente: Elaboración propia en base a documentación bibliográfica.

- a) Estructuración del problema de toma de decisiones:

- Definición del Problema: es el paso inicial para la toma de decisiones, su correcta definición es determinante para alcanzar los objetivos que se persiguen.

²³ MATURANA O., D. 2006. Criterios de Selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico. Aplicación en la selección de personal para la Empresa Exotic Foods S.A.C. Monografía para optar el Título de Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad De Ciencias Matemáticas. Capítulo II.

- Identificación de Alternativas: será a partir de estas alternativas que se efectuará la toma de decisión, por lo que es fundamental encontrar opciones apropiadas al problema.
 - Determinación de Criterios: estos corresponden a las características que los decisores y/o expertos consideran más relevantes para evaluar las alternativas. Existen dos tipos de criterios: cualitativos y cuantitativos.
- b) Análisis del problema de toma de decisiones:
- Evaluación de Alternativas: depende del método de evaluación, considerando que la evaluación se hace en base a los juicios y a la experiencia del decisor, para el caso de tener criterios cualitativos; y en base a hechos y/o datos históricos para el caso de tener criterios cuantitativos.
 - Elección de una Opción: en función de la evaluación o análisis de las alternativas, se obtiene una con mejor perspectivas que otras y que por tanto será electa por sobre las restantes.
- c) Implementación de la decisión.
- d) Evaluación de los resultados obtenidos.

3.1.2 Técnicas de Decisión Multicriterio

Se entiende por Técnicas de Decisión Multicriterio el conjunto de herramientas y procedimientos utilizados en la resolución de problemas de decisión, en los que intervienen diferentes criterios, generalmente en conflicto²⁴.

La Decisión Multicriterio puede entenderse como una optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decisor. De esta manera, matemáticamente es posible formularla de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{Max } F(x) \\ & x \in X \end{aligned}$$

donde:

- x Es el vector $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ de las variables de decisión. El problema de decisión es el de asignar los "mejores".
- X Es la denominada región factible del problema (el conjunto de posibles valores que pueden tomar las variables)
- $F(x)$ Es el vector $[f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]$ de las p funciones objetivo que recogen los criterios u objetivos simultáneos del problema.

Los problemas de decisión multicriterio con un conjunto discreto de alternativas pueden dividirse en:

²⁴ MELLA T., S. Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva.

- Métodos de Agregación, donde las preferencias se modelan por medio de una función de valor que puede ser de tipo directa (MUAT²⁵) o jerárquica (AHP²⁶).
- Métodos basados en relaciones de orden, los que las preferencias se modelan a través de un sistema de relaciones binarias: Métodos de Superación (MS).

3.1.3 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El proceso analítico jerárquico (AHP), es una metodología de análisis multicriterio que permite descomponer estructuras complejas en sus componentes, ordenando estas variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar un orden basado en sus prioridades.

Esta metodología propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, de la cual destacan tres principios básicos:

- El principio de la construcción de jerarquías
- El principio del establecimiento de prioridades
- El principio de la consistencia lógica

Para determinar la mejor decisión, el método requiere:

- Determinar el objetivo principal
- Jerarquizar el problema de decisión
- Realizar una comparación pareada de criterios y alternativas que permita priorizar
- Analizar y sintetizar los datos obtenidos.

Para representar gráficamente la metodología AHP, se debe considerar los siguientes aspectos:

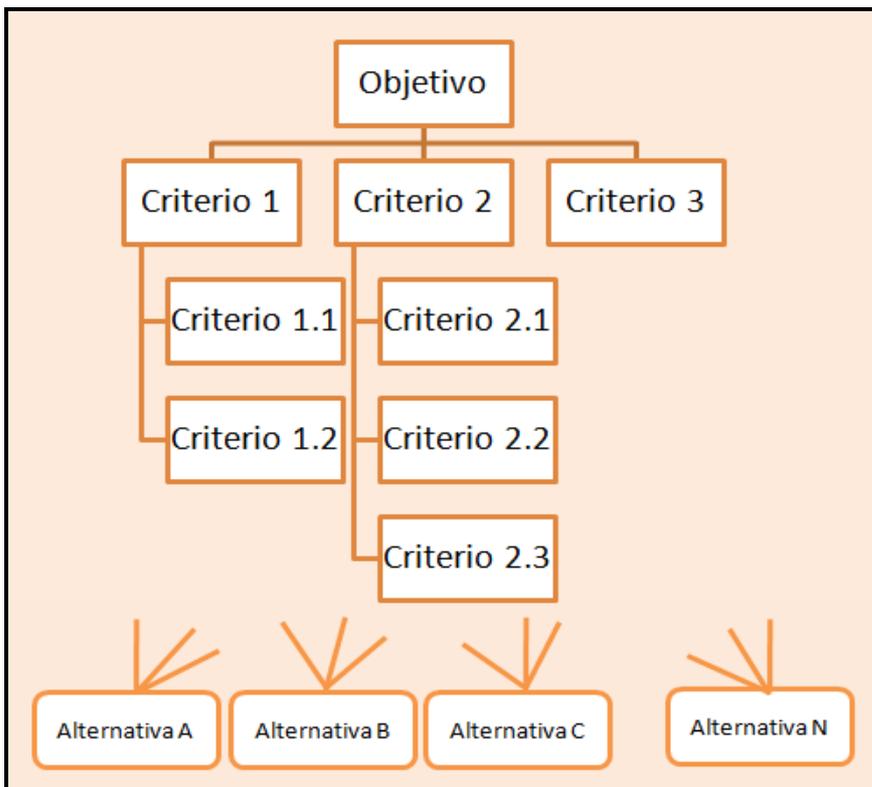
- Objetivo que se desea alcanzar
- Criterios que definen el objetivo principal
- Subcriterios en los que es posible descomponer los criterios previamente definidos
- Alternativas propuestas para la solución del problema

Es importante considerar que los elementos de un mismo nivel de la jerarquía deben ser de un orden de magnitud similar, para que sean efectivamente comparables entre sí.

²⁵ Teoría de Utilidad Multiatributo

²⁶ Proceso Analítico Jerárquico.

Figura 8: Representación gráfica del método AHP



Fuente: Elaboración propia en base a documentación bibliográfica.

Una vez definidos los elementos anteriormente descritos, se debe realizar el cálculo de prioridades, lo que se realiza comparando de a pares los criterios establecidos. Para comparar los elementos se forma una matriz que contenga las comparaciones realizadas para todo par de criterios de acuerdo a la forma A es x veces B, donde x corresponde a un valor de comparación basado en la escala fundamental para comparaciones de a pares, desarrollada por Thomas Saaty (ver Tabla).

Tabla 3: Escala para Comparaciones de a Pares (AHP)

Intensidad de importancia relativa	Definición (i respecto a j)	Valores	Numéricos
		a_{ij}	a_{ji}
1	Igual importancia	1	1
2	Intermedia	2	1/2
3	Moderadamente más importante	3	1/3
4	Intermedia	4	1/4
5	Más importante	5	1/5
6	Intermedia	6	1/6
7	Mucho más importante	7	1/7
8	Intermedia	8	1/8
9	Extremadamente más importante	9	1/9

Fuente: Elaboración propia en base a documentación bibliográfica.

Una vez que se ha construido el modelo jerárquico, en donde se incorporen los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión en cuestión y se han ingresado los juicios correspondientes a la comparaciones a pares entre los diferentes elementos del modelo, el problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios los que representarán las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente²⁷.

Por lo general se tiene:

$$A * w = \lambda * w$$

Donde:

- A: Matriz recíproca de comparaciones a pares (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)
- w: Vector propio
- λ : Máximo valor propio



Dado que esta metodología se basa en los juicios que se realicen respecto de los criterios establecidos para cierto proceso de toma de decisiones, es difícil que los juicios establecidos sean absolutamente consistentes, es decir, que cumplan simultáneamente con las condiciones de transitividad y proporcionalidad de las preferencias.

- Transitividad: Si C1 es mejor que C2 y C2 es mejor que C3, entonces se espera que C1 sea mejor que C3.
- Proporcionalidad: Si C1 es 3 veces mejor que C2 y C2 es 2 veces mejor que C3, entonces se espera que C1 sea 6 veces mejor que C3.

Lo que este principio busca es evitar que la decisión se base en juicios de consistencia tan baja que parezcan aleatorios. Para ello se espera que el valor de inconsistencia (IC) no supere el 10%. En otras palabras, la consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor, y se define por la siguiente expresión:

$$IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$$

Donde n es el tamaño de la matriz de componentes.

²⁷ MELLA T., S. Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva.

3.2 Marco Regulador

El marco regulador se refiere al conjunto de leyes, normas y acuerdos sobre los cuales se basa el funcionamiento de la industria salmonera en general y en particular, el de los Talleres de Redes en el territorio nacional.

3.2.1 Normativa Legal

Promulgada el 1° de marzo de 1994, por el Presidente de la República, don Patricio Aylwin, la Ley 19.300²⁸, como lo señala su primer artículo, regula: el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Por medio de esta, además, se da origen a la CONAMA²⁹ y se crea el SEIA³⁰, sistema mediante el cual la autoridad evalúa los proyectos que provocan algún tipo de impacto sobre el ambiente, y para lo cual articula la colaboración de los diversos organismos estatales involucrados con el tema en cuestión. Es sobre esta ley que se cimienta toda la normativa medioambiental vigente.

Por su parte, el Decreto Supremo N°148 “Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos”, establece las condiciones sanitarias de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos³¹. En el se caracteriza a los residuos considerados peligrosos y se establecen formas de manejo y eliminación de los mismos.

El Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), es el encargado de regular todo tipo de actividad de acuicultura. En su Artículo 9° señala: *“Sólo se podrá realizar la limpieza de los artes de cultivo (linternas, cuelgas, flotadores, etc.) y los lavados de redes con y sin anti-incrustantes³² en instalaciones que permitan el tratamiento de sus efluentes, los cuales deben cumplir con las normas de emisión fijadas de acuerdo al art. 40 de la Ley 19.300. Los residuos sólidos en ellas generados deben ser dispuestos de acuerdo a lo que estipule la normativa pertinente la limpieza antes indicada en áreas sometidas. Para realizar a la competencia de la autoridad marítima, se requerirá la autorización expresa de ésta.”* No obstante, mediante el Decreto Supremo N° 86 con fecha 8 de Enero de 2008 y firmado por la Presidenta de la República Michelle Bachelet Jeria, El Artículo 9° fue modificado, quedando de la siguiente manera:

“La limpieza de los artes de cultivo y los lavados de redes con y sin antiincrustantes se deberá realizar en instalaciones que traten sus efluentes de acuerdo con las normas de emisión, sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso 3° del presente artículo. Los residuos sólidos en ellas generados deben ser dispuestos de acuerdo a lo que estipule la normativa pertinente. El transporte marítimo, fluvial y lacustre de las artes de cultivo

²⁸ Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

²⁹ Comisión Nacional del Medio Ambiente.

³⁰ Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

³¹ Artículo 1. DS N°148

³² Antifouling.

deberá realizarse en contenedores que impidan el escurrimiento de líquidos o desprendimiento de material.

Para realizar la limpieza y lavados antes indicados en plataformas flotantes se requerirá la autorización expresa de la Autoridad Marítima de acuerdo con lo señalado en el inciso sexto del artículo 142 del Decreto Ley 2.222 de 1978. Sin perjuicio de lo anterior, no se autorizará este lavado en cuerpos de agua terrestres.

No obstante lo dispuesto en el inciso primero, el lavado in situ sólo podrá efectuarse en centros ubicados en mar y siempre que las artes de cultivo no hubieren sido impregnadas con anti-incrustantes que contengan como productos activos elementos tóxicos no degradables o bioacumulables. Las condiciones respectivas serán establecidas por resolución de la Autoridad Marítima.”

3.2.2 Acuerdos de Producción Limpia

La producción limpia es una estrategia de gestión empresarial preventiva, aplicada a productos, procesos y organizaciones de trabajo.

La producción limpia aplica continuamente estrategias preventivas, integrándolas en los procesos productivos, los productos y los servicios, para reducir los riesgos en la salud de las personas y el medio ambiente. En los procesos, pretende mantener los recursos naturales y la energía, eliminando materias primas tóxicas, reduciendo la cantidad de toxicidad de emisiones de desechos. En los productos, apunta hacia la reducción de impactos negativos que puedan acompañar al ciclo de vida de estos. En los servicios, trata de integrar la dimensión ambiental en el diseño y prestaciones.

La Política de Producción Limpia (2001-2005), incentiva y facilita el aumento de la competitividad y desempeño ambiental de las empresas. La gestión ambiental se considera una fuente de oportunidades, garantizando el desarrollo sostenible y sustentable, mejora la eficiencia de los procesos productivos en los productos y servicios, además ayuda a cumplir la normativa y la gestión ambiental.

El fundamento de esta política no sólo es la constatación de problemas, sino la búsqueda de soluciones reales como el uso de tecnologías limpias, recursos humanos especializados, líneas de mercado, etc.

El APL en el sector de producción de salmones y truchas, se basa en la integración de normativas ambientales, siendo el APL un complemento a la normativa vigente, en ningún caso la sustituye, la evaluación de impacto ambiental (SEIA) y reglamento para la acuicultura (RAMA), siendo los principios del acuerdo:

- Cooperación público privada
- Gradualidad (según nuevas exigencias ambientales y de competitividad).
- Complementariedad con los instrumentos regulatorios de gestión ambiental
- Prevención de la contaminación
- Responsabilidad de los actores que participan
- Utilización de mejoras tecnológicas disponibles

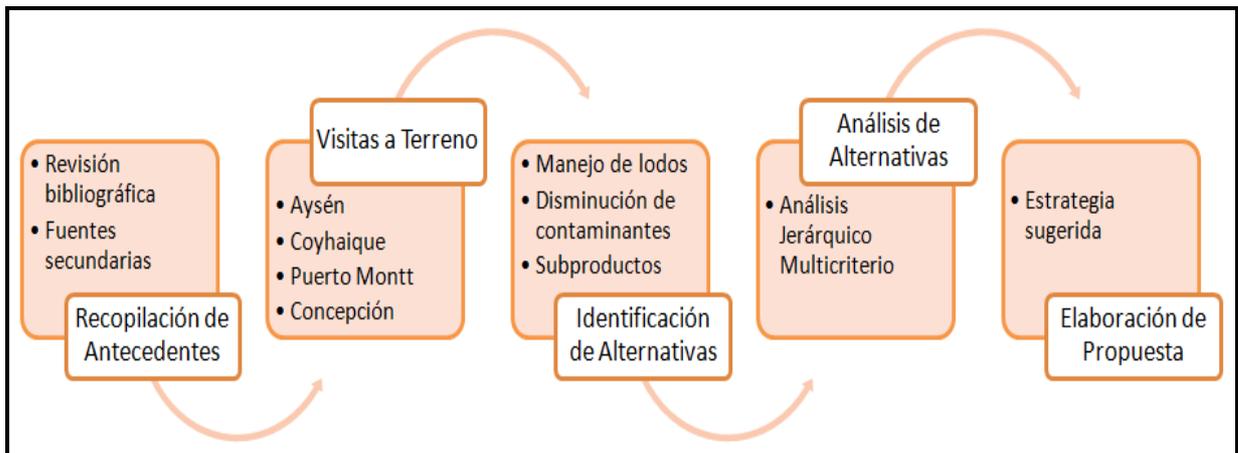
- Transparencia de los mercados de bienes y servicios
- Autonomía pública

Capítulo 4: Marco Metodológico

En este capítulo, se abordarán los métodos utilizados para investigar y llegar a los resultados y conclusiones de este trabajo.

En general, la estructura del trabajo, tiene consistencia con el proceso de investigación llevado a cabo para la identificación y análisis de las distintas alternativas que dan solución al problema planteado. Es así como la secuencia temporal y del informe parte con la recopilación de antecedentes mediante la revisión bibliográfica y de fuentes secundarias, continúa con las visitas a terreno, para luego dar paso a la identificación y el análisis de las alternativas de solución, a partir del que se obtienen resultados que permiten generar una propuesta para la adopción de tecnología y métodos que permitan disminuir los niveles de contaminación actualmente observados a causa de la utilización de pinturas antiincrustantes.

Figura 9: Marco Metodológico



Fuente: Elaboración propia

4.1 Revisión de Bibliografía y Fuentes Secundarias

Se realizó una revisión de la bibliografía pertinente y disponible en las áreas de: evaluación de proyectos, evaluación social de proyectos y análisis jerárquico multicriterio, así como también se el marco regulador pertinente para el caso del particular del estudio en cuestión, en particular en torno a la normativa medioambiental vigente y a los acuerdos de producción limpia suscritos. Además, se revisaron fuentes secundarias en cuanto a las alternativas de solución existentes, ya fueran estas teóricas o aplicadas.

4.2 Visitas a Terreno

En el contexto del trabajo, se realizaron dos visitas a terreno que fueron de mucha relevancia, tanto para la comprensión del problema en su totalidad, como para el análisis de las alternativas en estudio y para la elaboración de una propuesta adecuada.

La primera visita a terreno involucró las ciudades de: Puerto Montt, Coyhaique y Puerto Aysén, en el mes de Julio del año 2007. En esta oportunidad se recolectó importante información gráfica y experiencias de actores importantes en la industria. El objetivo del viaje fue principalmente tener un primer acercamiento con la industria, conocer su cultura, dimensionar el problema a tratar y recolectar información relevante respecto de la situación actual y la visión de los participantes respecto de la evolución prevista para los próximos años. En ese sentido fue de gran utilidad, pues fue posible recolectar gran cantidad de información y visiones de los principales participantes de la industria y de las entidades fiscalizadoras. Lo anterior fue posible gracias a la colaboración de Carlos Odebret, representante de la Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G. (SalmonChile) en Aysén, y en especial de las personas que pudieron exponer sus experiencias y opiniones expertas:

- Gonzalo Romero, PTI Cluster del Salmón (Puerto Montt)
- Ximena Rojas, INTESAL (Puerto Montt)
- Christian Betancourt y Marcela Bahamondes, CONAMA (Coyhaique)
- Javier Alarcón y Juvencio Alarcón, S. Salud (Coyhaique)
- Walther Gillibrand, Taller de Redes La Paloma (Puerto Aysén)
- Alejandro Novoa, Pesca Chile (Puerto Chacabuco)
- Miguel Vargas, Taller de Redes Vargas y Vargas (Puerto Aysén)

Posteriormente, se realizó el segundo viaje tuvo por destino las ciudades de: Concepción y Puerto Montt, en el mes de Febrero del año 2008. En esta oportunidad se recolectó importante información y experiencia de actores importantes en la industria y en la academia en términos de las posibles soluciones. El objetivo del viaje fue principalmente recopilar información de investigaciones y desarrollos realizados en la Universidad de Concepción y conocer el trabajo de los talleres de redes de la región de Los Lagos. Es así como fue de utilidad, pues se recopiló importante información y juicios de expertos tanto de investigadores de la Universidad de Concepción como de la CONAMA de Puerto Montt y la Gobernación Marítima, así como también la experiencia de dos de los talleres de redes de la región de Los Lagos. Lo anterior fue posible gracias las personas que colaboraron con esta investigación:

- Profesor Galo Cárdenas, Universidad de Concepción (Concepción)
- Alberto Bizama, Universidad de Concepción (Concepción)
- Felipe Arancibia y Patricia Aros, CONAMA (Puerto Montt)
- Carola Maturana, Gobernación Marítima (Puerto Montt)
- Richard Medina, Aqua Cards (Puerto Montt)
- Luis Andrade, Nisa Redes y ATARED (Puerto Montt)

4.3 Proceso de Identificación de Posibles Soluciones

Luego de las visitas a terreno y la recolección de información, se identificaron las posibles alternativas de solución al actual problema de manejo de lodos, teniendo en consideración las experiencias de lugares donde ya fueron implementadas soluciones similares, las nuevas tecnologías que se investigan y desarrollan en las Universidades, las alternativas que ofrece el mercado y la factibilidad técnica y económica que presenta cada una de ellas.

Producto de esta etapa se obtuvo alternativas muy distintas entre sí, y en diversas fases de desarrollo, tal como se podrá apreciar en el capítulo destinado a la descripción de éstas.

4.4 Análisis Alternativas

Una vez identificadas y descritas las alternativas, se llevó a cabo un proceso de análisis acerca de las formas posibles de evaluarlas y aplicarlas. De esta manera se pudo concluir que, lo disímiles y complejas que resultaban ser las soluciones, impedía un análisis social y económico estrictamente apegado a la teoría. Es así como se buscó la manera más completa de llevar a cabo el análisis de los costos y beneficios que significan cada una de ellas, de forma tal de poder compararlas en un paso posterior.

4.5 Estructuración de Propuestas

Al tener el análisis de las alternativas de solución, se llevó a cabo un análisis comparativo de aquellas consideradas factibles de aplicar. En base al análisis previamente realizado se eliminó las alternativas que por sus dificultades técnicas o estado de desarrollo de la tecnología, no cumplen con las características mínimas que permitan compararlas con las otras alternativas propuestas.

Dada la complejidad del escenario a evaluar, en el que existen múltiples proyectos en análisis con claras diferencias entre ellos, tanto a nivel de sus características particulares, como en relación a la etapa del proceso en la que son aplicables y a él o los agentes responsables de su adopción, es que la generación de propuestas se modela como un árbol de decisiones, en el que cada nivel corresponde a una etapa del proceso y donde se comparan las alternativas atingentes a esta etapa específica. La comparación de las alternativas presentes en un nivel se realizará por medio de la utilización de análisis jerárquico multicriterio (AHP), esto ya que no se cuenta con valores económicos que permitan comparar indicadores tales como VAN y TIR de los diferentes proyectos, en cambio, se cuenta con aspectos cualitativos comparables bajo ciertos criterios y que mediante la utilización de AHP permiten obtener valores numéricos fácilmente jerarquizables. Así, una vez obtenidos los valores numéricos que permitan recomendar una alternativa para cada etapa, se podrá resolver el árbol de decisiones de acuerdo al orden lógico establecido para ello, y que en este caso se basa en la predominancia de una decisión sobre otra basada en el poder de los distintos agentes involucrados en el proceso.

Capítulo 5: Identificación de Soluciones

5.1 Manejo de Residuos

Un primer análisis de soluciones posibles, dice relación con el manejo y/o tratamiento que se puede hacer, ya sea sobre los lodos que se obtienen al final del proceso actualmente en uso, o bien a los RILES que deben ser tratados.

Es importante considerar que, debido al impacto que estas alternativas tendrían sobre el proyecto originalmente aprobado por el SEIA, al generar cambios estructurales en el proceso de manejo de RILES, la adopción de alguno de ellos obligaría a las empresas a someterse a una nueva evaluación.

5.1.1 Centro de Manejo de Residuos Industriales Sólidos

La región de Aysén presenta serios problemas derivados del manejo de sus residuos tanto domésticos como industriales, debido principalmente al estado de saturación en que se encuentra la mayor parte de los vertederos y rellenos sanitarios de la zona. Esta situación se ha visto agravada en los últimos años por el aumento de la población y el incremento de la actividad industrial, en particular la relacionada con la salmonicultura.

De acuerdo a un estudio realizado en la zona durante el año 2003³³, los principales generadores de residuos industriales de la región se encuentran vecindados en la comuna de Puerto Aysén, estimándose para la fecha referida una producción total de residuos industriales sólidos aproximada de 4.500 ton/año.

El proyecto en cuestión, comprende los siguientes componentes: acopio de residuos reciclables, tratamiento biológico de desechos orgánicos, y almacenamiento transitorio de residuos sólidos peligrosos. En base a lo anterior, su objetivo fundamental es prestar un servicio de manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos sólidos, al sector productivo de la provincia. Para ello, los objetivos específicos de este proyecto contemplan:

- Implementar una solución definitiva para la valorización y/o eliminación de los residuos industriales de la provincia
- Recuperar los residuos valorizables: plásticos, cartones, maderas, mortalidad, caparazones de erizos y jaibas.
- Minimizar la cantidad y volumen de los residuos dispuestos en vertederos.
- Acopiar en forma segura los eventuales residuos peligrosos (para ser transportados y dispuestos en instalaciones fuera de la región).

³³ INGENIERIA ALEMANA S.A, 2005. Estudio de factibilidad del centro de manejo de residuos industriales Sólidos-Puerto Aysén. Proactiva Medio Ambiente.

Si bien este tipo de proyectos se encuentran normados y se posee una amplia experiencia al respecto, las características morfológicas, hidrográficas y climáticas tan particulares de la zona, hacen necesario un estudio más acucioso y exhaustivo, que permitan asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

5.1.2 Fitorremediación

Se puede definir a la fitorremediación como la utilización de vegetales verdes y los organismos asociados a ellos para metabolizar, extraer, degradar y contener contaminantes (Schnoor, 1997). En este sentido, una de las técnicas más utilizadas y que ha sido ampliamente probada en la industria minera a nivel mundial, es la fitoestabilización. En términos generales, este método consiste en el uso de especies vegetales para estabilizar contaminantes inorgánicos (metales pesados y metaloides) u orgánicos presentes en un sustrato sólido, y dejarlos en formas inocuas³⁴.

Las técnicas de fitorremediación han sido probadas con gran éxito en otros países, en escenarios tan complejos como vastas áreas industriales y zonas contaminadas con elementos tóxicos. En Chile existen iniciativas importantes en esta línea, en particular algunas impulsadas por Innova Chile en los relaves producidos por la industria minera en el norte del país, donde se han obtenido resultados bastante alentadores.

La principal ventaja de este tipo de tratamientos radica en que, a diferencia de otros tratamientos que tienen un costo muy elevado y dejan al sustrato en una condición alterada en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que restringe las posibilidades de uso posterior; la fitorremediación en cambio, al ser una técnica natural y no invasiva, produce resultados de gran efectividad, con un mínimo impacto y a un costo reducido.

Existen diferentes tipos de fitorremediación, las que se diferencian particularmente en la manera en que las especies vegetales utilizadas degradan o almacenan los elementos presentes en los residuos. Algunos de los principales métodos son (ver Figura 9):

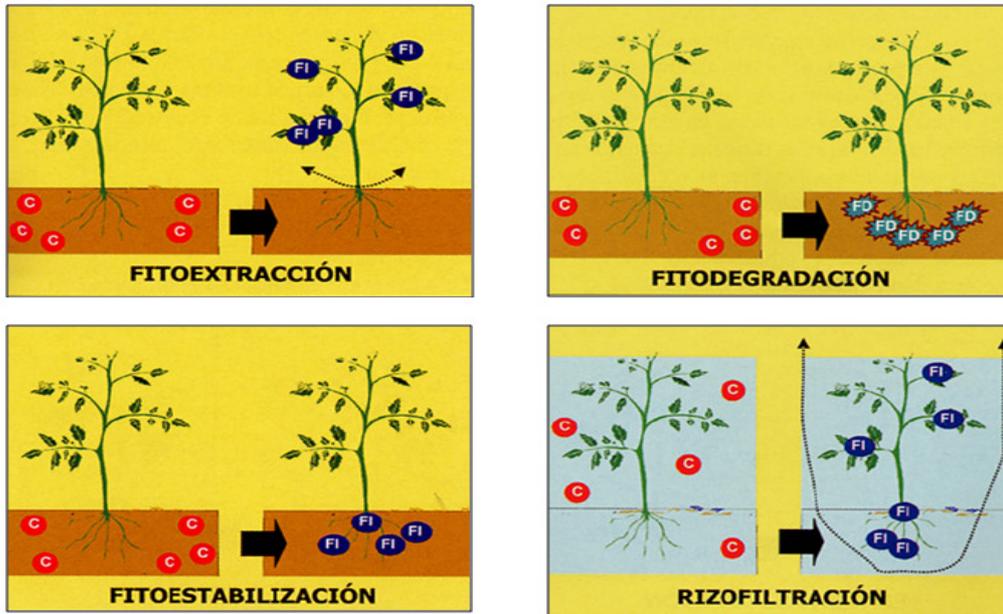
- Fitoextracción: Consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas.
- Fitodegradación: Consiste en la degradación de los contaminantes orgánicos llevada a cabo por las plantas.
- Fitoestabilización: Consiste en el uso de plantas tolerantes para inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de contaminantes orgánicos y/o inorgánicos.
- Rizofiltración: Consiste en la utilización de plantas para extraer contaminantes orgánicos o inorgánicos desde medios líquidos.

Dadas las características particulares de los lodos residuales del proceso de lavado de redes, es que la fitorremediación se vislumbra como una alternativa atractiva de analizar, principalmente a la luz de los auspiciosos resultados obtenidos en industrias

³⁴ Extracto del reportaje “Recursos genéticos para fitoestabilización: Plantas que reducen la contaminación por desechos mineros”, publicado en INIA Tierra adentro con fecha julio-agosto de 2007.

tales como la minera, donde se tienen residuos con gran concentración de metales pesados, condición similar a la que poseen los lodos en estudio.

Figura 10: Tipos de Fitorremediación



Fuente: Revista de descontaminación industrial, recursos energéticos y ecología. Induambiente.

5.1.3 Tratamiento Físicoquímico

El esquema actual de funcionamiento de la totalidad de los talleres de redes de la zona, considera la realización de un tratamiento físicoquímico a los RILES resultantes del proceso de lavado de redes. Este procedimiento consiste en añadir compuestos que facilitan la precipitación de los componentes sólidos presentes en los RILES, obteniéndose de esta manera dos productos como resultado: agua purificada, en condiciones de ser devuelta a los cursos naturales, napas subterráneas, o bien, para ser reutilizada en el proceso de lavado (de acuerdo a lo indicado por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en cada caso), y lodos, los que están compuestos por una mezcla de residuos orgánicos e inorgánicos (principalmente óxido cuproso, agente activo fundamental de la pintura antifouling utilizada en las redes de los centros de cultivo).

Ilustración 5: Imágenes (piscina de tratamiento de riles y torre de decantación): Izquierda taller de redes La Paloma, derecha taller de redes Vargas y Vargas



Fuente: Archivo fotográfico personal.

Los RILES en cuestión, están conformados básicamente por: agua, material orgánico y componentes inorgánicos (principalmente óxido cuproso). Debido a lo anterior, y considerando los altos costos asociados al manejo de estos residuos (clasificados como peligrosos), una alternativa es analizar el uso de un tratamiento fisicoquímico que permita, en una primera etapa aislar los elementos inorgánicos que se encuentren en una mayor concentración para, en una segunda etapa, separar el resto de material sólido del agua. Los beneficios asociados a este proceso dicen relación con:

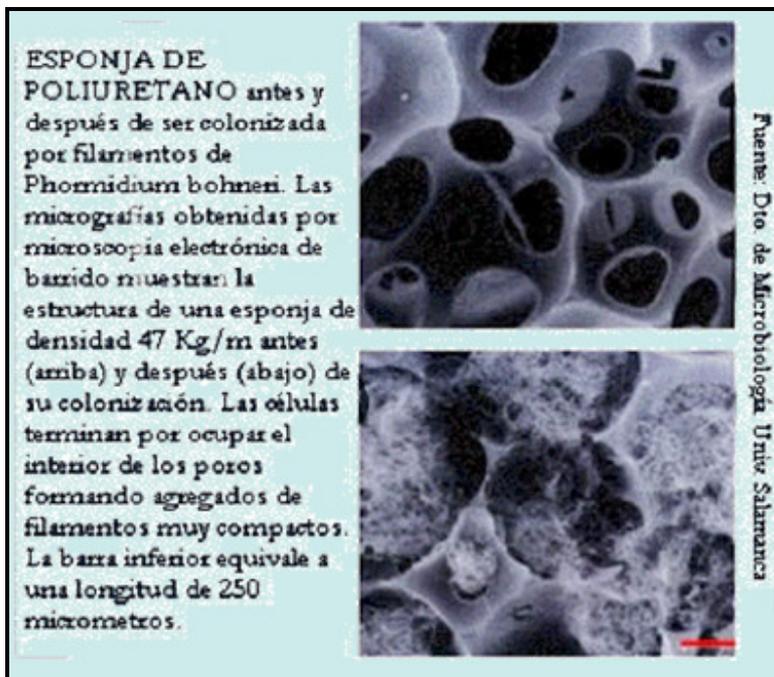
- Al realizarse la disociación de elementos en etapas, se esperaría obtener una menor concentración de elementos contaminantes en el agua resultante.
- Al separar los metales pesados de los lodos orgánicos, se espera reducir los costos asociados al manejo de residuos peligrosos, debido a la reducción de su volumen.

- La similitud con el sistema actualmente en uso, no debiera generar un gran impacto en el proceso, tanto a nivel organizacional, como en infraestructura.

5.1.4 Tratamiento Bioquímico

El gran desarrollo que ha experimentado en las últimas décadas el estudio relacionado con los agentes biológicos, permite contar hoy en día con alternativas de tratamiento basado en la utilización de poblaciones de bacterias capaces de acelerar los procesos de degradación y oxidación de manera natural, con un mínimo impacto ambiental y a bajo costo.

Figura 11: Bio-lixiviación de minerales mediante bacterias *P. Bohneri*



Fuente: Dto. de Microbiología, Universidad de Salamanca.

Actualmente este tipo de soluciones es ampliamente utilizado en múltiples ámbitos del que hacer industrial. Uno de los ejemplos más cercanos, dice relación con el uso de bacterias para la liberación de metales valiosos, este proceso se conoce como lixiviación bacteriana y se utiliza, por ejemplo, en la minería del cobre.

Cabe señalar que para la adopción de esta tecnología es necesario realizar un estudio en laboratorio que permita encontrar una población de bacterias capaz de actuar de manera eficiente sobre los residuos en cuestión. Si bien esta etapa de estudio y la construcción de la infraestructura necesaria para la aplicación de este tipo de alternativas pueden requerir una inyección importante de recursos, los resultados suelen ser altamente efectivos a la vez que requieren de bajos costos de mantención.

5.2 Disminución de Contaminantes

Uno de los mayores problemas que hoy enfrenta la industria desde el punto de vista medioambiental, es la gran cantidad de contaminantes que poseen los lodos resultantes del proceso de lavado de redes, lo que se debe principalmente a la alta concentración de metales pesados (en particular óxido cuproso).

El grupo de alternativas que se detallan a continuación, proponen variaciones en el sistema principal que se utiliza actualmente para el control del biofouling en la industria: las pinturas anti-incrustantes.

5.2.1 Antifouling Mecánico

Las condiciones estresantes a las cuales se ven sometidos los peces en su etapa de cultivo, ya sea por baja renovación de aguas y disminución de espacio efectivamente utilizable, debido al fouling en las redes, como también por bajas en las concentraciones de oxígeno debido a causas naturales, afectan la capacidad de alimentación y bajan las defensas de los peces disminuyendo sus niveles de crecimiento y haciéndolos propensos a contraer enfermedades, así como también variaciones demasiado bruscas en los niveles de oxígeno podrían ocasionarles la muerte.

Una alternativa capaz de hacer frente a esta problemática es un ecoprototipo modular de oxigenación y antifouling para balsas jaulas con supervisión remota y accionamiento automatizado en función del monitoreo en tiempo de biomasa y parámetros ambientales, que permitiría mantener condiciones estables de cultivo y revertir variaciones críticas. Este proyecto, financiado por Fondef y desarrollado por investigadores de la Universidad de la Santísima Concepción, tiene por objetivo central el proveer a la industria salmonicultora de una alternativa ecológica al uso actual de pinturas antifouling, así como también el poder proveer a la misma de una alternativa eficiente de oxigenación.

Esta solución tecnológica presenta condiciones apropiadas para su uso en el nuevo escenario normativo luego de aprobadas las modificaciones al RAMA³⁵, donde se destaca la posibilidad de realizar limpieza de redes in situ.

5.2.2 Antifouling Bacterial

El "biofouling" o "bioincrustaciones", es una problemática que afecta actualmente a todas las estructuras sumergidas y sistemas acuícolas en el mundo, resultando en sustanciales pérdidas económicas. El uso de métodos antifouling tradicionales (pinturas a base de metales pesados y compuestos triorganotin) se encuentra actualmente regulado por organizaciones, tales como las Naciones Unidas, Organización Marítima Internacional y el Comité de Protección del Ambiente Marino, por ser altamente tóxicos para el ecosistema marino.

³⁵ CHILE, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca. 2001, Decreto Supremo N°320: Reglamento Ambiental para la Acuicultura. 24 de Agosto de 2001, Modificación Decreto Supremo N° 86, 8 de Enero de 2008, que aprobó el Reglamento Ambiental para la Acuicultura.

Es en este sentido que se enmarca en la investigación y búsqueda de productos de origen microbiano que minimicen la colonización y desarrollo del biofouling sobre los sistemas de cultivo. Esto se basa en los recientes antecedentes reportados por investigadores participantes del presente proyecto, actualmente en desarrollo en la Universidad de Antofagasta y que busca el desarrollo de un recubrimiento basado en la existencia de microorganismos bentónicos capaces de inhibir el asentamiento de macroorganismos marinos.

La generación de un producto que muestre eficientemente efectos anti-incrustantes sin las consecuencias contaminantes ni el impacto ambiental que presentan las actuales pinturas, constituye una auspiciosa iniciativa, ya que la adopción de esta tecnología (aún en etapa de desarrollo) implicaría mínimas variaciones en el procedimiento actual.

5.2.3 Redes Semirrígidas

Las redes tradicionales de nylon y poliéster son diseñadas para capturar peces, no para contenerlos. La red semirrígida Aquagrid, en cambio, es una red creada específicamente para las necesidades de los cultivos.

Las redes Aquagrid tienen alta resistencia, baja mantención y proveen defensa anti depredadores, factores necesarios para reducir su costo de producción por kilo.

Entre sus principales características, destaca la suave superficie que reduce significativamente el biofouling, ya que los microorganismos no se pueden adherir tan bien como en el nylon, con lo que los costos de operación se reducen. Asimismo, las redes Aquagrid están diseñadas para ser limpiadas en el agua (en donde la normativa lo permite). Los microorganismos son removidos fácilmente mediante el uso de lavadoras rotatorias o chorros de agua. El lavado dentro del agua es solo una de las formas en que las redes Aquagrid reducen los costos de mano de obra. Adicionalmente estas redes no requieren de antifouling. Eso no solo es un ahorro de dinero, también es mejor para el medio ambiente.

5.2.4 Redes de Cobre

Codelco, a través de la International Copper Association, ha participado en la investigación y desarrollo de un nuevo tipo de red, basada en una aleación, en donde el cobre juega un rol fundamental, y que actualmente se encuentra en etapa experimental en Japón.

Estas redes, que tienen una vida útil que varía entre tres y cinco años, son un poco más caras que las actuales, pero como no necesitan limpieza, ofrecen un mejor desarrollo de los peces y son totalmente reciclables. Con esto, se reducen costos y, además, se beneficia al medio ambiente.

Gracias a la cualidad antibacteriana del cobre se evitaría totalmente el problema del fouling, con el ahorro que eso significa y con los enormes beneficios que puede generar si se explota en otras especies, ya que además de los salmones, la intención es expandir este negocio a todo tipo de moluscos y otras especies como el atún.

En lo que respecta a la experiencia en el uso de redes de cobre, Codelco Chile, en conjunto con las empresas japonesas Sambo Cooper Alloy Co. Ltd. y Ashimori Industry Co. Ltd., apoyados por INTESAL, está realizando una inversión de US\$ 400.000. Se trata de un proyecto enfocado a probar el uso de la red de cobre denominada "Aleación UR30", en las mallas de las balsas jaulas de salmonicultura.

5.2.5 Pintura Quitosano-Cobre

El desarrollo de la acuicultura ha posicionado a Chile en el segundo lugar a nivel mundial en la exportación de salmónes. Los mercados existentes y los nuevos TLC serán cada vez más exigentes, sanitaria y ambientalmente, con nuestros productos de exportación.

Este proyecto propone utilizar quitosano (polímero natural) como matriz de soporte del cobre en pinturas antifouling, con el objeto de lograr una descarga lenta del metal y reducir la tasa de recambio de redes utilizadas en sistemas de cultivo en el mar, evitando que gran parte del cobre se pierda al entrar en contacto con el agua, así como el uso de solventes dañinos³⁶.

En las pruebas realizadas a la fecha, los prototipos de pintura analizados han demostrado una efectividad mayor a la de los productos que hoy se utilizan para estos fines en la industria, a la vez que reducen en gran medida los niveles de contaminantes, particularmente de óxido cuproso, a la vez que no recurre al uso de otros elementos altamente nocivos que se encuentran presentes en algunos de los productos de este tipo que hoy se comercializan. Es importante considerar además que, al tratarse de una pintura, las modificaciones requeridas en el proceso actual serían las mínimas ya que sólo implicarían el cambio de las actualmente en uso.

5.2.6 Limpieza In Situ

Esta técnica consiste en la utilización de sistemas que permitan la limpieza de las redes de manera periódica y sin la necesidad de sacarlas y trasladarlas. Esto, entre otros beneficios, disminuye los costos asociados a la estiba y traslado de redes, así como también disminuye el stress que produce en los peces el cambio de jaula y que repercute en su salud y capacidad de crecimiento.

Si bien esta es una técnica ampliamente empleada en países como Canadá y Noruega, en Chile se encontraba prohibida por el efecto nocivo que podría generar en la calidad de las aguas y el fondo marino, no obstante lo anterior, recientemente ha sido aprobada la limpieza in situ bajo condiciones particulares de control.

5.2.7 Pintura "Biodeg"

³⁶ FONDEF, 2004. Prototipos de pinturas e hilos de quitosano y quitosano-cu para redes de sistemas intensivos de cultivos de peces y sus aplicaciones como agente antimicrobico, en agua dulce, y antifouling de descarga lenta en agua de mar. [en línea]
<http://www.fondef.cl/bases/fondef/PROYECTO/04/I/D04I1286.HTML> [Octubre de 2007]

La gran cantidad de metales pesados (principalmente óxido cuproso) presentes en las pinturas antifouling que se utilizan hoy en día para el revestimiento de redes en la industria salmonera en Chile, constituye un serio problema desde la óptica medioambiental, tanto en tierra debido al particular manejo que requieren los lodos resultantes del proceso de limpieza de redes; como en el mar, donde gran parte de los elementos tóxicos presentes en la pintura son liberados paulatinamente.

Es en este contexto que durante el mes de octubre de 2007, la empresa Sherwin Williams ha lanzado al mercado una nueva pintura antifouling denominada Biodeg y que, a diferencia de sus competidores, no presenta óxido cuproso en su composición. Biodeg está formulada en base a biocidas orgánicos biodegradables, con lo que se evita su persistencia prolongada en el ambiente marino, debido a que la lixiviación de estos se produce en una cantidad mínima para producir el efecto anti-incrustante requerido.

Este producto desarrollado en Chile ha sido evaluado tanto en laboratorio como en condiciones reales, demostrando su efectividad en el control de la acumulación de biofouling en las redes, así como también su inocuidad.

5.3 Subproductos

Una alternativa al manejo de lodos tal como hoy se producen y almacenan, es la reutilización de los mismos para alguna actividad productiva complementaria que sea capaz de generar ingresos o bien disminuir los costos asociados a su traslado y disposición final.

5.3.1 Generación de Energía

Dos de los principales problemas a resolver en la Región de Aysén están relacionados con la energía y el manejo de residuos. En el primer caso debido a la escasez de esta en la zona y a la dificultad y alto costo que tiene el traslado de la misma hacia sectores apartados, en el caso del manejo de residuos en tanto, la mayor parte de los vertederos y rellenos sanitarios de la región se encuentran colapsados, lo que ha dado paso a que se originen múltiples vertederos ilegales que atentan contra la salud de las personas y el valioso ecosistema de la zona.

Al pensar en un sector industrial capaz de concentrar en un espacio limitado tanto a empresas productoras como proveedoras, los requerimientos de energía aumentan de manera importante sobre la zona, de igual modo lo hace el problema de manejo de residuos, por lo que resulta razonable el poder generar soluciones en conjunto que puedan resolver de manera más eficiente el problema.

Una opción para estos problemas es la generación de biogás a partir de los residuos orgánicos. De este modo, todos los residuos orgánicos (RILES o RISES) generados se descomponen en biodigestores capaces de captar el gas y, por medio de un proceso adicional obtener energía eléctrica.

5.3.2 Fabricación de Materiales

Los lodos resultantes del proceso de tratamiento de riles al interior de los talleres de redes, son residuos semisólidos con apariencia arcillosa, por lo que se plantea la posibilidad de fabricar materiales de construcción con ellos.

Esta alternativa deberá ser estudiada en particular debido a que contienen grandes concentraciones de materiales pesados, los que eventualmente podrían generar perjuicios para quienes los fabricaran y/o utilizaran posteriormente.

5.4 Síntesis

	ALTERNATIVA
MANEJO DE LODOS	<i>Centro de Manejo de RISES</i>
	<i>Fitorremediación</i>
	<i>Tratamiento fisicoquímico</i>
	<i>Tratamiento bioquímico</i>
DISMINUCION DE CONTAMINANTES	<i>Antifouling mecánico</i>
	<i>Antifouling bacterial</i>
	<i>Redes semirígidas</i>
	<i>Redes de cobre</i>
	<i>Pintura quitosano-cobre</i>
	<i>Limpieza in-situ</i>
	<i>Pintura "Biodeg"</i>
SUB-PROD.	<i>Generación de energía</i>
	<i>Fabricación de materiales</i>

Capítulo 6: Análisis de Soluciones

Dada la diversidad de características que presentan las alternativas identificadas como posibles soluciones del problema de manejo de lodos en estudio, se hace difícil realizar un análisis de carácter cuantitativo o que compare de manera simple las diversas potencialidades que posee cada una de ellas. Situación que se complejiza aún más, toda vez que no existe un único agente tomador de decisiones a nivel central, sino más bien múltiples decisores en distintos niveles (empresas productoras y prestadoras de servicios principalmente) las que a su vez se encuentran desagregadas en unidades de menor tamaño al interior de la industria.

Todo lo anterior ha sido clave al momento de decidir utilizar un proceso de análisis jerárquico multicriterio. Para ello, a continuación se realiza un análisis amplio de las trece alternativas identificadas, de manera que permita en una primera instancia descartar aquellas alternativas que no sean viables técnica, económicamente o legalmente en la actualidad. Además, se agruparán las alternativas y se determinará los criterios de evaluación.

6.1 Centro de Manejo de Residuos Industriales Sólidos

6.1.1 Antecedentes y Descripción

En la actualidad la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, enfrenta serios problemas relacionados con el manejo y disposición final de residuos sólidos, tanto domiciliarios como industriales, lo que se explica principalmente por el estado de saturación en que se encuentra la mayor parte de sus vertederos y rellenos sanitarios, varios de los cuales han debido continuar operando a pesar de haber cumplido con los plazos establecidos para su cierre. Este mismo hecho ha provocado la proliferación de vertederos ilegales, los que no cumplen con las condiciones sanitarias y ambientales mínimas requeridas, provocando perjuicios al medioambiente, la salud de los vecinos y al atractivo propio del entorno.

La compleja geografía y alta pluviosidad de la región de Aysén son factores críticos al momento de evaluar un proyecto que contemple el manejo de residuos sólidos, ya que dificultan su control, elevando además sus costos, en particular los referidos a inversión.

El gran crecimiento que ha experimentado la región durante las últimas décadas, que se explica en gran medida por la importante y sostenida actividad relacionada con la industria del salmón, da urgencia a la toma de medidas definitivas respecto del manejo y disposición final de residuos, ya sean estos de origen industrial o domiciliario.

Es en este contexto global que desde mayo de 2004, la empresa Multiaseo S.A. ha prestado asesoría a SalmónChile en el mejoramiento del vertedero industrial de Puerto Aysén. En el marco de esta cooperación dirigida a encontrar una solución definitiva para la disposición de los RISES salmoneros, durante el año 2005 la empresa Ingeniería Alemana S.A. elaboró un estudio de factibilidad del proyecto "Centro de

Manejo, Tratamiento y/o Valorización de Residuos Industriales de Aysén”³⁷. El proyecto definitivo contempla la instalación de un centro de manejo de RISES, conformado por una planta de compostaje y valorización de residuos reciclables, lo que es compatible con el futuro relleno sanitario de Coyhaique y puede ser ampliado como estación de transferencia.

6.1.2 Objetivos y Alcances

El centro de manejo de RISES contempla básicamente: el acopio de residuos reciclables que permita disminuir la cantidad de desechos depositados y obtener beneficios a partir de su venta, el tratamiento biológico de los desechos orgánicos que permita obtener abono fértil que pueda ser comercializado a la vez que se disminuye la cantidad de residuos destinados al relleno sanitario, y el almacenamiento transitorio de residuos sólidos peligrosos que requieren ser enviados a centros de manejo habilitados para su disposición final.

El objetivo general de este proyecto particular consiste en prestar al sector productivo de la provincia un servicio de manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos sólidos, que sea eficiente, seguro a largo plazo y ambientalmente apropiado. Para ello se plantea:

- Implementar una solución para la valorización y/o eliminación de los residuos industriales de la provincia.
- Recuperar los residuos valorizables: plásticos, cartones, maderas, mortalidad, caparazones de erizos y jaibas.
- Minimizar la cantidad y volumen de los residuos dispuestos en vertedero.
- Acopiar en forma segura los eventuales residuos peligrosos (para ser transportados y dispuestos en instalaciones adecuadas para ellos fuera de la región).

6.1.3 Características

Durante el año 2005, la empresa Ingeniería Alemana S.A. realizó un estudio de factibilidad para la instalación en la comuna de Aysén, de un centro de manejo de RISES. A partir de los resultados obtenidos por el estudio mencionado, así como de las reuniones sostenidas con representantes de la CONAMA de la región de Aysén y del Servicio de Salud de la zona, se ha podido desentrañar los siguientes aspectos:

- El proyecto es rentable, ya que de acuerdo a los cálculos realizados por la empresa Ingeniería Alemana S.A. el proyecto tiene un VAN de 1,5 millones de pesos y una TIR de 15,1%³⁸.

³⁷ Extraído del documento “Estudio de Factibilidad del Centro de Manejo de Residuos Industriales Sólidos – Puerto Aysén”, preparado por la empresa Ingeniería Alemana S.A.

³⁸ Datos extraídos desde el documento “Estudio de Factibilidad del Centro de Manejo de Residuos Industriales Sólidos – Puerto Aysén”, preparado por la empresa Ingeniería Alemana S.A., se utilizó para el análisis un horizonte de 20 años y una tasa de descuento del 15%.

- No existe otra solución de características similares en la zona para el creciente sector industrial vecindado, además, las condiciones en que se encuentran los rellenos sanitarios y vertederos emplazados en la región hacen urgente la inversión en proyectos capaces de dar solución al problema sanitario que se tiene a causa del mal manejo de residuos.
- El proyecto contempla la gestión y manejo de residuos industriales de manera centralizada, lo que facilita la trazabilidad.
- Se prevé una disminución de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario respecto de la situación actual producto de la política de reutilización y reciclaje propuesta.
- Acopio seguro de residuos peligrosos.
- El proyecto requiere de una importante inversión inicial y reinversión periódica en maquinarias.
- Tiene asociados costos importantes por concepto de operación.
- Existe un alto costo de oportunidad del terreno a utilizar. Además se debe considerar la devaluación de sectores aledaños producto de la cercanía.
- Se trata de un proyecto de largo plazo y con periodo de manejo prolongado luego de su cierre definitivo.
- Requiere de altos niveles de residuos para que sea económicamente atractiva la inversión.
- Se trata de un proyecto externo a la industria. Requiere la participación de los sectores industriales de la región.
- Dada la magnitud del proyecto, requiere un alto nivel de inversión inicial y costos de operaciones y un prolongado periodo de implementación previo al comienzo de sus operaciones.

6.2 Fitorremediación

6.2.1 Antecedentes y Descripción

Como toda actividad productiva, la industria de crianza de salmones en Chile genera múltiples residuos, siendo los más complejos en su tratamiento y manejo aquellos que se obtienen como resultado del lavado de redes, esto debido especialmente al alto contenido de metales pesados que se encuentran presentes en los revestimientos antifouling de los mismos.

Desde hace algunos años, en distintas partes del mundo se ha empezado a estudiar y experimentar con el uso de plantas con propiedades que les permiten no sólo sobrevivir en presencia de agentes que para la mayoría resultan tóxicos, sino que además son capaces de controlar a los agentes contaminantes presentes en dichos ambientes disminuyendo su biodisponibilidad ya sea por medio de la absorción, degradación, inmovilización o extracción de los mismos.

En Chile, las principales experiencias relacionadas con el tema dicen relación con la fitoestabilización de relaves mineros en el norte del país donde, al igual que en el caso de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes de la industria del salmón, los principales contaminantes presentes son metales pesados de cobre.

De acuerdo a un estudio realizado en base a los costos que tienen asociadas distintas técnicas de tratamiento de suelos enriquecidos con metales en Estados Unidos, se ha podido determinar que la fitorremediación se encuentra muy por debajo de los costos que presentan otras tecnologías utilizadas para los mismos fines, aunque se debe tener en cuenta que, a pesar de ser altamente efectiva, se trata de una solución de largo plazo, lo que debe ser considerado al momento de desarrollar un proyecto de estas características.

Tabla 4: Costos de tratar suelos enriquecidos con metales con distintas metodologías en Estados Unidos

TRATAMIENTO	COSTO (US\$/ton)	COSTOS ADICIONALES
Vitrificación	75 – 425	Monitoreo a largo plazo
Disposición en vertederos	100 – 500	Transporte / Excavación / Monitoreo
Tratamiento químico	100 – 500	Reciclaje de los metales
Electrocínética	20 – 200	Monitoreo
Fitorremediación	5 – 40	Monitoreo en el largo plazo

Fuente: Revista de descontaminación industrial, recursos energéticos y ecología. Induambiente

6.2.2 Objetivos y Alcances

La adopción de alguna de las técnicas de fitorremediación podría ayudar generar alternativas sustentables de manejo de lodos en la región a un costo muy por debajo del que ofrecen otras metodologías. Por otra parte, la tasa de absorción de contaminantes por las plantas es lenta, por lo que requiere de mucho más tiempo en comparación con otras tecnologías tradicionalmente utilizadas para estos fines.

Para el caso particular de los lodos resultantes del lavado de redes la utilización de técnicas de fitorremediación es una solución factible y económicamente atractiva, sin embargo, debiera ser realizada por un agente externo a los talleres de redes, principalmente por las necesidades de espacio y el prolongado horizonte de tiempo que esta requiere.

Este proyecto tiene por objetivo fundamental el lograr descontaminar de manera económica y ambientalmente sustentable los lodos residuales del proceso de lavado de redes salmoneras. Para ello se plantea que el proyecto debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Identificar especies fitorremediadoras capaces de adecuarse a las condiciones climáticas de la región y a los agentes contaminantes presentes en los lodos en estudio.

- Reducir los contaminantes tóxicos presentes en los residuos de los talleres de redes.
- Obtener una solución definitiva que permita recuperar sectores contaminados a causa del manejo de redes pintadas con antifouling en base a óxido de cobre y a su posterior limpieza y tratamiento.

6.2.3 Características

La fitorremediación es una metodología que, aunque relativamente nueva y aún en desarrollo, ha sido probada en distintas áreas con muy buenos resultados. En Chile se está utilizando principalmente para estabilización de relaves mineros en el norte del país, con resultados bastante favorables, ya que brinda una solución altamente efectiva y a un costo muy por debajo del que exhiben otras alternativas.

La utilización de especies botánicas para el mejoramiento de suelos además da la opción de elegir plantas con propiedades particulares que permitan a la vez generar ingresos complementarios. Cabe señalar que para ello se debe primero realizar un estudio de las plantas endémicas de la zona que posean características fitorremediadoras afines con el tipo de contaminantes presente.

Dentro de las principales características de esta alternativa se encuentran las siguientes:

- Proyecto ambientalmente sustentable.
- No produce alteraciones en el paisaje.
- Permite recuperar terrenos contaminados de manera no invasiva.
- Presenta costos muy bajos en relación a otras tecnologías utilizadas para el tratamiento de suelos enriquecidos con metales.
- Se requiere contar con una extensión de terreno suficiente que permita el crecimiento y desarrollo de las especies remediadoras.
- Se trata de un proceso con resultados medibles en el largo plazo, por lo que se requiere monitoreo y control sobre el proyecto durante un periodo prolongado.
- Existe asociado un costo de oportunidad del terreno utilizado.

Esta no es una alternativa viable en el caso de generación continua de grandes cantidades de lodos contaminados, ya que requiere una cantidad fija y limitada de residuos. Típicamente utilizada en etapas de cierre de faenas.

Se trata de un proyecto externo a la industria. Especialmente para ser utilizado en lodos resultantes del proceso de lavado de redes y sectores que presenten contaminación persistente.

Bajo nivel de inversión. Requiere monitoreo en el largo plazo.

Reducido periodo de implementación. Solo requiere preparación del terreno para la introducción de la(s) especies escogidas.

6.3 Tratamiento Físicoquímico

6.3.1 Antecedentes y Descripción

En la actualidad, la metodología utilizada por los talleres de redes para el manejo de los riles producidos a partir del lavado de estas, consiste básicamente en generar una reacción físicoquímica que permite separar los elementos sólidos del agua. El tratamiento consiste en incorporar ciertos compuestos químicos que permiten hacer flocular, o bien, precipitar las partículas sólidas presentes en los RILES. Luego de este proceso el agua queda en condiciones adecuadas para ser devuelta a los cursos de agua o napas más próximas de acuerdo a lo que haya sido dispuesto en cada caso. Sin embargo, cabe señalar que los talleres de redes de la región de Aysén han sido sancionados, algunos incluso en más de una oportunidad, a causa de las deficiencias observadas en el sistema de tratamiento de riles y manejo de lodos.

A diferencia de lo que se realiza hoy en día, este proyecto propone realizar análisis químicos a los riles que se obtienen a partir del lavado de redes, para en base a ello encontrar compuestos que permitan optimizar el proceso de tratamiento de riles y mejorar la calidad de los lodos resultantes al disminuir la presencia de contaminantes en los mismos. Para lograr un mejor resultado, en una primera etapa se debe separar los metales pesados presentes en los riles, para luego desencadenar una segunda reacción que sea capaz de eliminar los elementos sólidos que persistan en la solución. Adicionalmente, el proyecto contempla la recirculación del agua utilizada en el proceso, de esta manera se reduce el riesgo de contaminación de los cursos de agua o napas subterráneas asociados a la evacuación de las aguas utilizadas en el tratamiento.

Al tratarse de un proyecto de tratamiento de riles similar al que se utiliza hoy en día, los talleres de redes cuentan ya con gran parte de la infraestructura necesaria para su puesta en marcha, lo que reduce su costo tanto de inversión como de adopción de la nueva tecnología.

6.3.2 Objetivos y Alcances

La utilización de un tratamiento físicoquímico como el que se presenta, que permita realizar una segregación controlada de los diferentes elementos que conforman los riles, tiene por objetivo central la disminución de elementos tóxicos tanto en las aguas que se devuelven a sus cursos naturales como en los lodos resultantes del proceso, los que a causa de este doble tratamiento además, verían reducida su cantidad y modificada su composición, la que sería prácticamente de origen orgánico, por otra parte, se obtendrá un tercer producto de este proceso, de menor volumen y con altas concentraciones de óxido cuproso. En detalle, los objetivos específicos que persigue el proyecto son:

- Realizar un análisis detallado de los riles generados en los talleres de redes, para a partir de ello encontrar la mejor combinación de aditivos que permitan segregar en distintas etapas los metales pesados, los componentes orgánicos y el agua.
- Reducir los niveles de metales pesados, en particular cobre, presentes en los lodos residuales del proceso.

- Obtener un tercer subproducto del proceso de tratamiento de riles, compuesto básicamente por óxido cuproso y otros metales que pudieran haber estado presentes en la solución inicial.
- Reducir la contaminación de las aguas por medio del tratamiento realizado en etapas y la reutilización de las mismas en el proceso de lavado de redes.

Este proyecto está pensado para ser adoptado por los talleres de redes presentes en la zona, ya que considera un bajo costo de cambio y adaptación debido a las similitudes que tiene con el sistema actual de manejo de riles utilizado actualmente en ellos.

6.3.3 Características

La incorporación de modificaciones al actual sistema de tratamiento de RILES supone el mejoramiento de los procesos y cumplimiento de normativa, con lo que se refuerza el compromiso con el APL y disminuye riesgo de multas por exceso de elementos tóxicos. Del mismo modo, se espera tener como resultado directo la disminución de agentes contaminantes en efluentes y cursos de agua cercanos a talleres de redes.

Las principales características que se pueden señalar de esta alternativa son las siguientes:

- Fácil adopción por la similitud que existe con el sistema de tratamiento actual.
- Costos de inversión bajos debido a que se cuenta con gran parte de la infraestructura necesaria.
- Disminución de costos por concepto de manejo de residuos peligrosos.
- No requiere cantidades específicas de RILES a tratar. Es susceptible de ser escalado de acuerdo a las necesidades de la industria.
- Ciclo corto y repetitivo. Entrega resultados en el corto plazo
- bajo nivel de inversión debido a las similitudes con el proceso actual.
- Periodo de implementación medio-bajo, debido a que requiere de estudios de laboratorio previos.
- Se trata de una metodología de manejo de RILES ampliamente utilizada. Es la tecnología utilizada hoy en día en los talleres de redes de la industria salmonicultora chilena para el manejo de sus RILES. La propuesta contempla mejorar el proceso básico utilizado.

6.4 Tratamiento Bioquímico

6.4.1 Antecedentes y Descripción

La utilización de bacterias en los procesos productivos y/o para el tratamiento de residuos, es una técnica cada vez más aplicada por las industrias a nivel global, ya que se pueden obtener resultados altamente efectivos y de manera limpia y ambientalmente sustentable. En Chile, una de las experiencias más destacada y ampliamente difundida, es la utilización de poblaciones biológicas para el procesamiento del cobre, en la

llamada “lixiviación bacteriana” donde, por medio de un proceso bacteriano, estas liberan fuerzas químicas y biológicas que degradan los sulfuros a formas solubles, a velocidades de medio a un millón de veces más rápidas que si estuvieran expuestos al aire y al agua en ausencia de bacterias. De modo similar, en el caso del uso de esta tecnología para el tratamiento de RILES, las bacterias actúan sobre los elementos presentes en el agua, obteniéndose como resultado agua limpia y libre de agentes contaminantes, en un tiempo mucho más reducido y con menor impacto que si se utilizaran otros métodos de tratamiento.

Dadas las particularidades propias de los riles que deben ser tratados en los talleres de redes, y que consisten básicamente en una solución con alto contenido de material orgánico y de óxido cuproso, principal componente de las pinturas antifouling utilizadas actualmente en la región, hacen que la búsqueda y determinación de una población bacteriana apropiada resulte complejo, principalmente por la alta toxicidad que caracteriza al óxido cuproso.

El proyecto de tratamiento bioquímico de RILES supone la generación de una población bacteriana compatible con el medio en cuestión y que sea capaz de degradar tanto los compuestos orgánicos como los metales pesados. Cabe señalar además que el tipo de tratamiento proyectado es de tipo aeróbico y se realiza en piscinas abiertas. Además, el proyecto contempla la recirculación de las aguas para disminuir la presencia de contaminantes que pudieran ser devueltos a los cursos de agua o napas subterráneas. Dadas las características pluviales de la región y para evitar tener exceso de riles a causa del ingreso de aguas lluvia al sistema de tratamiento, ya sea en el momento de lavado de las redes, en las piscinas de tratamiento o bien en el traslado, y la consiguiente disminución de su efectividad, se plantea techar completamente los sectores de lavado, tratamiento y todos aquellos por los que circulan los riles.

6.4.2 Objetivos y Alcances

Este proyecto tiene por objetivo central encontrar una población de bacterias tal que permita realizar un tratamiento eficiente y efectivo a los RILES resultantes del proceso de limpieza y lavado de redes salmoneras. Para ello se plantean como objetivos específicos:

- Realizar estudios químicos y biológicos a los riles, que permitan determinar y generar una población de bacterias apropiada para su tratamiento.
- Controlar las condiciones que permitan un óptimo resultado de tratamiento bacteriano de riles, para de esta manera reducir los contaminantes presentes en ellos y reducir la cantidad de lodos producida.
- Reducir la contaminación de los efluentes y cursos de agua cercanos por la reutilización de las aguas en el proceso de lavado de redes.

El proyecto en cuestión es susceptible de ser adoptado por los talleres de redes de la zona, para lo que previamente debe ser aprobado por el SEIA debido a que significa un cambio en el sistema de tratamiento de riles, manejo de lodos y evacuación de aguas.

6.4.3 Características

El tratamiento bioquímico de RILES es una alternativa altamente efectiva que permite, entre otras cosas:

- Reducción en la cantidad de lodos generados a partir del tratamiento.
- Mejoramiento de los procesos y cumplimiento de normativa, con lo que se refuerza el compromiso con el APL y disminuye riesgo de multas por exceso de elementos tóxicos.
- Disminución de costos por concepto de operación y mantención.
- Disminución de agentes contaminantes en efluentes y cursos de agua cercanos a talleres de redes.
- Altos costos en estudio de riles y poblaciones de bacterias compatibles
- Alto costo de inversión inicial en infraestructura y generación de población bacterial.

Además, esta técnica no requiere cantidades específicas de RILES a tratar. Es susceptible de ser escalado de acuerdo a las necesidades de la industria. Su ciclo moderadamente corto y repetitivo, entrega resultados en el corto plazo.

Se requiere para su ejecución Nivel de inversión medio-bajo, ya que requiere de estudios e infraestructura particulares. Por su parte, el periodo de implementación medio, debido a que requiere de estudios de laboratorio previos tendientes a determinar las y generar una población bacterial acorde al medio que debe tratarse. Además se requiere generar modificaciones en la infraestructura.

6.5 Antifouling Mecánico

6.5.1 Antecedentes y Descripción

Los métodos de cultivo actualmente empleados implican el confinamiento de los salmones en balsas jaulas con sistemas de redes para su contención. A este respecto, uno de los problemas que se les presenta dice relación con la acumulación de material orgánico en las paredes de dichas redes, lo que trae consigo una serie de efectos impropios para los peces, como lo son principalmente el obstaculizar el libre flujo de agua, reduciendo los niveles de oxígeno al interior de las jaulas, además esto provoca deformación en las mallas, lo que disminuye el espacio efectivamente disponible provocando estrés en los peces y el desgarrar en las redes por mayor peso, hecho que eventualmente podría derivar en un escape masivo de ejemplares desde los centros de cultivo³⁹. Por otra parte, los peces de aguas frías como truchas y salmones tienen mayores requerimientos de oxígeno que los de aguas cálidas. Por lo tanto resulta imprescindible mantener los niveles óptimos de este gas vital⁴⁰, lo que se dificulta en presencia de fouling.

³⁹ Proyecto "Sistema mecánico de oxigenación y antifouling, sin agentes químicos. Hacia una producción limpia de salmones". CONICYT: Repositorio Institucional: Ficha de Iniciativa de CIT.

⁴⁰ <http://hannalatino.com/noticias/147/oxigeno-oxyccheck.htm>

Hoy en día, la principal metodología utilizada para controlar la acumulación de biofouling en las artes de cultivo consiste en impregnarlas con pinturas anti-incrustantes que retardan la adherencia de organismos vivos en su superficie. Sin embargo, las dichas pinturas, cuyo principal agente activo es el óxido cuproso, traen consigo efectos nocivos para el medioambiente a causa de su alta toxicidad y gran persistencia. Si bien, las consecuencias de la utilización de este tipo de recubrimientos son principalmente visibles en tierra, y en particular en los talleres de redes donde se realizan los procesos de lavado de redes, tratamiento de riles e impregnación, también afectan al entorno marino cercano a los centros de cultivo, ya que esta pintura se va desprendiendo constantemente durante su estadía en el mar, situación que se torna más visible al momento de depositar las redes impregnadas en el agua.

Dadas las modificaciones realizadas al RAMA, que en su artículo 9° autoriza tanto el lavado de redes en plataformas flotantes como la limpieza in situ (situaciones que deben ser previamente aprobadas por la Autoridad Marítima), la utilización de un mecanismo de control de fouling y que además permita aumentar los niveles de oxigenación de las aguas al interior de las jaulas de cultivo, se torna una alternativa probable de ser adoptada y con importantes ventajas respecto de la utilización de recubrimientos en base a cobre. Cabe señalar que esta metodología es de carácter preventivo, ya que permite eliminar los elementos bióticos depositados en las redes en una etapa temprana.

6.5.2 Objetivos y Alcances

El objetivo central de este proyecto es proveer a la industria salmonicultora de una alternativa ecológica al uso actual de pinturas antifouling, así como también poder proveer a la misma de una alternativa eficiente de oxigenación. De manera más específica, los objetivos principales que persigue la adopción de esta tecnología son:

- Ofrecer un mecanismo que permita reemplazar la utilización de pinturas antifouling en los centros de cultivo por una tecnología menos nociva para el medio ambiente.
- Mantener las redes salmoneras libres de biofouling que produce perjuicios a causa del aumento en el peso de las redes y disminución de la transferencia de fluidos.
- Mantener niveles óptimos de oxigenación para las especies en cultivo mediante la utilización de una tecnología de bajo impacto medioambiental.

Dada la reciente aprobación de las modificaciones realizadas al RAMA, donde, entre otros aspectos, se autoriza la limpieza de redes in situ bajo ciertas condiciones como que no hubieren sido impregnadas con productos antifouling, esta alternativa se convierte en una opción altamente susceptible de ser adoptada por las empresas productoras

6.5.3 Características

Esta tecnología aún no se encuentra en desarrollo en la Universidad de la Santísima Concepción por parte de un grupo de investigadores. Sus principales cualidades son:

- Evita la proliferación de biofouling en redes sin necesidad de impregnación.
- Este sistema de limpieza de redes se realiza in situ, con lo que se disminuye el stress y mortalidad de los salmónidos producto del cambio de jaula.
- El sistema otorga oxigenación necesaria para los salmones en cultivo.
- No requiere externalizar la limpieza de redes.

Existen costos asociados a la adopción de la nueva tecnología: capacitación de personal, mantención, etc.

Los elementos adheridos a las redes son eliminados directamente al lecho marino, generándose contaminación.

Además, no presenta restricciones de escala ya que se trata de una alternativa aplicable a cada centro de cultivo de manera específica, siempre y cuando cuente con la autorización correspondiente por parte de la Autoridad Marítima.

Este sistema mecánico de limpieza y oxigenación aún no se encuentra disponible en el mercado, ni se tienen mayores antecedentes respecto de los resultados obtenidos a la fecha.

6.6 Antifouling Bacterial

6.6.1 Antecedentes y Descripción

En la acuicultura, el biofouling produce un gran impacto por los altos costos de mantención de los sistemas de redes jaula y redes loberas, y a causa de la reducción del rendimiento de los organismos en cultivo, quienes ven limitado su desarrollo al no encontrarse en condiciones óptimas para ello. De tal forma que disponer de productos antifouling no tóxicos para el ecosistema marino permitirá resolver una importante problemática tanto ambiental como económica.

La utilización de productos antifouling de origen bacteriano supone varias ventajas de tipo ambiental a un razonable costo para la industria acuícola⁴¹. Sin embargo, experiencias anteriores relacionadas con este tipo de propuestas no han dado resultados que satisfagan los requerimientos de la industria, por lo que no existe una buena predisposición para probar con antifouling bacteriales u otros basados en componentes activos de tipo bióticos.

6.6.2 Objetivos y Alcances

La utilización de pinturas antifouling de origen bacteriano persigue la disminución de los problemas ambientales provocados por los elementos tóxicos presentes en los recubrimientos que hoy lideran el mercado de anti- incrustantes. Así, el proyecto en cuestión tiene por objetivo fundamentar el generar una alternativa ambientalmente

⁴¹ Proyecto "Mejoramiento biotecnológico de la producción y aplicación de compuestos antifouling de origen bacteriano para la industria marina". CONICYT: Repositorio Institucional: Ficha de Iniciativa de CIT.

sustentable a la oferta de pinturas antifouling basadas en la utilización de óxido cuproso que hoy lideran el mercado nacional.

Este proyecto en particular aún no se encuentra disponible en el mercado, ya que está en proceso de desarrollo de prototipos y siendo sometido a pruebas de laboratorio.

6.6.3 Características

La similitud del proceso con el que se utiliza actualmente, exige generar mínimas variaciones de infraestructura y procedimiento, por lo que los costos de cambio generados a causa de la adopción de esta tecnología son mínimos.

En el caso de los talleres de redes, la utilización de pinturas de origen orgánico, reduce los niveles de contaminantes presentes en los riles, con lo que se facilita el proceso de tratamiento de los mismos. Al ser un compuesto de origen bacteriano, no genera aportes de metales pesados u otros contaminantes de difícil degradación, a la vez que reduce el impacto ambiental de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes y el reduce el impacto de la liberación de contaminantes en el mar a causa de la composición orgánica del recubrimiento.

El costo de este producto se prevé mayor que el de las pinturas antifouling en base a compuestos de cobre utilizadas actualmente.

Actualmente el proyecto se encuentra en desarrollo, por lo que no está en condiciones de ser adoptado de inmediato. El costo de este producto se prevé mayor que el de las pinturas antifouling en base a compuestos de cobre utilizadas actualmente.

6.7 Redes Semirrígidas

6.7.1 Antecedentes y Descripción

Las primeras redes que se utilizaron en el cultivo de salmones provenían de la pesca extractiva, por lo que su estructura y materiales no consideraban que estas redes se mantendrían bajo el agua permanentemente, durante prolongados periodos de tiempo. Para evitar los efectos nocivos producidos por la acumulación de fouling tanto en las redes como en la salud de los peces, es que deben ser sacadas del agua y lavadas periódicamente y así desprender el fouling acumulado en las mismas. Sin embargo, la rápida proliferación del biofouling hizo necesario buscar maneras de retardar este proceso, actualmente esto se realiza mediante la impregnación de las redes con pinturas anti-incrustantes que utilizan como principal componente activo óxidos de cobre, elemento de gran estabilidad química y toxicidad.

Las redes semirrígidas surgen como una solución específicamente creada para el cultivo de especies marinas; tienen alta resistencia, baja mantención y proveen defensa anti depredadores, factores necesarios para reducir los costos de producción por kilo.

En la actualidad algunas empresas productoras utilizan estas redes en sus centros de cultivo, sin embargo, la mayor parte de ellas continúan prefiriendo las redes de nylon y poliéster para la fabricación de sus jaulas.

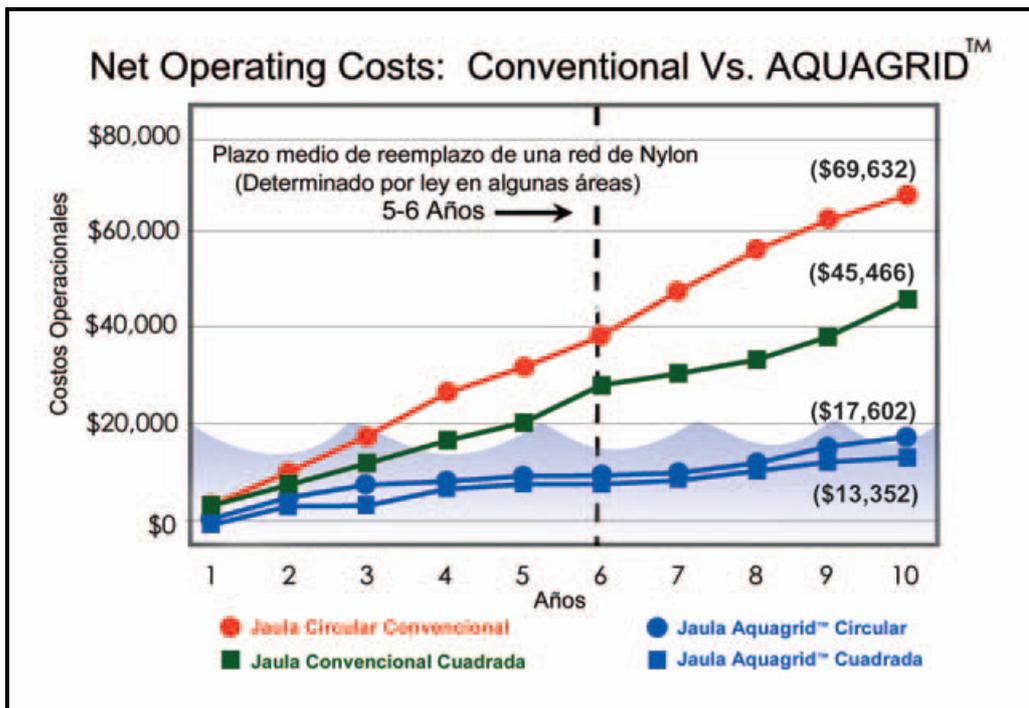
6.7.2 Objetivos y Alcances

De acuerdo a lo planteado por sus fabricantes, las redes semirrígidas son más resistentes, tienen costos de limpieza menores y mayor durabilidad, dando como resultado un costo por jaula de largo plazo menor que el de las redes de nylon. Por otra parte, su utilización supone la adopción de metodologías de limpieza in situ, ya que debido a su poca maniobrabilidad y gran peso no resulta viable su limpieza fuera del mar.

Es así que, la adopción de esta tecnología tiene por objetivos:

- Entregar una alternativa de redes especialmente creadas para ser utilizadas en centros de cultivo marinos.
- Reducir los costos asociados a la limpieza de redes a causa de la menor adherencia del biofouling y a la necesidad de realizar limpieza in situ.
- Otorgar un mayor tiempo de uso, como consecuencia del aumento de resistencia y durabilidad que poseen las redes semirrígidas.
- Evitar la utilización de pinturas antifouling nocivas para el medio ambiente y la propia producción.

Figura 12: Costos de operación promedio para jaulas de cultivo



Fuente: Aquagrid, Textiles Industriales.

6.7.3 Características

Las principales características de las redes semirrígidas consisten en:

- Ofrece mayor resistencia y estabilidad a causa de su tejido y recubrimiento.
- Su recubrimiento de PVC reduce la acumulación de biofouling, con lo que adicionalmente mejora el flujo de agua a través de la red.
- Material resistente a rayos UV.
- Mejor protección frente a depredadores.
- Se reducen los costos por kilo de salmón producido en el largo plazo.
- Requiere de una inversión mayor que en el caso de las redes de nylon y poliéster.
- Al ser semirrígidas se dificulta su maniobrabilidad.
- Su estructura de mayor rigidez y su compleja movilidad dificulta la reparación de trozos dañados en las artes de cultivo.
- La limpieza in situ necesaria para la adopción de esta alternativa, provoca la liberación no controlada de residuos de tipo orgánicos al lecho marino.

Además, su utilización no presenta restricciones de escala ya que se trata de una alternativa aplicable a cada centro de cultivo de manera específica. Cabe señalar que la utilización de esta tecnología exige la limpieza in situ debido a las características propias de las jaulas. Se trata de un sistema probado en Chile y el extranjero y que cumple con certificación de calidad noruega.

6.8 Redes de Cobre

6.8.1 Antecedentes y Descripción

Para retardar la acumulación de fouling en las artes de cultivo, la alternativa más utilizada en la actualidad es la impregnación de las redes con pinturas anti-incrustantes, las que en su mayoría están compuestas en base a óxido cuproso, esto debido a las características antimicóticas y biocidas demostradas por el cobre.

Para buscar una alternativa de menor impacto ambiental y mayor efectividad que la que ofrecen hoy en día las pinturas antifouling, Codelco Chile, en conjunto con las empresas japonesas Sambo Cooper Alloy Co. Ltd. y Ashimori Industry Co. Ltd., apoyados por INTESAL, está realizando una inversión de US\$ 400.000. Se trata de un proyecto enfocado a probar el uso de la red de cobre denominada “Aleación UR30”, en las mallas de las balsas jaulas de salmonicultura⁴².

Las mallas de cobre (aleación UR30) se presentan como una solución a la acumulación de fouling que se produce en las jaulas, mayoritariamente confeccionadas de materiales vulnerables a la contaminación, acumulación de algas, moluscos, crustáceos y bacterias, lo que obliga a realizar limpieza periódica de redes, generando costo económico y menor crecimiento de los peces por la falta de oxígeno al interior de las mallas. Gracias a la cualidad antibacteriana del cobre, las nuevas jaulas, cuya vida útil es de entre tres y cinco años, se evitarían los altos costos por concepto de lavado de

⁴² *Nuevas Alternativas de Redes Rígidas y Semi-rígidas para el Cultivo de Peces. Mayling Tang, SalmoCiencia*

redes. Cuestan 40% más, pero como no necesitan limpieza ofrecen un mejor desarrollo de los peces y son totalmente reciclables⁴³.

6.8.2 Objetivos y Alcances

Según investigaciones realizadas a la fecha, el poder antifouling del cobre permite disminuir el costo de mantención por limpieza de redes y el estrés de los peces al reducir los manejos, logrando reducir el costo por infraestructura, pues se puede reciclar la instalación una vez concluida su vida útil en el mar.

Los gastos asociados a pérdidas por ataques de lobos marinos y fouling son aproximadamente US\$300 por tonelada de salmón producido. “Con esto, se rebajarían los costos en 30% o 40%”, dice Víctor Pérez, presidente de ProCobre-Chile y director de marketing de Codelco, quien resalta que “se espera la masificación de esta solución en 10 años, tanto en Chile como en el mundo”.

6.8.3 Características

Si bien podría llegar a plantearse como una buena alternativa de redes jaula por su durabilidad y acción biocida, este producto aún no se encuentre disponible en el mercado. Las principales características que se exhiben de este proyecto son:

- Las redes de cobre son altamente efectivas evitando la acumulación de biofouling.
- Su duración y resistencia es muy superior a la que presentan las redes de nylon y las redes semirrígidas.
- No libera contaminantes inorgánicos al lecho marino como en el caso de las pinturas en base a óxidos de cobre.
- Ofrece mucha mayor seguridad ante ataque de depredadores.
- Las estructuras permiten ser recicladas una vez que se desechen, lo que disminuye los residuos producidos a la vez que genera ingresos por concepto de la venta de este valioso metal.
- Las redes de cobre macizo tienen un costo mucho mayor en relación a las de nylon que se utilizan hoy en día.
- Teniendo en cuenta la fabricación de balsas jaula de las dimensiones requeridas por la industria, el peso de este material es demasiado, lo que dificulta su viabilidad técnica.
- El cobre es un material altamente conductor, característica que se acentúa en contacto con el agua salina, pudiendo provocar campos electromagnéticos.
- Puede generar problemas en presencia de tormentas eléctricas.
- Dada su estructura rígida de gran tamaño, son de muy difícil maniobrabilidad.

⁴³ <http://www.prompex.gob.pe/alertagim/is02-01-06.htm#top>

6.9 Pintura de Quitosano-Cobre

6.9.1 Antecedentes y Descripción

Para combatir la acumulación de fouling, las redes dedicadas al cultivo son tratadas con pinturas desarrolladas en base a óxido de cobre, el que tiene un efecto biocida. El problema es su fijación: gran parte de la pintura y el cobre se pierden cuando las redes entran en contacto con el agua, con un efecto medioambiental importante. La utilización de quitosano como matriz para la elaboración de pinturas antifouling permitirá, por un lado, disminuir las cantidades de cobre y, por otro, mejorar los niveles de retención tanto de la pintura como del metal. De este modo se disminuirá la cantidad de cobre y pintura liberado al ambiente, prolongando la efectividad del tratamiento biocida y aumentando la duración de las redes, lo que contribuirá a disminuir los gastos asociados a su mantención.

En la actualidad el investigador de la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción, Galo Cárdenas, se encuentra desarrollando y probando prototipos de pinturas de quitosano-cobre con la colaboración y financiamiento de Fondef, INTESAL, empresas productoras, talleres de redes y la propia universidad. Los ensayos realizados a la fecha muestran un nivel de efectividad respecto del control del biofouling muy similar al observado en las pinturas actualmente en uso en el país.

Este nuevo producto de fabricación nacional supone la importación de la quitina⁴⁴, y a partir de ella generar el quitosano de acuerdo a las especificaciones requeridas para la elaboración de la pintura en conjunto con óxido de hierro, óxido de cobre y un adhesivo adecuado para la solución.

6.9.2 Objetivos y Alcances

La pintura de quitosano-cobre supone dar una solución ambientalmente sustentable al problema de las incrustaciones (fouling) de bacterias, algas, invertebrados (crustáceos, moluscos, nematodos, briozoos, anélidos) que se fijan y colonizan las redes con que se disponen los peces en el mar obstruyendo la renovación del agua.

El proyecto se ha estructurado en base a los siguientes objetivos:

- Elaborar de pinturas antifouling de matriz quitosano-cobre.
- Comparar su efectividad frente a pinturas tradicionales.

En relación a lo anteriormente expuesto hoy se tienen resultados de las pruebas realizadas sobre los prototipos de pinturas ensayados, obteniéndose un alto nivel de efectividad, comparable al que ofrecen las pinturas de mayor presencia en el mercado, pero con un impacto mucho menor al que estas presentan.

⁴⁴ La quitina es un polisacárido que forma el recubrimiento muy resistente que poseen la mayoría de los artrópodos.

6.9.3 Características

La pintura de quitosano-cobre se percibe como una atractiva alternativa para la disminución de contaminantes, esto principalmente debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas realizadas. Si bien este producto aún no está presente en el mercado, se prevé su pronto ingreso.

A continuación se presentan algunas características relevantes para el análisis de esta alternativa.

- La similitud del proceso con el que se utiliza actualmente, exige generar mínimas variaciones de infraestructura y procedimiento, por lo que los costos de cambio generados a causa de la adopción de esta tecnología son escasos.
- La pintura de quitosano-cobre genera un impacto ambiental muy por debajo del que hoy presenta la utilización de pinturas en base a óxido cuproso, ya que se disminuye la utilización de este compuesto metálico de un 30% a tan sólo un 5% del mismo.
- Algunas de las pinturas antifouling utilizadas hoy en día utilizan xileno⁴⁵ en su composición, elemento que no está presente en la pintura de quitosano-cobre.
- La pintura de quitosano-cobre tendrá un costo aproximado del doble que las pinturas en base a óxido de cobre que hoy lideran el mercado.
- No presenta restricciones de escala ya que se trata de una alternativa aplicable a cada red de centros de cultivo de manera específica e independiente.

6.10 Limpieza In Situ

6.10.1 Antecedentes y Descripción

Con fecha 8 de enero de 2008 fue modificado el RAMA, estableciéndose, entre otras cosas, la autorización de realizar limpieza in situ a los artes de cultivo no impregnados con pinturas anti-incrustantes que contengan como agente activo elementos tóxicos no degradables o bioacumulables y que cuenten con la autorización de la Autoridad Marítima⁴⁶. Cabe señalar, que si bien el DS N°320 modificado permite la limpieza in situ, su realización puede llevarse a cabo sólo bajo las condiciones anteriormente señaladas, situación que debe ser resguardada y fiscalizada por la entidad antes mencionada. Sin embargo, la alta densidad de centros de cultivo ubicados entre las regiones de La Araucanía y de Magallanes dificulta el control y fiscalización de la normativa vigente por parte de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, lo que puede redundar en un abuso de esta por parte de algunas empresas de la industria.

Esta es una técnica de control de biofouling ampliamente utilizada en países como Canadá y Noruega (principales competidores de la industria salmonicultora chilena),

⁴⁵ Xileno: Químico industrial que se encuentra en varios solventes u otros químicos usados por industrias y laboratorios. Es extremadamente tóxico.

⁴⁶ DGTM y MM: Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante.

debido a que sus normativas medioambientales son severas respecto de la utilización de elementos tóxicos como el óxido cuproso.

Para realizar limpieza in situ existen básicamente dos tipos de tecnología en el mercado: la primera y más ampliamente utilizada, funciona por medio del uso de presión de agua para eliminar los elementos bióticos de la superficie de las redes, siendo estos expulsados al lecho marino, donde degradan por acción del medio; la segunda alternativa consiste en la utilización de sistemas de aspiración que absorben el biofouling presente en las redes, esta metodología, si bien presenta un menor impacto para el medio, es menos eficiente ya que junto con aspirar los elementos adheridos en las redes, también absorbe gran cantidad de agua a causa de la morfología propia de las superficies que aspira.

6.10.2 Objetivos y Alcances

La modificación al RAMA que permite la limpieza in situ de redes en los centros de cultivo ubicados en el mar tiene por objetivo fundamental la disminución de costos asociados al proceso de lavado de redes en tierra, a la vez que favorece la reducción de elementos tóxicos en el mar. De manera más específica, la limpieza in situ persigue:

- Reducir los costos asociados a la eliminación del biofouling que se deposita en los artes de cultivo.
- Disminuir la presencia en el mar de elementos tóxicos como consecuencia de la actividad acuícola.
- Realizar limpieza preventiva de redes que evite la acumulación masiva de incrustaciones bióticas.
- Reducir los costos indirectos provocados por la mortalidad y stress de los peces a causa del cambio de jaulas necesario para efectuar el lavado de redes en tierra.

6.10.3 Características

La aprobación de las modificaciones realizadas al RAMA en relación a la limpieza in situ hacen que esta alternativa tenga principal relevancia.

Dentro de las cualidades y características principales de este proceso, se cuentan:

- Evita la proliferación de biofouling en redes sin necesidad de impregnación.
- Disminuye el stress y mortalidad de los salmónidos producto del cambio de jaula.
- No requiere externalizar la limpieza de redes.
- Se reducen notablemente los costos asociados a la limpieza de redes
- Existen costos asociados a la adopción de la nueva tecnología: capacitación de personal, mantención, etc.

- La adopción de esta metodología requiere inversión en redes no tratadas en el caso de transitar desde la utilización de pinturas anti-incrustantes a limpieza in situ.
- Tramitación de solicitud de autorización por parte de la autoridad marítima.
- Los sistemas de aspiración, que producen menos impacto ambiental, son menos eficientes, y por lo tanto generan mayor costo.
- En el caso de sistemas de remoción de residuos, los elementos adheridos a las redes son eliminados directamente al lecho marino, generándose contaminación

Cabe señalar que esta alternativa no presenta restricciones de escala ya que se trata de una alternativa aplicable a cada centro de cultivo de manera específica, siempre y cuando cuente con la autorización correspondiente por parte de la Autoridad Marítima.

Esta metodología es ampliamente utilizada en países como Canadá y Noruega, principales competidores de la industria salmonicultora chilena. Sin embargo, su aprobación en Chile es reciente (Enero de 2008) y requiere de autorización caso a caso.

6.11 Pintura “Biodeg”

6.11.1 Antecedentes y Descripción

Para retardar la acumulación de biofouling en las artes de cultivo de salmónidos, la alternativa más ampliamente utilizada es la impregnación de ellas con pinturas anti-incrustantes con altos contenidos de óxido cuproso, compuesto biocida inorgánico de gran efectividad, pero que produce consecuencias indeseables para el medioambiente debido a su alta toxicidad y gran estabilidad.

Para dar una alternativa ecológica y comercialmente atractiva a la industria del salmón, la empresa Sherwin Williams desarrollo una pintura antifouling que en lugar de utilizar metales pesados en su composición, recurre a biocidas orgánicos fácilmente degradables actuando bajo un proceso de lixiviación controlado que impide la adherencia de biofouling a las redes.

6.11.2 Objetivos y Alcances

La incorporación de Biodeg tiene por objetivo central la disminución de los agentes tóxicos estables (en particular metales pesados) que contienen actualmente las pinturas anti-incrustantes que lideran el mercado nacional. De manera más específica, la adopción de este producto persigue:

- Prevenir el aumento de peso desmedido de la red (que provoca un riesgo en la resistencia y durabilidad de esta).
- Cuidar la oxigenación de los peces al interior de las redes.
- No contaminar los fondos marinos ni dañar otros cultivos cercanos, ya que no tiene cobre.

- Ayudar al proceso de la red produciendo residuos de menor toxicidad, lo que facilita su manejo y reduce los costos asociados a su tratamiento y disposición final.

Al tratarse de una alternativa de características de aplicación muy similares a las que hoy presentas las pinturas antifouling de uso masivo, su adopción no requiere de mayores variaciones en el proceso.

6.11.3 Características

Biodeg es una pintura antifouling de reciente aparición en el mercado nacional. Ha sido desarrollado y probado en laboratorios y centros chilenos con muy buenos resultados.

De manera general, las principales características que describen este producto, son las que se muestran a continuación.

- Tratamiento de RILES efectivo de acuerdo a pruebas realizadas.
- La similitud del proceso con el que se utiliza actualmente, exige generar mínimas variaciones, por lo que los costos de cambio generados a causa de la adopción de esta tecnología son escasos.
- En el caso de los talleres de redes, la utilización de pinturas de origen orgánico, reduce los niveles de contaminantes presentes en los riles, con lo que se facilita el proceso de tratamiento de los mismos.
- Producto presente en el mercado nacional, por lo que es de fácil adquisición.
- Mejoramiento de los procesos y cumplimiento de normativa, con lo que se refuerza el compromiso con el APL tanto de talleres de redes como de la industria salmonera.
- Disminución de agentes contaminantes en efluentes y cursos de agua cercanos a talleres de redes.
- Reducción de agentes tóxicos y contaminantes inorgánicos en el mar.
- Al ser un compuesto esencialmente orgánico, no genera aportes de metales pesados u otros contaminantes de difícil degradación.
- Reduce el impacto ambiental de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes.

6.12 Generación de Energía

6.12.1 Antecedentes y Descripción

Dos de los principales problemas a resolver en la Región de Aysén están relacionados con la energía y el manejo de residuos. En el primer caso debido a la escasez de esta en la zona y a la dificultad y alto costo que tiene el traslado de la misma hacia sectores apartados, en el caso del manejo de residuos en tanto, la mayor parte de los vertederos y rellenos sanitarios de la región se encuentran colapsados, lo que ha dado paso a que

se originen múltiples vertederos ilegales que atentan contra la salud de las personas y el valioso ecosistema de la zona.

Una opción para estos problemas es la generación de biogás a partir de los residuos orgánicos. De este modo, todos los residuos orgánicos (RILES o RISES) generados se descomponen en biodigestores capaces de captar el gas y, por medio de un proceso adicional, obtener energía eléctrica.

Este sistema, si bien entrega beneficios importantes, requiere de ciertas cantidades mínimas de insumos para que resulte rentable.

Dadas las características particulares de este sistema, resulta necesario realizar estudios orientados a determinar la carga orgánica de los residuos para estimar los volúmenes mínimos requeridos para hacer rentable el proyecto.

6.12.2 Objetivos y Alcances

La utilización de biodigestores para la generación de gas tiene como principal objetivo el utilizar los residuos generados por la industria (en este caso particular) para disminuir el aporte de desechos y los costos asociados a su manejo, mientras se obtienen los beneficios que provienen de la obtención de energía limpia, a bajo costo y con un mínimo impacto para el medio ambiente.

Las principales características de esta tecnología dice relación con⁴⁷:

- Los residuos deben estar libres de químicos, ya que los biodigestores funcionan por medio de la acción de bacterias que pueden ser afectadas por estos productos.
- Las plantas son automatizadas, por lo que no requieren de operadores, sino sólo de un supervisor.
- Las plantas son compactas, por lo que no presentan gran requerimiento espacial.
- Como resultado de este proceso se obtiene como subproductos: gas (para generar electricidad) y lodo estabilizado (para ser utilizado como fertilizante).
- Se deben mantener cantidades constantes de insumos (desechos) para generar cantidades apropiadas de gas.
- Se genera entre un 75% y 80% de gas metano.

6.12.3 Características

Dada la coyuntura energética, y en particular teniendo en cuenta la necesidad de generar energías renovables, es que resulta atractiva la posibilidad de obtenerla a partir de un manejo adecuado de residuos. La alternativa propuesta se trata de una tecnología cada vez más utilizada tanto a escala industrial como doméstica por su efectividad, eficiencia y sustentabilidad. En Chile existen empresas con experiencia en el desarrollo de este tipo de proyectos.

⁴⁷ Información otorgada por la empresa MINIMET.

Así, las principales características que delinear esta alternativa son las que se presentan a continuación.

- Generación de energía a partir de los residuos.
- Bajo requerimiento de espacio y mano de obra.
- Disminución de costos por conceptos de manejo y disposición final de residuos.
- Reducción de residuos dispuestos en vertederos o rellenos sanitarios.
- Ampliable para la recepción de residuos industriales y domiciliarios.
- Generación de energía limpia.
- Solución ambientalmente sustentable.
- Existen costos requeridos para el estudio e inversión inicial.

Cabe señalar que este proyecto corresponde a uno de tipo externo que requiere la participación de la industria e incluso puede ser ampliable al resto de los sectores industriales de la zona (exclusivo para residuos de tipo orgánico).

6.13 Fabricación de Materiales

6.13.1 Antecedentes y Descripción

En la región de Aysén no existen rellenos sanitarios habilitados para disponer residuos con las características particulares de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes salmoneras, los que por tener un alto contenido de cobre son catalogados por la autoridad sanitaria de la zona como residuos peligrosos. Esto tiene por consecuencia que dichos lodos deban ser trasladados hacia rellenos sanitarios habilitados fuera de la región, debiendo asumir los talleres de redes los costos de su traslado y disposición final, los que bordean aproximadamente \$40.000 por cada m³.

La generación de lodos, en los talleres de redes crece de igual manera que lo hace la industria salmonera en la región, por lo que resulta fundamental el encontrar soluciones para evitar la acumulación de estos residuos y disminuir los costos asociados a su manejo.

La alta concentración de metales pesados presentes en este tipo de residuos no hace viable su utilización para fines agrícolas, como si ocurre con los sedimentos generados por los centros de cultivos. Es así que, una alternativa propuesta por los mismos talleres de redes, consiste en estudiar factibilidad técnica de utilizar estos lodos para la fabricación de materiales de construcción.

6.13.2 Objetivos y Alcances

El objetivo principal, que persigue la utilización de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes como materiales de construcción, es reducir los altos costos de manejo que estos requieren para su traslado y disposición final. De manera más detallada, se quiere:

- Generar subproductos tales como materiales de construcción a partir de los residuos generados.
- Reducir los costos generados por concepto de manejo de residuos considerados peligrosos.

Dada la composición de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes salmoneras, que se caracteriza por una alta presencia de elementos contaminantes inorgánicos, además de residuos orgánicos (biofouling), la fabricación de materiales resulta una alternativa inviable, ya que, por una parte, los elementos tóxicos presentes pueden traer consecuencias indeseadas para la salud, mientras que los componentes bióticos presentes tenderán a degradarse en el corto plazo.

6.13.3 Características

La fabricación de materiales a partir de los lodos obtenidos del proceso de limpieza de redes presenta problemas serios, ya que gran parte de la composición de dichos lodos es materia orgánica que se descompondrá, mientras por otra parte, los elementos contaminantes podrían causar problemas a la salud al estar en contacto prolongado con ellos.

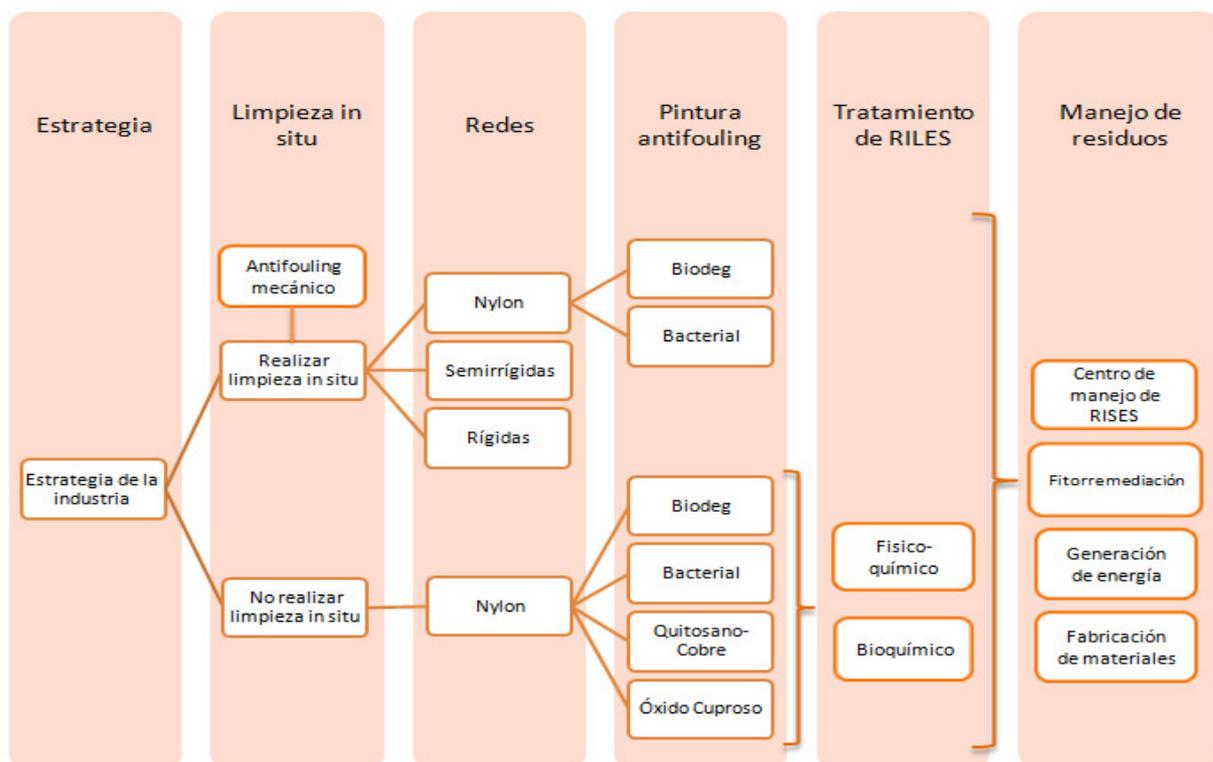
Obviando lo anteriormente expuesto, la concreción de esta alternativa podría tener efectos como:

- Reducción de costos por concepto de manejo de residuos
- Generación de utilidades por la venta de subproductos generados a partir de los residuos.
- La generación de materiales a base de compuestos con presencia de elementos tóxicos puede provocar daños para la salud de la población que los utilice.
- La utilización de materiales realizados con residuos orgánicos degradan en el corto plazo.

6.14 Proceso de Jerarquización de Alternativas

El proceso de toma de decisión asociado al presente caso en estudio reviste características particulares que hacen necesaria su segmentación en una serie de problemas de menor complejidad. Esto se debe principalmente a que no existe un único agente decisor ni una única alternativa posible para alcanzar el objetivo, sino más bien el problema se puede modelar como un árbol de decisiones (ver Figura 13) que permite elegir una alternativa para cada uno de sus niveles, los que a su vez dependen de diferentes participantes de la industria y no de una entidad central. De esta manera, la solución óptima estará dada por una estrategia y no una única alternativa, lo que a la vez supone la realización de una serie de análisis jerárquicos multicriterio, para cada una de las etapas o niveles de este árbol.

Figura 13: Árbol de Decisión y Ordenamiento Lógico



- 1°
 - En el nuevo escenario que se presenta luego de las modificaciones realizadas al RAMA que, entre otras cosas, ahora permite la limpieza de redes in situ, hace que esta sea la primera decisión que deba tomarse por parte de las empresas productoras.
- 2°
 - Si la empresa productora decide realizar limpieza in situ, entonces debe elegir el tipo de redes que utilizará, las que no podrán estar impregnadas con pinturas que contengan óxido de cobre.
 - Si no se realizará limpieza in situ, se debe utilizar redes de nylon que si pueden ser tratadas y por la maniobrabilidad que estas permiten.
- 3°
 - En el caso que se utilicen redes de nylon en conjunto con limpieza in situ, se puede optar por la utilización de Biodeg
 - Si no se realiza limpieza in situ, las alternativas de recubrimiento son: Biodeg y Quitosano-Cobre.
- 4°
 - Los RILES provenientes del lavado de redes con antiincrustante podrán ser tratados con alguno de los siguientes métodos: Fisicoquímico actual, Fisicoquímico modificado o Bioquímico.
- 5°
 - Por último, para el manejo de residuos las alternativas son complementarias por lo que no es necesario optar por alguna de las opciones posibles

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que el orden lógico descrito en el modelo anterior para la toma de decisiones conducente a una estrategia de la industria para la reducción de contaminantes y residuos peligrosos, corresponde al resultado del análisis que se ahí se detalla.

Previo a la elaboración de criterios y jerarquización de alternativas, se ha decidido descartar algunas de ellas, ya que de acuerdo al análisis anteriormente realizado se ha establecido que no cumplen con las condiciones necesarias para este tipo de análisis. A continuación se detallan las alternativas eliminadas y las causas que determinaron esta decisión a priori:

- **Fabricación de Materiales:** Esta alternativa presenta serias deficiencias técnicas para su ejecución, que radican principalmente en la composición de los lodos resultantes del proceso de lavado de redes y que por ende hacen inviable su utilización para los fines descritos.
- **Antifouling Bacterial:** El estado de avance que presenta el proyecto de investigación en cuestión, y que se lleva a cabo en la Universidad de Antofagasta, no presenta resultados tales que hagan posible su comparación en base a datos reales con las otras alternativas ya en uso o en etapa de piloto y que por tanto entregan datos reales, verificables y comparables.
- **Antifouling Mecánico:** Esta alternativa corresponde básicamente a un sistema de limpieza in situ que además posee otras aplicaciones, sin embargo, no será analizada debido a que no existe otra tecnología identificada con la cual pueda ser comparada, por lo que la decisión en esta etapa se acota a elegir entre la adopción o no de la técnica de limpieza in situ.
- **Red de Cobre:** Esta alternativa no será considerada en este análisis, ya que de acuerdo a la opinión de expertos, la utilización de una jaula de cobre de las dimensiones requeridas para un centro de cultivo presenta varios inconvenientes tanto de tipo técnico, como de seguridad (conductividad eléctrica, peso, etc.).

6.15 Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico

A continuación se muestra el análisis realizado para cada uno de los cuatro procesos de toma de decisiones involucrados en el sistema descrito para encontrar una estrategia adecuada a las necesidades propias de la industria.

6.15.1 Limpieza in situ

1. Objetivo: Decidir si realizar limpieza in situ o no
2. Criterios:
 - i. Costo
 - ii. Mortalidad
 - iii. Impacto ambiental

iv.

3. Alternativas:

- i. Solicitar permiso para realizar limpieza in situ
- ii. No realizar limpieza in situ

A partir de lo anterior se tiene la siguiente tabla de jerarquización de criterios y de alternativas para cada uno de ellos.

IN SITU	COSTO	MORTALIDAD	I.AMB.	Ponderadores
COSTO	1	1/3	4	0,279687511
MORTALIDAD	3	1	5	0,626696471
I.AMB.	1/4	1/5	1	0,093616018

COSTO	CON	SIN	Ponderadores
CON	1	4	0,8
SIN	1/4	1	0,2

MORTALIDAD	CON	SIN	Ponderadores
CON	1	3	0,75
SIN	1/3	1	0,25

I.AMB.	CON	SIN	Ponderadores
CON	1	1/3	0,25
SIN	3	1	0,75

IC = 4,3%

Luego, al analizar los valores obtenidos se tiene el siguiente resultado:

	COSTO	MORTALIDAD	I.AMB.	
IN SITU	0,27968751	0,62669647	0,09361602	IN SITU
CON	0,8	0,75	0,25	0,71717637
SIN	0,2	0,25	0,75	0,28282363

Por lo tanto, se opta por realizar limpieza in situ.

6.15.2 Elección de redes

1. Objetivo: Decidir el tipo de redes que se usará
2. Criterios:
 - i. Costo
 - ii. Durabilidad
 - iii. Maniobrabilidad
 - iv. Riesgo de fuga
3. Alternativas:
 - i. Nylon
 - ii. Acuagrid

A partir de lo anterior se tiene la siguiente tabla de jerarquización de criterios y de alternativas para cada uno de ellos.

REDES	COSTO	DURABILIDAD	MANIOBRABILIDAD	FUGA	Ponderadores
COSTO	1	1/4	2	1/3	0,128517004
DURABILIDAD	4	1	3	1/2	0,314801082
MANIOBRABILIDAD	1/2	1/3	1	1/5	0,0859445
FUGA	3	2	5	1	0,470737414

COSTO	NYLON	ACUAGRID	Ponderadores
NYLON	1	7	0,875
ACUAGRID	1/7	1	0,125

DURABILIDAD	NYLON	ACUAGRID	Ponderadores
NYLON	1	1/5	0,166666667
ACUAGRID	5	1	0,833333333

MANIOBRABILIDAD	NYLON	ACUAGRID	Ponderadores
NYLON	1	5	0,833333333
ACUAGRID	1/5	1	0,166666667

FUGA	NYLON	ACUAGRID	Ponderadores
NYLON	1	1/6	0,142857143
ACUAGRID	6	1	0,857142857

IC = 4%

Luego, al analizar los valores obtenidos se tiene el siguiente resultado:

REDES	COSTO	DURABILIDAD	MANIOBRABILIDAD	FUGA	REDES
	0,128517	0,31480108	0,0859445	0,47073741	
NYLON	0,875	0,16666667	0,83333333	0,14285714	0,30378784
ACUAGRID	0,125	0,83333333	0,16666667	0,85714286	0,69621216

Por lo tanto, se opta por la utilización de redes Acuagrid (en el caso de elegirse limpieza in situ).

6.15.3 Pinturas

1. Objetivo: Decidir el tipo de pintura con que se impregnarán las redes de nylon
2. Criterios:
 - i. Costo
 - ii. Impacto ambiental
 - iii. Efectividad comprobable.
3. Alternativas:
 - i. Biodeg
 - ii. Quitosano-Cobre

A partir de lo anterior se tiene la siguiente tabla de jerarquización de criterios y de alternativas para cada uno de ellos.

	COSTO	I. AMB.	EFFECT.	Ponderadores
COSTO	1	3	2	0,547216435
I. AMB.	1/3	1	2	0,263074223
EFFECT.	1/2	1/2	1	0,189709342

COSTO	BIODEG	Q-CU	Ponderadores
BIODEG	1	1/2	0,333333333
Q-CU	2	1	0,666666667

I. AMB.	BIODEG	Q-CU	Ponderadores
BIODEG	1	3	0,75
Q-CU	1/3	1	0,25

EFFECT.	BIODEG	Q-CU	Ponderadores
BIODEG	1	2	0,666666667
Q-CU	1/2	1	0,333333333

IC = 6,8%

Luego, al analizar los valores obtenidos se tiene el siguiente resultado:

	COSTO	I. AMB.	EFFECT. COMPROBADA	
PINTURA	0,54721643	0,26307422	0,18970934	PINTURA
BIODEG	0,33333333	0,75	0,66666667	0,50618404
QUITOSANO	0,66666667	0,25	0,33333333	0,49381596

Por lo tanto, se opta por Biodeg (aunque al ser mínima la diferencia entre ambas pinturas no provoca un cambio importante si se opta por Quitosano-Cobre).

6.15.4 Tratamiento de RILES

1. Objetivo: Elegir método de tratamiento de RILES
2. Criterios:
 - i. Costo
 - ii. Impacto Ambiental
 - iii. Efectividad
3. Alternativas:
 - i. Tratamiento fisicoquímico actual
 - ii. Tratamiento fisicoquímico modificado
 - iii. Tratamiento Bioquímico

A partir de lo anterior se tiene la siguiente tabla de jerarquización de criterios y de alternativas para cada uno de ellos.

TRATAMIENTO	COSTO	I.AMB.	EFFECT.	Ponderadores
COSTO	1	5	3	0,648329014
I.AMB.	1/5	1	1/2	0,122020192
EFFECT.	1/3	2	1	0,229650794

COSTO	FQ. ACTUAL	FQ.MODIF	BIOQUIMICO	Ponderadores
FQ. ACTUAL	1	3	4	0,625013074
FQ.MODIF	1/3	1	2	0,238487123
BIOQUIMICO	1/4	1/2	1	0,136499803

I.AMB.	FQ. ACTUAL	FQ.MODIF	BIOQUIMICO	Ponderadores
FQ. ACTUAL	1	1/3	1/4	0,121957193
FQ.MODIF	3	1	1/2	0,319618264
BIOQUIMICO	4	2	1	0,558424543

EFACT.	FQ. ACTUAL	FQ.MODIF	BIOQUIMICO	Ponderadores
FQ. ACTUAL	1	1/4	1/5	0,097390069
FQ.MODIF	4	1	1/2	0,333069351
BIOQUIMICO	5	2	1	0,569540579

IC < 1%

Luego, al analizar los valores obtenidos se tiene el siguiente resultado:

	COSTO	I.AMB.	BIOQUIMICO	TRATAMIENTO
TRATAMIENTO	0,64832901	0,12202019	0,22965079	
FQ. ACTUAL	0,62501307	0,12195719	0,09739007	0,44246106
FQ.MODIF	0,23848712	0,31961826	0,33306935	0,27010764
BIOQUIMICO	0,1364998	0,55842454	0,56954058	0,2874313

Por lo tanto, se opta por mantener es sistema actual de tratamiento, recordando que está sujeto además a un cambio en la pintura antiincrustante.

Capítulo 7: Propuesta

La industria acuícola en general y en particular aquella dedicada al cultivo de salmónidos en Chile, utiliza principalmente pinturas anti-incrustantes para controlar el biofouling que se acumula en las redes peceras y redes loberas que conforman los centros de cultivo, produciendo efectos nocivos para el desarrollo de los peces y la vida útil de las propias redes. Sin embargo, el alto contenido de elementos nocivos que contienen las pinturas antifouling y la contaminación que se produce a causa de su uso,

hace que sea prioritario el generar propuestas que conduzcan hacia sistemas que provoquen un menor impacto ambiental y que ayuden al desarrollo sustentable de la actividad.

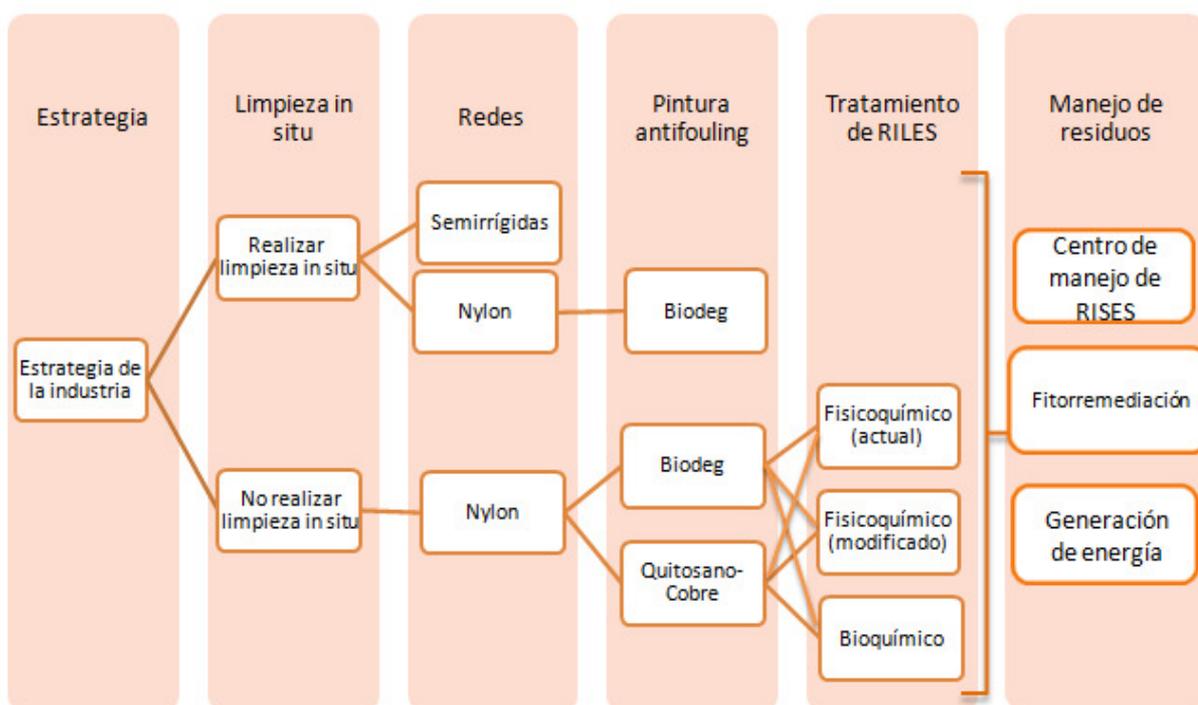
En los capítulos anteriores del presente documento se han identificado y analizado trece alternativas que buscan, desde diferentes ángulos, ofrecer mejoras al proceso actual de manejo de redes y de residuos asociados a este. Así, ha sido posible analizar cualitativamente diversos aspectos.

Luego de realizar un primer proceso de selección de alternativas en base a la factibilidad de las mismas, se logró descartar cuatro de ellas:

- Fabricación de Materiales:
- Antifouling Bacterial
- Antifouling Mecánico
- Red de Cobre

Quedando con una estructura de decisión como la que se muestra a continuación.

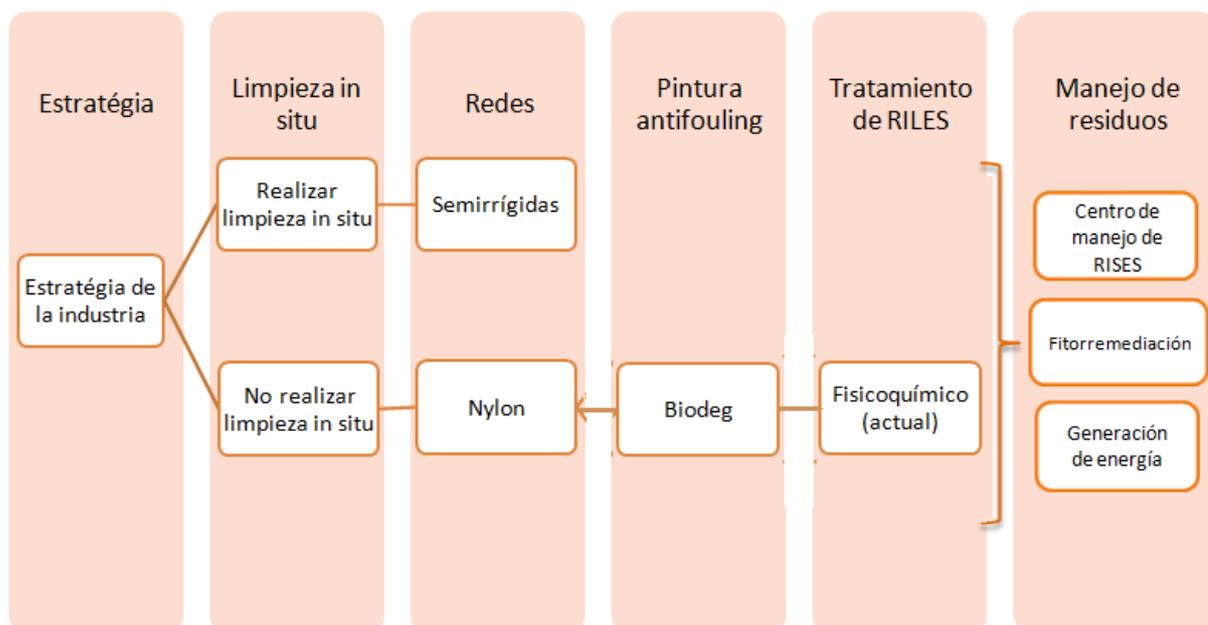
Figura 14: Árbol de decisión (Estrategia para el manejo de redes)



Fuente: Elaboración propia

En base al análisis jerárquico realizado en el capítulo anterior se ha generado dos propuestas, aunque una de ellas es predominante.

Figura 15: Estrategias



Fuente: Elaboración propia

Estrategia dominante:

- Realizar limpieza in situ
- Utilizar redes semirrígidas

Estrategia alternativa:

- No realizar limpieza in situ
- Utilizar redes de nylon
- Utilizar inturas Biodeg
- Mantener el método de tratamiento de RILES (se sugiere optimizarlo incluyendo aspectos como recirculación de agua).

Por último, se propone también la incorporación de las alternativas agrupadas en la etapa de manejo de residuos.

La industria chilena del salmón y la trucha, si bien se encuentra dentro de las que lideran el mercado mundial de este producto, requiere mejorar sus procesos de manera constante, tanto para aumentar su eficiencia, como para mantener altos estándares de calidad y de control que le permitan seguir estando presente en los mercados más exigentes.

El crecimiento proyectado para la industria, en particular para aquella porción ubicada en la región de Aysén, hace que sea prioritario tomar medidas capaces de prever y hacer frente a las consecuencias que pueda tener dicho auge para la zona. Es en este marco que resulta de gran importancia el propiciar el desarrollo ambientalmente sustentable de la actividad en la región denominada “Reserva de Vida”.

Uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la industria hoy en día dice relación con el proceso de limpieza de redes y su posterior manejo de residuos que, por contener altas concentraciones de metales pesados (en particular cobre), son catalogados como residuos peligrosos en la región de Aysén. El problema, que tiene su origen en la utilización de pinturas anti-incrustantes cuyo principal agente activo es el óxido cuproso, requiere una solución capaz de ser adoptada por la industria en su conjunto. Dada la magnitud del análisis requerido para encontrar soluciones definitivas tendientes a hacer frente al problema ya referenciado, es necesario que la discusión propuesta se mantenga entre los principales actores involucrados directa o parcialmente en la industria salmoniculora chilena y en particular en aquella vecindada en la otrora undécima región.

Con el objetivo de generar propuestas capaces de guiar a la industria del salmón hacia una estrategia definitiva de manejo de redes y sus residuos asociados, es que se ha analizado trece alternativas que ofrecen mejorar, en alguna medida y en un determinado nivel, el problema planteado. Así, y dada la complejidad del análisis requerido, que involucra tanto a actores directos (empresas productoras, talleres de redes, etc.) como indirectos (gobierno, comunidad, etc.), se ha generado propuestas mediante la utilización de procesos de análisis jerárquico multicriterio. Las estrategias propuestas están pensadas para ser adoptadas total o parcialmente, y siempre considerando que el avance tecnológico puede dar paso a otras más eficientes en el futuro.

La capacidad de la industria para poder convivir en armonía con el medio ambiente, la población y las otras actividades productivas, serán fundamentales para generar un desarrollo auspicioso en el largo plazo.

Finalmente se propone un estudio más acabado respecto de las alternativas de manejo de residuos, todas las que superan el alcance de la industria salmoniculora.

Capítulo 9: Bibliografía

1. CHILE, Consejo Nacional de Producción Limpia, 2002. Acuerdo de Producción Limpia, Sector Productores de Salmón y Trucha. 6 de Diciembre de 2002.
2. CHILE, Consejo Nacional de Producción Limpia, 2004, Acuerdo de Producción Limpia, Sector Talleres de Redes, 4 de Noviembre de 2004.
3. CHILE, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Sistema Nacional de Información Ambiental. Política Ambiental para la Región de Aysén. [en línea] <http://www.sinia.cl/1292/article-26206.html> [Agosto de 2007]
4. CHILE, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca. 2001, Decreto Supremo N°320: Reglamento Ambiental para la Acuicultura. 24 de Agosto de 2001.
5. CHILE, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca. 2001, Decreto Supremo N°320: Reglamento Ambiental para la Acuicultura. 24 de Agosto de 2001, Modificación Decreto Supremo N° 86, 8 de Enero de 2008, que aprobó el Reglamento Ambiental para la Acuicultura.
6. CHILE, Ministerio del Interior, Subsecretaría de Desarrollo Administrativo. 2005, Informe de Competitividad Regional 2003. [En línea], <http://hdl.handle.net/1950/2147> [Septiembre de 2007].
7. DIEZ, CH. y AVILÉS, H. 1999, Apuntes del Curso de Evaluación de Proyectos, Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile.
8. FONDEF, 2004. Prototipos de pinturas e hilos de quitosano y quitosano-cu para redes de sistemas intensivos de cultivos de peces y sus aplicaciones como agente antimicótico, en agua dulce, y antifouling de descarga lenta en agua de mar. [en línea] <http://www.fondef.cl/bases/fondef/PROYECTO/04/I/D04I1286.HTML> [Octubre de 2007]
9. FONTAINE, E.R. 1981. Evaluación Social de Proyectos. Chile, Ediciones Universidad Católica, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 401p.

10. GINOCCHI.C.R. Y LEON-LOBOS. P. 2007, *Recursos Genéticos para la fitoestabilización: Plantas que reducen la contaminación por desechos mineros*. INIA Tierra adentro [En línea], <http://www.fitoestabilizacion.cl/tierra.pdf> : (20-23).
11. INGENIERIA ALEMANA S.A, 2005. *Estudio de factibilidad del centro de manejo de residuos industriales Sólidos-Puerto Aysén*. Proactiva Medio Ambiente.
12. KMT CONSULTORES, 2007. *Estudio de Ordenamiento Territorial de la Industria del Salmón en las Comunas de Aysén y Cisnes: Levantamiento de la Situación Actual y Potencialidades de Crecimiento*.
13. MATURANA O., D. 2006. *Criterios de Selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico. Aplicación en la selección de personal para la Empresa Exotic Foods S.A.C. Monografía para optar el Título de Licenciado en Investigación Operativa*. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad De Ciencias Matemáticas. Capítulo II.
14. MELLA T., S. *Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva*.
15. MELLA T., S. 2003. *Análisis Multicriterio para Priorización de Proyectos en Chiledeportes*. Memoria de Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
16. MÉNDEZ S., M. 2003. *Análisis Multicriterio Discreto para la Formulación y Priorización de Proyectos de Infraestructura Educacional*. Memoria de Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
17. OYARCE S., C. 2005. *Análisis Multicriterio Discreto para la Evaluación de Alternativas de Solución a Proyectos Viales Urbanos*. Memoria de Ingeniería Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
18. SALMON CHILE, *Ciclo de Producción*. [En línea], <http://www.salmonchile.cl/frontend/seccion.asp?contid=39&secid=3&secoldid=3&subsecid=15&pag=1>

19. SAPAG, CH.N. y SAPAG, CH.R. 1995. *Preparación y evaluación de Proyectos. Chile, 3ª Edición, Ediciones McGraw-Hill.*
20. SAPAG, CH.N, 2007, *Proyectos de Inversión, formulación y evaluación, Prentice Hall 1ª Edición, 2007.*
21. TANG, M. *Nuevas alternativas de redes rígidas y semirrígidas para el cultivo de peces. [En línea] <http://bases.salmonchile.cl/salmociencia/art1-1.pdf>.*

Capítulo 10: Anexos

Anexo A: Resumen de la Situación Sanitaria de los Vertederos en la Región de Aysén.

Región	Comuna	Ubicación	Nombre del Sitio de Disposición Final	Comuna que Disponen	Tipo de Operador	Población a la que da Servicio	Autorización Sanitaria del Servicio de Salud	Autorización Cambio Uso Suelo	Resolución Calificación Ambiental	capacidad (ton)	Pob. Atendida Hab.	Residuos Recibidos (ton/Año)	Año de inicio de Operación (ton/Año)	Año de Cierre Previsto	Comentario	
XI Región Del General Carlos Ibañez del Campo	Coyhaique	Camino a Balmaceda, km 3	Vertedero Coyhaique	Coyhaique (Villa Frei, V. Simpson, Baguales, Lago Atravesado)	Privado	RSD, urbanos y asimilables	SI	NO	NO	2	45422	23461	1982	S/i	S/i	
	Coyhaique	A 500 mts. de la Localidad de Villa Ortega	Villa Ortega	Coyhaique	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	585	339	S/i	S/i	S/i	
	Coyhaique	A 500 mts. al E de Localidad El Blanco	El Blanco	Coyhaique	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	410	356	S/i	S/i	S/i	
	Coyhaique	A 200 mts. de población	Villa Nirehuao	Coyhaique	Bienes Nacionales	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,25	560	333	S/i	S/i	S/i	
	Coyhaique	A 500 mts. de Balmaceda	Balmaceda	Coyhaique	Bienes Nacionales	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,14	638	502	1997	S/i	S/i	S/i
	Lago Verde	A 630 mts de Lago Verde	Lago Verde	Lago Verde	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,038	563	321	S/i	S/i	S/i	
	Lago Verde	A 300 mts. de Villa La Tapera	Villa La Tapera	Lago Verde	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,04	445	244	S/i	S/i	S/i	
	Lago Verde	Aledaño a Villa Amengual	Villa Amengual	Lago Verde (villa Amengual)	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	193	80	S/i	S/i	S/i	Vertedero Colapsado
	Coyhaique	INTERIOR FAENA EL TOQUI	Relleno Sanitario Corniza	SCM El Toqui	Privado	RSD e industriales No Peligrosos	SI	SI	SI	6854,4 m3	313	489,6 m3/año	2004	2018	En etapa de operación datum 56	
	Aysén	Km 12 camino a Coyhaique	Puerto Aysén	Aysén (Chacabuco, Villa lo Torreones y el Balseo)	Privado	RSD e industriales	SI	NO	NO	copada	17701	3600 (RSD) 4600 (pesca)	1983	S/i	S/i	
	Aysén	A 600 mt. al N de Villa Mañihuales	Villa Mañihuales	Mañihuales	Privado	RSD, urbanos y asimilables	SI	NO	NO	0,25	1758	364	S/i	S/i	S/i	
	Aysén	A 500 mts. de Pto. Aguirre	Pto. Aguirre	Puerto Aguirre	Privado	RSD, urbanos y asimilables	SI	NO	NO	copada	1307	240	S/i	S/i	S/i	Proyecto de Relleno Sanitario en estudio
	Cisnes	A 5 kms. de Puerto Cisnes	Puerto Cisnes	Cisnes	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	copada	2592	372	S/i	S/i	S/i	Con autorización provisoria
	Cisnes	A 2 kms. de Puyuhapi	Puyuhapi	Cisnes	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	copada	669	96	S/i	S/i	S/i	Vertedero Colapsado
	Cisnes	A 6 kms. Camino a Raúl Marín Balmaceda	La Junta	Cisnes (Las Junta)	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	1,5	1414	144	S/i	S/i	S/i	S/i
	Cisnes	A 300 mts. de Retén de Carabineros	Raúl Marín Balmaceda	Cisnes	S/i	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,5	459	60	S/i	S/i	S/i	S/i
	Cisnes	Puerto Gata	Puerto Gata	Cisnes	S/i	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	287	S/i	S/i	S/i	S/i	S/i
	Aysén	S/i	Caleta Andrade	Disponen en Puerto Aguirre							358					
	Guaitacas	A 1500 mts de área urbana	Melinka	Guaitacas (Melinka)	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	0,15	1173	204	S/i	S/i	S/i	S/i
	Cochrane	Sector Chacras a orilla del camino público	Cochrane	Cochrane	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	SI	NO	NO	0,71	2267	480	1992	2008		Aun se encuentra en trámite el traspaso de BBNN para la construcción de un nuevo recinto, el actual se encuentra colapsado
	O'Higgins	A 1,2 kms. del área urbana	Villa O'Higgins	O'Higgins	Contratista	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	1	539	60	S/i	S/i	S/i	En licitación estudio normalización vertedero
	Tortel	A 10 mt. del borde costero	Caleta Tortel	Tortel	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	507	60	S/i	2007	S/i	Vertedero Colapsado
	Chile Chico	6,5 km de Chile Chico cerca del aeródromo	Chile Chico	Chile Chico	Municipal	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	3044	480	S/i	S/i	S/i	S/i
	Chile Chico	A 6,2 km de la localidad Puerto Bertrand	Puerto Bertrand	Chile Chico (Puerto bertrand)	Privado	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	193	25	S/i	S/i	S/i	S/i
	Chile Chico	A 6 kms. de la localidad	Malín Grande	Chile Chico	Privado	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	186	S/i	S/i	S/i	S/i	S/i
	Chile Chico	A 3,2 kms. de la localidad	Puerto Guadal													Vertedero cerrado disponen en Puerto Bertrand
Río Ibañez	A 1,9 kms. de la localidad	Puerto Ingeniero Ibañez	Vertedero cerrado												Disponen en km 12 con autorización provisoria	
Río Ibañez	A 2,5 Km de la localidad	Villa Cerro Castillo	Río Ibañez	Privado	RSD, urbanos y asimilables	SI	SI	SI	5400 m3	588	168	2003	2011	S/i	S/i	
Río Ibañez	400 m del camino público, sobre el paleocauce del río Resbalón	Bahía Murta	Río Ibañez	Privado	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	560	84	S/i	S/i	S/i	S/i	
Río Ibañez	a 5 kms. Del pueblo por el camino a Bahía Exploradores	Puerto Río Tranquilo	Río Ibañez	Privado	RSD, urbanos y asimilables	SI	SI	SI	7500 m3	490	180	2003	2011		Vertedero Colapsado	
Río Ibañez	S/i	Puerto Sánchez	Río Ibañez	S/i	RSD, urbanos y asimilables	NO	NO	NO	S/i	133	96	S/i	S/i	S/i	S/i	

Anexo B: Glosario

- i. **Lexiviación Bacteriana:** Llamada también *Biolixiviación*, es un proceso natural de disolución, que resulta de la acción de un grupo de bacterias con habilidad de oxidar minerales sulfurados, permitiendo la liberación de los valores metálicos contenidos en ellos.
- ii. **Residuos Peligrosos:** Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11. (Art 3. Reglamento sanitario sobre manejos de residuos sanitarios).
En relación al Art 3 del R.S.M.R.S:
Artículo 11: Para los efectos del presente reglamento las características de peligrosidad son las siguientes:
 - a) toxicidad aguda,
 - b) toxicidad crónica,
 - c) toxicidad extrínseca,
 - d) inflamabilidad,
 - e) reactividad y
 - f) corrosividad.Bastará la presencia de una de estas características en un residuo para que sea calificado como residuo peligroso.
- iii. **Fitorremediación:** Se puede definir a la fitorremediación como la utilización de vegetales verdes y los organismos asociados a ellos para metabolizar, extraer, degradar y contener contaminantes.
- iv. **ATARED:** Asociación de Talleres de Redes y Servicios Afines. En la actualidad representan el 60% de esta industria de servicios en la Región de Los Lagos.
- v. **ATRA:** Asociación de Talleres de redes de Aysén. Esta congrega a la totalidad de talleres de redes presente en la región.
- vi. **APL: Talleres de Redes: Acuerdo de Producción Limpia,** El APL Talleres de Redes, suscrito en noviembre de 2004, incluye 37 acciones en áreas como sanidad, riles, residuos sólidos, higiene y seguridad ocupacional y capacitación.
- vii. **APL: De la Industria salmonera: Acuerdo de Producción Limpia.** El APL de la Industria salmonera suscrito en Diciembre de 2002, Incluye 40 acciones, y en la actualidad el 82% del la Industria salmonera está incorporado a el APL.
- viii. **Biofouling:** El biofouling se puede definir como la acumulación no deseada de depósitos vivos, sobre una superficie artificial sumergida o en contacto con agua de mar.
- ix. **Antifouling:** Producto que contiene biocidas para prevenir la adherencia y el crecimiento de organismos, microorganismos, flora y fauna marina en superficies sujetas a inmersión.
- x. **Lodo:** Cualquier residuo semisólido que ha sido generado en plantas de tratamiento de efluentes que se descarguen a la atmósfera, de aguas servidas, de residuos industriales líquidos o de agua potable. Se incluyen en esta definición los residuos

en forma de fangos, barros o sedimentos provenientes de procesos, equipos o unidades de industrias o de cualquier actividad.

- xi. **RAMA:** Reglamento ambiental para la acuicultura, Decreto Superior N° 320 del 2001, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción
- xii. **Biodegestores:** Un biodigestor es un contenedor que produce biogás y abono natural a partir de material orgánico, principalmente excrementos (animales y humanos) y desechos vegetales.
- xiii. **Quitosano:** Por definición es un polímero natural de tipo catiónico, biodegradable y no tóxico, por lo que no contamina, siendo su característica el proteger las partes tratadas del ataque de bioantagonistas como hongos e insectos.
- xiv. **RILES:** Residuos Industriales Líquidos
- xv. **RISES:** Residuos Industriales Sólidos
- xvi. **Tratamiento Anaeróbico:** El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular.
- xvii. **Tratamiento Aeróbico:** Microorganismos aeróbicos utilizan oxígeno para digerir la materia orgánica e inorgánica, contenida en las aguas residuales, transformándolas en un líquido cristalino e inodoro.
- xviii. **Metales Pesados:** Iones de elementos metálicos como cobre, zinc, hierro, cromo y mercurio, los cuales generalmente son removidos del agua mediante la formación de precipitados insolubles.
- xix. **Percolados:** Líquidos que se producen por la descomposición natural de la basura.
- xx. **SEIA:** Sistema de evaluación de Impacto Ambiental, dependiente de la CONAMA.
- xxi. **Biodiversidad o Diversidad Biológica:** La variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas.
- xxii. **Contaminación:** La presencia en el ambiente de sustancias, elementos energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.
- xxiii. **Contaminante:** todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.
- xxiv. **Daño Ambiental:** Toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes.
- xxv. **Declaración de Impacto Ambiental:** El documento descriptivo de una actividad o proyecto que se pretende realizar, o de las modificaciones que se le introducirán, otorgado bajo juramento por el respectivo titular, cuyo contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes

- xxvi. **Desarrollo Sustentable:** El proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras.
- xxvii. **Estudio de Impacto Ambiental:** El documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.
- xxviii. **Evaluación de Impacto Ambiental:** El procedimiento, a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente o de la Comisión Regional respectiva, en su caso, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes.
- xxix. **Medio Ambiente:** El sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.
- xxx. **Reparación:** La acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.