



INGENIERÍA AMBIENTAL
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS
FACULTAD DE CIENCIAS

Proyecto de Tesis

**ELABORACIÓN DE MODELOS DESCRIPTIVOS Y GENERALES DE LOS
IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR LAS PINTURAS
ANTINCRUSTANTES EN LA ACTIVIDAD SALMONERA**

**Tesis Para Optar Al Grado De
Licenciado En Ingeniería Ambiental
Y Al Título De Ingeniero Ambiental**

Autores

**Jessica Carmona Guerra
Natalia Cortés Espinoza**

Profesor Guía

Leonardo Núñez Montaner

Profesor Informante

Patricio Arellano Ricotti

Valparaíso, Mayo 2006

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
AGRADECIMIENTOS	iv
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
INTRODUCCION	12
OBJETIVO	14
METODOLOGIA	15
RESULTADOS	21
DiSCUSION	70
CONCLUSION	75
REFERENCIAS	76

AGRADECIMIENTOS

Quisiera recordar a todas esas personas que hicieron este tema de tesis posible. Primero que todo, agradezco a la gente del Servicio Nacional de Pesca que creyó en nosotras, donde nos ofrecieron la mejor de su asesoría y voluntad para responder a nuestras dudas y exigencias; en especial al Sr. Leonardo Nuñez, Felipe Sepúlveda y David Garland del Departamento de Administración Pesquera. También agradezco a todos los profesionales nacionales y extranjeros, en especial al Sr. Eugenio Riveros, gerente técnico de Hempel Chile y el Sr. Luis Andrade, gerente de Nisa Redes, por su excelente atención y disposición en las visitas a terreno; como también a los distintos profesores de la Universidad que tomaron de su valioso tiempo para atender nuestras inquietudes.

Muchas gracias a todos ustedes por enseñarme que ser un profesional es más que tener y manejar conocimiento... es cuestión de actitud.

Atentamente,

Natalia Cortés

“Una etapa que termina, otra que comienza”

Al término de esta etapa quisiera agradecer a todos aquellas personas que colaboraron para que este proyecto se concretara, me refiero al incondicional apoyo de mi familia y el de aquellos docentes que con voluntad, paciencia y dedicación aclararon mis dudas , entre ellos quisiera mencionar al querido Profesor Patricia Arellano, Leonardo Núñez , Felipe Sepúlveda y Luis López.

El deseo de “enseñar “y “enseñar de corazón”, crea en los alumnos un agradecimiento, que constituye terreno idóneo para el apostolado

Atentamente,

Jéssica Carmona

LISTA DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla 1. Impactos ambientales causados por la salmonicultura.	22
Tabla 2. Lista de productos antincrustantes tóxicos actualmente registrados por el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE) para el uso en acuicultura en Reino Unido.	23
Tabla 3. Polímeros biodegradables usados en la industria de la pintura.	24
Tabla 4. Factores de bioconcentración de algunos filios y especies marinas.	30
Tabla 5. Efectos del cobre en flora y fauna tras pasados el umbral de bioacumulación.	33
Tabla 6. Descripción de impactos en el proceso productivo del salmón respecto a las pinturas antincrustantes y las medidas preventivas implementadas.	40
Tabla 7. Detalles del muestreo realizado en las X y XI regiones, temporada noviembre-diciembre 2004.	48
Tabla 8. Análisis estadístico descriptivo de datos de concentración de cobre total medido bajo balsas jaulas obtenidos en ocho centros de cultivo de la X Región y tres centros de cultivo de la XI Región.	49
Tabla 9. Normativa de calidad secundaria para cobre total en sedimentos marinos en diferentes países.	52
Tabla 10. Proyecto de norma de calidad secundaria para cobre total en el sedimento marino nacional.	53

Página

Tabla 11. Características físico químicas del agua de mar que regulan y magnifican la toxicidad del ion cobre en el medio.	61
Tabla 12. Factores influyentes en la permanencia y/o transporte de especies y destino ambiental.	62
Tabla 13. Ocurrencias del cobre en sedimentos anóxicos y aeróbicos.	63

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura 1. Ubicación aproximada de las estaciones de muestreo.	17
Figura 2. Mecanismo de acción de una pintura antincrustante típica basada en compuestos de cobre.	26
Figura 3. Bioconcentración del cobre en organismos acuáticos.	30
Figura 4. Cascada de efectos provocados por la bioacumulación del cobre en los organismos, comenzando desde el nivel organizacional bioquímico hasta el poblacional	32
Figura 5. Estimación gráfica del consumo de pinturas antincrustantes (t) y salmón exportado (mt), período 1990-2000, 2002.	37
Figura 6. Esquema-resumen del marco jurídico dirigido hacia la protección ambiental referente a actividades de salmonicultura en cuerpos marinos.	38
Figura 7. Situación de los talleres de lavado de redes en la décima región año 2004 respecto al tratamiento de sus riles.	42
Figura 8. Principales medidas consideradas de buenas prácticas en procesos y productos dentro de los centro de cultivo y las plantas faenadoras de salmón.	46
Figura 9. Gráfico caja y bigote de las concentraciones de cobre total medidas bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. referencia	50
Figura 10. Gráfico caja y bigote de las concentraciones de cobre total medidas bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. geográficamente protegidos.	51

Figura 11. Comparación entre mediciones de cobre total medidas bajo balsa jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. normativa internacional.	53
Figura 12. Comparación entre mediciones de cobre total medidas bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos vs. normativa internacional	55
Figura 13. Procesos físicos- bioquímicos de los componentes de las pinturas antincrustantes en el medio marino.	57
Figura 14. Esquema del transporte de una red salmonera desde el centro piscicultor hasta el taller de lavado de redes, junto con los impactos implicados.	65
Figura 15. Procesos llevados a cabo en talleres de lavado de redes “nisa redes”	66
Figura 16. Impacto de las pinturas antincrustantes en el peor escenario ambiental.	68

RESUMEN

La actividad salmonera produce una serie de impactos ambientales, de los que se necesita evaluar específicamente, el uso de pinturas antincrustantes a base de cobre. El cobre se utiliza como biocida, el que inhibe la acción de adhesión de organismos marinos en las redes salmoneras, los que influyen negativamente en el intercambio difusivo de agua entre la red y el medio.

El impacto ambiental del cobre se basa en la toxicidad de este elemento en la flora y fauna marina, además de acumularse en los sedimentos, bajo las balsas jaulas de los salmones. Sin embargo, su impacto se extiende a otras actividades de este ciclo productivo, específicamente en el lavado de las redes salmoneras. Esta labor se realiza en talleres de lavado de redes que emiten RIL (Residuos Líquidos Industriales) con contenido de cobre en cuerpos de agua marinos, superficiales y subterráneos.

El objetivo de este proyecto es elaborar un modelo descriptivo de los procesos físicos bioquímicos del cobre contenido en las pinturas antincrustantes en el sistema productivo del salmón, con el fin de conocer sus procesos y describir sus efectos ambientales. La primera parte del estudio consta de la exposición de información, la que se obtuvo por búsqueda bibliográfica especializada. La segunda parte contiene datos cuantitativos de concentración de cobre total en terreno, producto del muestreo bajo el sedimento de las redes salmoneras, con posterior análisis estadísticos. La tercera parte muestra el modelo descriptivo final.

Los resultados se relacionan con la comprensión de los procesos físicos-bioquímicos del cobre en la actividad salmonera. Respecto a la concentración de cobre total bajo las

balsas jaulas, es significativamente menor en zonas geográficamente expuestas en comparación con zonas de geográficamente protegidas.

A través de la estructuración de modelos conceptuales y las concentraciones de cobre medidas, es posible suponer que el uso de pinturas antincrustantes impliquen un impacto potencial bajo ciertas condiciones: las concentraciones medidas en sectores geográficamente protegidos sobrepasaron el nivel umbral. Sin embargo, es necesario mejorar la gestión ambiental en el sector productivo del salmón a razón de otros impactos de mucha mayor magnitud, como lo es la contaminación orgánica del sedimento. Esto puede ser logrado a través de buenas prácticas y la determinación de un marco legal ambientalmente sustentable para la actividad.

1. INTRODUCCION

La contribución de la acuicultura a las capturas mundiales pesqueras ha experimentado un acentuado crecimiento a lo largo de los años: de un 5,3% (1970) a un 32,2% (2000); convirtiéndose en uno de los principales pilares para la seguridad alimenticia mundial (FAO, 2003). En este sentido, la salmonicultura ha sido la actividad con mayor apertura y explotación; sin embargo, aquello ha traído consigo una serie de impactos ambientales (Cripps, 2003). Entre éstos, se encuentra el efecto de pinturas antincrustantes, el cual no ha sido específicamente investigado más que en el área náutica (IMO, 2002).

Las redes de las balsas-jaulas que contienen los salmones, son objeto de bioincrustamiento de crustáceos, moluscos y algas. Estos organismos reducen el flujo normal y la renovación del agua entre la red y el medio, además de aumentar el peso de la red, incrementando el riesgo de escapes accidentales (Purser, 2003). A fin de prevenir estos efectos, las redes son pintadas con pinturas antincrustantes. Estas sustancias contienen un ingrediente activo del tipo biocida, el que gradualmente se libera hacia los cuerpos de agua, manteniendo el carácter tóxico para los organismos incrustantes (Thouvenin, 2002). El principal biocida utilizado en las pinturas antincrustantes es el óxido de cobre (Ranke, 2000).

La legislación y regulación de pinturas antincrustantes en otros países no está disponible o simplemente no existe. Asia carece de legislación para los productos usados en la industria naviera, mientras que en Canadá y Nueva Zelanda, no existe una clasificación clara entre antincrustantes para barcos y para redes. No obstante, en Reino Unido, un

organismo especializado (Biocides and Pesticides Assessment Unit, BPU) estudia los ingredientes de las pinturas y autoriza o no su uso (Braithwaite, 2005).

En Chile, la actividad piscicultura ha crecido considerablemente en los últimos años: con cosechas de 305 t (1982) a 569.419 t (2004) (MINECON, 2004), donde el uso de pinturas antincrustantes ha sido, del mismo modo, progresivo y sostenido. A esto debe sumarse los efectos de los antincrustantes extendidos a otras etapas del ciclo productivo del salmón; por ejemplo, los residuos líquidos industriales (RILES) generados en talleres de lavado de redes salmoneras que no se someten al marco legal vigente. Tampoco existe regulación nacional para la clasificación y contenido tóxico de las pinturas antincrustantes utilizadas en los centros ubicados en cuerpos marinos.

En consecuencia, la presente tesis pretende entregar una visión general de los efectos ambientales de las pinturas antincrustantes de las redes usadas en la industria salmonera. Aquello se realizará a través de la elaboración de un modelo descriptivo que detalle los procesos físico- químicos a los cuales el cobre, incorporado desde las pinturas, es sometido en los cuerpos marinos. Lo anterior se complementa con una revisión detallada de bibliografía referente al tema y la determinación de concentraciones de cobre total en los sedimentos ubicados bajo las balsas-jaulas salmoneras, con el fin de establecer un diagnóstico general de la situación actual en las X y XI regiones. Finalmente, se realizará una comparación de las concentraciones encontradas con concentraciones referenciales internacionales.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Elaborar un modelo descriptivo de los procesos físicos-bioquímicos del cobre incorporado al medio a través de pinturas antincrustantes utilizadas en la actividad salmonera desarrollada en cuerpos de agua marinos.

2.2. Específicos

2.2.1. Realizar una revisión bibliográfica para describir los potenciales impactos ambientales de las pinturas antincrustantes en medio marino.

2.2.2. Elaborar modelos descriptivos generales y específicos de los procesos físicos-bioquímicos del cobre incorporado a través de pinturas antincrustantes utilizadas en la actividad salmonera desarrollada en cuerpos de agua marinos.

2.2.3. Determinar la concentración de cobre total medido en el sedimento marino bajo balsas-jaulas y sectores de referencia donde no se registra actividad acuícola.

2.2.4. Comparar las concentraciones entre el cobre total medido en el sedimento marino bajo las balsas-jaulas vs. sectores de referencia donde no se registra actividad acuícola

2.2.5. Comparar las concentraciones entre el cobre total medido en el sedimento marino bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. protegidos.

2.2.6. Comparar las concentraciones entre el cobre total medido en el sedimento marino bajo las balsas-jaulas vs. concentraciones referenciales internacionales.

3. METODOLOGIA

3.1. De la obtención de información respecto a los impactos de las pinturas antincrustantes.

3.1.1. Se realizó una revisión bibliográfica en revistas y publicaciones científicas con respecto a:

- Impactos ambientales producidos por la actividad salmonera y la utilización de pinturas antincrustantes en la salmonicultura.
- Tecnologías alternativas al uso de pinturas antincrustantes.
- Estado del arte nacional referente al uso de pinturas antincrustantes.

3.1.2. Se confeccionaron tablas conceptuales para exponer de una mejor manera el contenido de la información.

3.2. De la elaboración de los modelos.

3.2.1. Se realizó una revisión bibliográfica en revistas y publicaciones científicas sobre:

- Propiedades físico-químicas de las pinturas antincrustantes.
- Toxicología y procesos físicos - bioquímicos del cobre en el medio marino.

3.2.2. Se estructuraron modelos descriptivos de los procesos físicos -bioquímicos del cobre contenido en las pinturas antincrustantes sobre el medio de cultivo marino e impactos

ambientales identificados en los talleres de lavado de redes y en el medio ambiente en base a toda la información recopilada, bajo la metodología propuesta por Calderón (2003).

3.3. Mediciones de cobre total en concesiones de cultivo de salmones.

3.3.1. Diseño de muestreo para sedimentos:

Se muestreó cobre total contenido en el sedimento bajo las balsas-jaulas de once centros de cultivo de salmones: ocho ubicados en el Canal Dalcahue (app. 42°22' S), Décima Región y dos ubicadas en Fiordo Aysen (app. 45°28' S) y una en Puyuhuapi (app. 44°19' S), Undécima Región. La **Figura 1** muestra los puntos de muestreo graficados con asteriscos negros, mientras que los puntos rojos corresponden a los demás centros de cultivo en la zona. La elección de los centros obedece a sectores geográficamente expuestos (Dalcahue) en contraste con sectores geográficamente protegidos (Fiordo Aysen, Puyuhuapi). El muestreo se realizó a bordo de la embarcación “Don Este” durante los meses de Noviembre y Diciembre del 2004. El personal a cargo del muestreo incluyó operarios del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA).

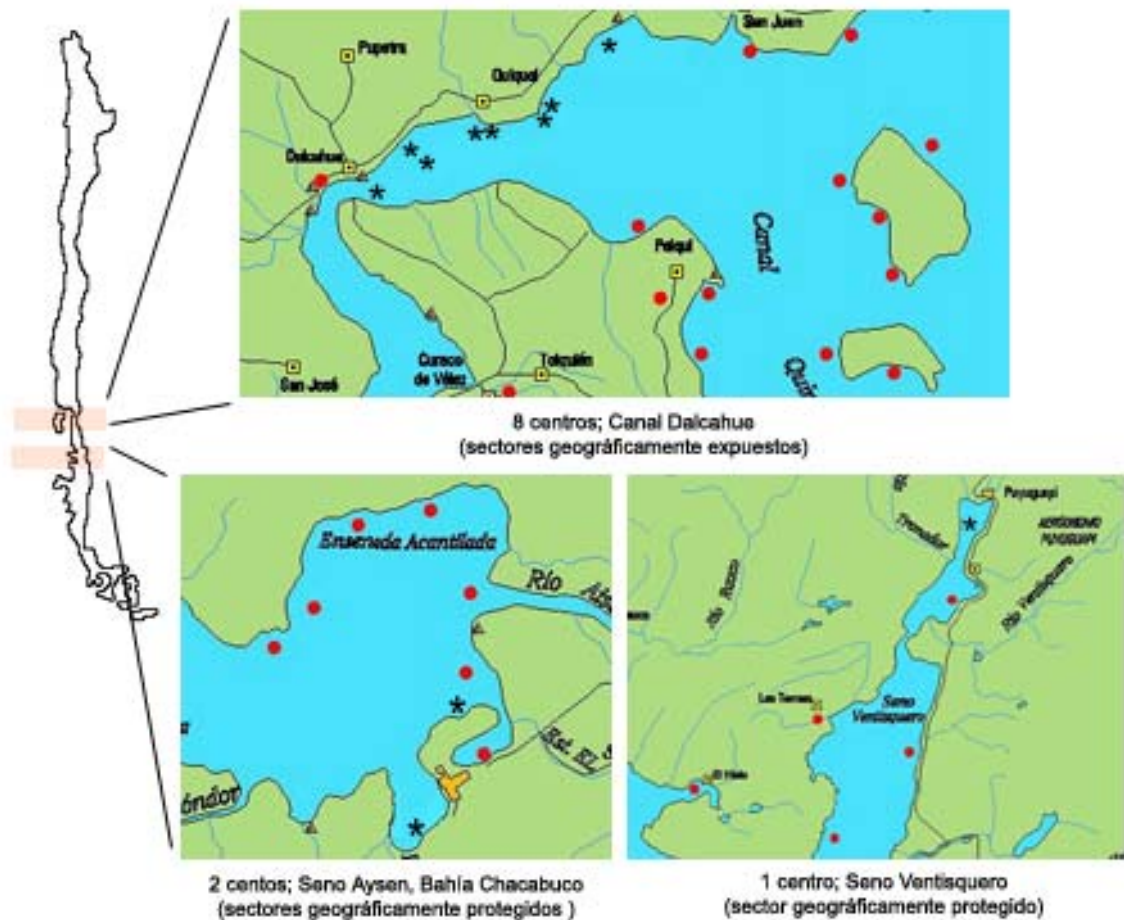


Figura 1. Ubicación aproximada de las estaciones de muestreo.

La extracción de sedimentos sigue la metodología propuesta por la Resolución Subpesca N° 404/2003 al Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) para la elaboración de Informes Ambientales (INFA) y el protocolo utilizado por el Sernapesca. Las estaciones de muestreo se determinaron en sectores de fondos blandos. Las muestras fueron tomadas en el área de sedimentación de las balsas-jaulas a través de una draga tipo Van Veen de 0,1 m² de mordida, la que se lanzó al borde de la balsa de cultivo, teniendo en cuenta el régimen de corriente y marea del sector. Por tratarse de un muestreo piloto, en

cada centro se tomó una muestra de tres balsas-jaulas elegidas al azar dentro de los tres primeros cm del sedimento. Se tomó también una muestra de sedimento en una estación de referencia donde no se registró actividad acuícola, ubicada a aproximadamente 150 m de las balsas-jaulas dentro de la concesión del centro de cultivo. Los puntos muestreados se registraron con un GPS marca Magellan Meridian Color utilizando el datum WGS-84.

Estimación de la concentración de cobre total

Se separó con espátula aproximadamente 100 gr. de sedimento de la muestra extraída y se depositó en bolsas de polietileno debidamente rotuladas según código de centro, fecha y naturaleza (muestra, referencia). Se almacenaron dos semanas a unos 4° C en contenedores especiales hasta su llegada al Laboratorio de Servicios de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valparaíso, donde se realizó el análisis cuantitativo de cobre total. La muestra fue secada en estufa a 105° C por un lapso de 20 hs y digeridas de acuerdo a las técnicas de Jackson (1964). A continuación las muestras fueron analizadas con un espectrofotómetro de absorción atómica de llama aire/acetileno marca Perkin Elmer modelo Analyst 100, año 1998.

3.4. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas jaulas vs. referencia.

Se utilizó la prueba de hipótesis nula para comparar estadísticamente ambas poblaciones. Aquella asume que las poblaciones tienen la misma distribución, lo que se establece como:

$$H_0 : f_1(x) \equiv f_2(y)$$

Donde $f_1(x)$ y $f_2(y)$ son correspondientes funciones de densidad de probabilidad. La hipótesis alternativa establece que las distribuciones no son las mismas.

En este caso, para probar la hipótesis se utilizó la prueba U de Mann-Whitney, debido a que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad ni equivalencia de varianzas. Esta prueba se basa en una combinación de las n_1 y n_2 observaciones para formar un solo conjunto de n_1+n_2 observaciones arregladas en orden creciente de magnitud. Luego, se le asigna un rango a cada observación en la secuencia ordenada que comienza con un rango 1 y termina con un rango n_1+n_2 .

Para implementar el procedimiento, se obtiene la suma de los rangos pertenecientes al primer grupo de observaciones, lo que se designa como R_1 . Entonces la estadística U de Mann-Whitney está dada por:

$$U = n_1 n_2 + n_1 \frac{(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

Donde:

n_1 =N° de observaciones del grupo 1

n_2 =N° de observaciones del grupo 2

R_1 =Suma de los rangos asignados al grupo 1

El mismo método se utilizó para comparar las concentraciones entre el cobre total medido bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. sectores geográficamente protegidos. Se utilizó el programa Statgraphics Centurión XV[®] para Windows con el fin de realizar el análisis estadístico.

3.5. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas vs. concentraciones referenciales internacionales.

Los valores de concentración de cobre total se dividieron según región y se compararon numéricamente con la normativa secundaria de cobre en sedimentos que rige actualmente en Canadá y USA. Se seleccionó Canadá por contener el nivel umbral más exigente respecto a otras naciones, y los Estados Unidos por contener en su normativa, el nivel máximo menos exigentes respecto a los demás países. También se compararon los valores obtenidos con la propuesta de norma secundaria de sedimentos en Chile, la que está en proceso de ser implementada. Se utilizó el programa Excel de Windows para graficar los valores de las normas y las obtenidas del muestreo.

4. RESULTADOS

4.1. Tipología de los potenciales impactos asociados a la actividad salmonera.

Un impacto ambiental consiste en la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada (Ley de Bases del Medio Ambiente, 1994). En el caso de la industria acuicultura, ésta incluye impactos del tipo físico, químico y biológico; todos ligados al proceso de producción de los salmones en cautiverio.

Por tratarse de un sistema de cultivo intensivo basado en el suministro de dietas artificiales, con una producción mayor que 500.000 t anuales; el sector salmonicultor es el que más cambios produce en su entorno (Technopress, 2003; Lucas, 2003). La **Tabla 1** resume los diversos impactos que provoca la salmonicultura en sistemas de cultivo de balsas jaulas.

Tabla 1. Impactos Ambientales causados por la Salmonicultura (Lucas, 2003)

Descripción	Impacto sobre el medio Ambiente	Medidas de Mitigación
Alimento no consumido, mortalidad y heces que precipitan al sedimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de materia orgánica. • Cambios en la composición química del medio. • Proliferación de algas en lugares de bajas corrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación de balsas jaulas y de sitios para sedimentos hipertróficos. • Retiro de mortalidades.
Impactos sobre Flora y Fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto directo sobre poblaciones autóctonas al proveerlas de alimento. • Escape de peces. 	
Transferencia de enfermedades desde individuos en sistemas de cultivos hacia individuos autóctonos y viceversa.	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés en las especies de cultivo facilita el ataque de patógenos, lo que consecuentemente infecta el medio circundante. • Escapes incidentales constituyen un importante vector de enfermedades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retiro regular de mortalidades. Se deben disponer en tierra. • Tratamiento de RILES reduce la incidencia de patógenos y la predisposición a la enfermedad. • Disminuir la capacidad de carga y espaciar adecuadamente los sistemas de cultivos previene la transferencia directa de patógenos.
Impacto en la genética de individuos nativos, consecuencia de los escapes de individuos en cultivos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de diversidad genética debido al entrecruzamiento. • Posible esterilidad en individuos híbridos. 	<p>Reducción de escapes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección y mantenimiento de las redes. • Instalación de contenciones de reserva secundaria. • Instalación de jaulas subacuáticas contra depredadores (loberas) • Cumplimiento de las zonas de exclusión para la protección de especies raras o vulnerables. • La no-localización de instalaciones en áreas sensibles o de extinción nativa.

4.2. Descripción Pinturas Antincrustantes.

El asentamiento de organismos en las redes salmoneras es evitado gracias a las pinturas antincrustantes. Su uso se extiende a los cultivos de Noruega, Reino Unido, Chile, Canadá, y Norteamérica (Brooks, 2002). La **Tabla 2** enlista las preparaciones licenciadas para el uso en acuicultura en Reino Unido desde el año 2003.

Tabla 2. Lista de productos antincrustantes tóxicos actualmente registrados por el Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE) para el uso en acuicultura en Reino Unido (Braithwaite, 2005).

Nombre del Producto	Compañía	Ingrediente (s) Activo (s)
Boatguard	International Coatings Ltd.	Oxido cuproso
Aquasafe W	GJOCO A/S	Oxido cuproso
Flexgard VI	Flexabar Aquatech Corporation	Oxido cuproso y clorotalonil
Flexgard VI-II Waterbase Preservative	Flexabar Aquatech Corporation	Oxido cuproso
Hempel's Antifouling Rennot 7150	Hempel Paints Ltd.	Oxido cuproso y diclofuanido
Hempel's Net Antifouling 715GB	Hempel Paints Ltd.	Oxido cuproso
Carmypaint SV-881	Carmyco S.A. Paints-Varnishes-Adhesives	Oxido cuproso
Aqua-Guard	Steen-Hansen Maling AS	Oxido cuproso
Amercoat 70ESP	Ameron BV	Cobre
Aqua-Net	Steen-Hansen Maling AS	Oxido cuproso
Bottomkote	International Coatings Ltd.	Oxido cuproso
Netrex AF	Tulloch Enterprises	Oxido cuproso
Net-Guard	Steen-Hansen Maling AS	Oxido cuproso y diclofuanido
Copper Net	Steen-Hansen Maling AS	Oxido cuproso
VC 17M-EP	International Coatings Ltd.	Cobre
VC 17M	International Coatings Ltd.	Cobre

4.2.2. Propiedades Físico-Químicas de las Pinturas Antincrustantes

Los componentes de las pinturas se basan en 4 ingredientes: Resinas, Solventes, Biocidas y Pigmentos.

a) **Resinas:** Cadenas de polímeros que sirven de matriz soluble a los biocidas sujetos en su esqueleto estructural químico, y donde los pigmentos y aditivos de la pintura son dispersados. Cuando la resina está en contacto con el agua marina se solubiliza liberando un *stock* de biocidas. Generalmente en las pinturas antincrustantes se utilizan resinas vegetales o una mezcla de ellas. La resina debe ser lo bastante resistente, y a la vez soluble para liberar el biocida gradualmente con el fin de mantener la toxicidad sobre y alrededor de la superficie de la red (IMO, 2002). En la **Tabla 3** se enlistan algunas resinas biodegradables usadas en la industria.

Tabla 3. Polímeros biodegradables usados en la industria de la pintura (Omae, 2003).

Polímeros Biodegradables	Productores
Poli-3-hidroxibu-tirato	Bacterias Algas verde-azules tratadas mediante manipulación genética.
Almidón, Celulosa, Polisacáridos y Lignina	Vegetales, Animales
Poliésteres, Poliamidas, Ácidos de Poliamino , Alcohol de Polivinilo, Esteres ácidos y succinato de polibutileno.	Polímeros sintéticos

b) **Solventes:** Compuestos hidrófobos que sirven de sustrato a los componentes de las pinturas. En las pinturas antincrustantes generalmente se encuentra una mezcla de solventes como Xilol y Aguarrás Mineral. No todas las pinturas son en base a solvente, también existen pinturas antincrustantes en base a agua.

c) **Pigmentos:** Sustancias químicas que pueden actuar como biocidas de respaldo, agudizando el carácter tóxico de las pinturas o simplemente acentuar el color rojo oscuro propio del óxido cuproso (e.g. Óxido de Hierro), como también influir en la reología¹ de la pintura en cuestión. Los pigmentos al entrar en contacto con el agua se disuelven con una posterior difusión (CEPE, 1999).

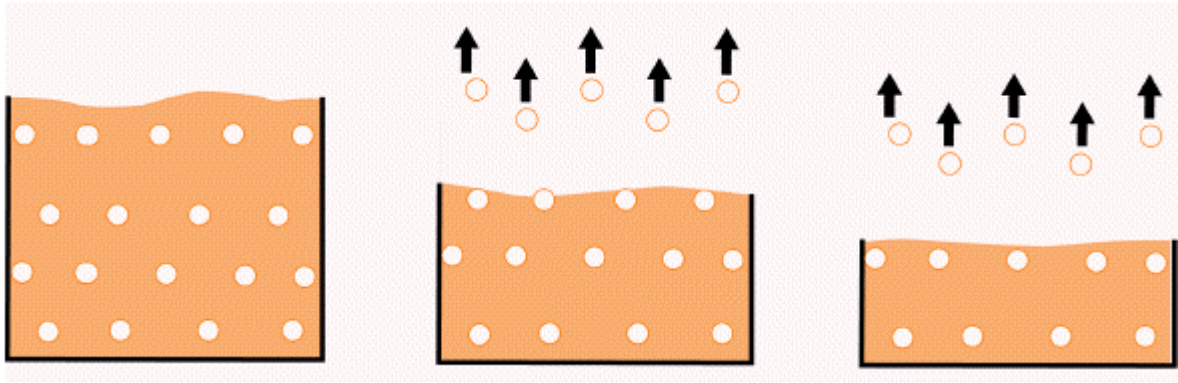
d) **Biocidas:** Componentes de las pinturas que evitan el asentamiento de organismos sobre la superficie de la red. El principal biocida usado es el **Oxido de Cobre** (Cu_2O) (Ranke, 2000). Este compuesto es liberado a través de un mecanismo llamado “*Tasa de Lixiviación*”, definido como la liberación de un biocida desde una matriz soluble (Resina) por efecto del pasaje de agua a través de ella, cuantificable en una unidad de superficie ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ día).

Algunos productos pueden contener biocidas adicionales/alternativos que actúan en conjunto con el cobre (e.g. Herbicidas, Fungicidas, Pesticidas, Bactericidas), los cuales previenen la inclusión de esporas que son resistentes al metal (Omae, 2003).

¹ Reología: Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos y la deformación de los sólidos. Martin, A. 1993. Physical pharmacy. Lea&Febriger, London. 453.

4.2.3. Mecanismo de Acción de las Pinturas Antincrustantes

En la **Figura 2** se muestra en forma esquemática la liberación del biocida (representado en círculos) desde la matriz resinosa (coloreada en café).



○ Biocida dispersado en la matriz

Figura 2. Mecanismo de acción de una pintura antincrustante típica basada en compuestos de cobre (IMO, 2002).

Los biocidas están contenidos en forma dispersa en la matriz soluble. En la interfase pintura/agua marina, el biocida se remueve a un índice controlado al ambiente (representado por las flechas negras). La matriz se disuelve a la próxima capa, revelando nuevo material disponible. La remoción puede ser interrumpida por precipitación de sales marinas en la superficie de la pintura, impidiendo su disolución.

4.3. Impactos ambientales asociados al uso de pinturas anticrustantes en base a cobre.

Existen dos fuentes contaminantes capaces de provocar un impacto. La primera fuente es el ambiente inmediato a la balsa jaula, con la respectiva remoción del biocida y su posterior difusión, provocando efectos tóxicos en los organismos. La segunda fuente se encuentra en el transporte de la red, disposición en el taller y emisión final del RIL con contenido de cobre, resultante del lavado en talleres informales, teniendo como receptor final el mar o cuerpos de agua terrestres - subterráneos.

4.3.1. Efectos tóxicos del cobre en el ambiente marino.

El cobre es un elemento esencial para la mayoría de los organismos marinos en cantidades trazas. No obstante, este metal en concentraciones levemente superiores a las necesarias puede ser altamente tóxico. Por ejemplo, concentraciones de 2,5 µg/L han demostrado que afecta a moluscos bivalvos (Mance, 1987). Según Brooks (2001) con la excepción del esperma del erizo rojo *Arbacia punctulata*, niveles ambientales menores de 6 µg/L, parecen ser razonables para proteger la vida marina.

El impacto negativo del cobre usado para la impregnación de redes salmoneras reside en su efecto perjudicial en especies ‘no objetivo’; esto es en organismos que no forman su hábitat en las redes sino en el cuerpo de agua y sedimento adyacente (Katranitsas, 2003).

4.3.1.1. Toxicocinética del cobre en los organismos marinos.

Existen tres ocurrencias en las que el cobre existe en la naturaleza en estado libre: Cobre (I) o Cu^+ ; Cobre (II) o Cu^{2+} y Cobre (III) o Cu^{3+} . La toxicidad del cobre en ambientes acuáticos está relacionada con la concentración de especies biodisponibles²; que en este caso corresponde a los iones libres de Cobre²⁺ (Ranke, 2000; Omae, 2003)

La asimilación de cobre por parte de un organismo acuático consta de una serie de etapas. En primer lugar, debe existir una fuente biodisponible del metal que pueda ser captado desde la columna de agua, agua intersticial o sedimento. En segundo lugar, el organismo debe ser capaz de incorporar el cobre en su sistema, esto es, a través del alimento, procesos de respiración o contacto con su superficie corporal. Se postula que los sitios primarios de absorción y acumulación son las membranas de los órganos respiratorios y digestivos.

En algunos organismos marinos, no todo el metal ingerido es absorbido, esto es gracias a la naturaleza de su tracto intestinal y de los tejidos que rechazan el exceso. Del mismo modo, la síntesis en el hígado de agentes asociativos llamados Metalotioneinas³, tienen gran afinidad por los metales pesados, limitando su asimilación (WHO, 1998).

² Biodisponibilidad: Accesibilidad de una sustancia a los procesos metabólicos y fisiológicos de un organismo. WHO. 2002. Principles & methods for the assessment of risk from essential trace elements. 24

³ Metalotioneinas: Mecanismo de desintoxicación consistente en proteínas intracelulares que se asocian a iones metálicos y los convierten a formas más inocuas. Bremen, P; Gosey, G. 1993. Interactions of bacteria with metals in the environment. En: Particulate Matter & Aquatic Contaminants. 1993. Lewis Publishers, U.S.A.

Una vez dentro del organismo, el cobre tiene cuatro posibles destinos: bioacumularse; participar en procesos metabólicos; retornar al ambiente en forma de desechos (fecas) o formar de asociaciones con moléculas que almacenen o inmovilicen el metal con el fin de reducir su efecto, como las metalotioneinas, enzimas de cobre-dependientes o aminoácidos (INCA, 1990; Salamanca, 1998).

Los efectos tóxicos de un metal pesado sobre un organismo comienzan a manifestarse cuando se sobrepasa el límite de bioacumulación⁴ en el hésped. La bioconcentración es el proceso específico de bioacumulación, el que a diferencia del primero, puede ser cuantificado a través de un '*factor de bioconcentración*' (FBC)⁵. En la **Figura 3** se observa una disminución del FBC a medida que se avanza en la cadena trófica, fenómeno que se repite en la biomagnificación⁶ (Ranke, 2000). La **Tabla 4** especifica algunos factores de bioconcentración de filios y especies marinas.

⁴ Bioacumulación: Relación entre la concentración de un compuesto en un organismo definido y la concentración del compuesto en el agua. Sawyer, C *et al.* 2001. Química para ingeniería ambiental. Mc Graw Hill, Colombia. 302

⁵FBC: Es la concentración de un elemento en un organismo dividido por la concentración en el ambiente. Sublji, A; Protic, M. 1982. Molecular connectivity: a novel method for prediction of bioconcentration factor of hazardous chemicals. *Chemico-Biological Interaction* (42): 301-310

⁶ Biomagnificación: Proceso por el cual sustancias xenobióticas son transferidas desde el alimento a un organismo, lo que resulta en una concentración más alta comparada con la fuente. Gray, JS. 2002. Biomagnification in marine systems: the perspective from an ecologist. *Marine Pollution Bulletin* (45): 46-52.

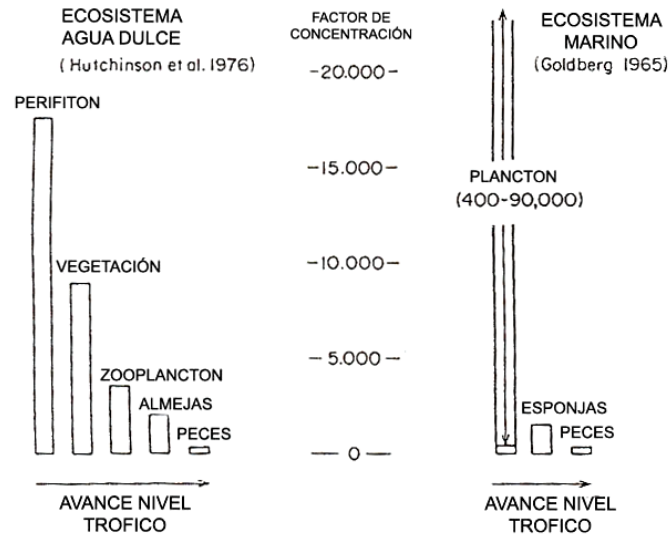


Figura 3. Bioconcentración del Cobre en organismos acuáticos.

Tabla 4. Factores de Bioconcentración de algunos filios y especies marinas (Ranke, 2002; Brooks, 2002).

	Macrófitos	Fitoplacton	Zooplacton	Moluscos	Crustáceos	Peces
FBC	2.890 1.000+ en algas 100 en algas bénticas	30.000	1.800	5.000 en músculos y partes suaves 28.000 en bivalvos 30.000+ en ostras	10.000+	150 a 700

El alto FBC en organismos de niveles tróficos bajos puede ser explicado por su contenido de pigmentos en base a cobre en su sistema (hemocianina), concentrando el elemento en altas cantidades. En moluscos, el alto FBC puede ser debido a su condición de especie filtradora con hábitat en el sedimento, donde la concentración de cobre particulado

es mayor que en el cuerpo de agua. En Peces, el factor es bajo (150-700) y comparativamente puede ser explicado por el hecho que estos organismos son capaces de regular el cobre por excreción activa (Brooks, 2002)

El cobre, una vez dentro de la célula, se enlaza a moléculas esenciales, lo que influye negativamente en el correcto funcionamiento de la maquinaria metabólica y estructural. El Cu (I) se asocia fácilmente a ligandos que contienen nitrógeno y azufre. El Cu (II) a complejos que contienen oxígeno (WHO, 1998). La **Figura 4** esquematiza cómo el metal bioacumulado desencadena una cascada de efectos hasta alcanzar el nivel poblacional. La **Tabla 5** describe los efectos generales del cobre en varios organismos los cuales ocurren tras pasado el umbral de bioacumulación.

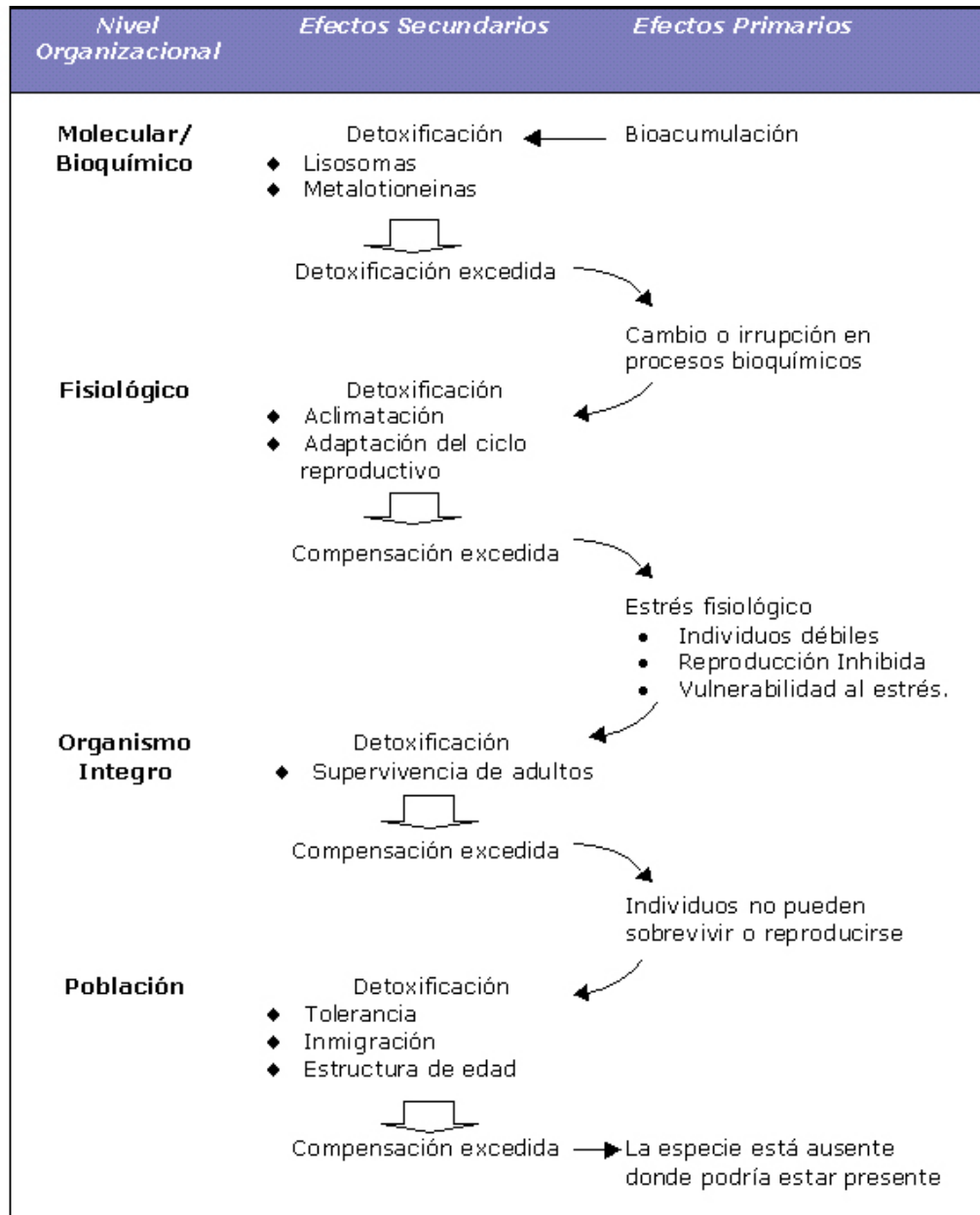


Figura 4. Cascada de efectos provocados por la bioacumulación del cobre en los organismos, comenzando desde el nivel organizacional bioquímico hasta el poblacional (Luoma, 1995).

Tabla 5. Efectos del cobre en flora y fauna tras pasados el umbral de bioacumulación (Lewis, 1982).

FLORA		<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de los pigmentos fotosintéticos \Rightarrow inhibición del crecimiento y reducción de germinación gametogénica. • Afecta dominancia y diversidad de algas. • Cambios celulares a niveles ultraestructurales.
	Fitoplankton	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la división celular. • Cambio de permeabilidad membrana celular \Rightarrow disminución del contenido de proteínas y ARN. • Reducción del crecimiento poblacional acelerado (<i>bloom</i>) de microalgas.
FAUNA		<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de enzimas por asociación del cobre a ligandos esenciales como sulfidos, carboxilatos e imidazoles. • Despolarización de la membrana celular. • Asociación a ADN, causando la inhibición de mecanismos regulatorios internos. • Producción de radicales libres en la célula, destinándola a su destrucción.
	Peces	<ul style="list-style-type: none"> • Estado letárgico e indiferencia a la estimulación externa \Rightarrow descoordinación y desorientación a exposición persistente. • Severa obstrucción de las agallas con daño extensivo. • Desórdenes hepáticos y renales. • Anorexia, edema y protuberancia al nivel de escamas.
	Salmones	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta éxito reproductivo y régimen de alimentación en juveniles. • Aumento de la ocurrencia de la enfermedad 'Enfermedad Ameboide de las Agallas (AGD en Inglés).

4.4. Alternativas al uso de Pinturas Antincrustantes en base a Cobre

En la década de los 60's el tributyltin (TBT) era el antincrustante usado por excelencia; un biocida a base de estaño de efectiva acción. Sin embargo, a mediados de los 70's se descubrió sus dañinos efectos en la población de ostras *Crassostrea gigas* (Evans *et al*, 1995), el cual producía un cambio sexual en las hembras, y por ende, la esterilidad en la especie. Entre otros efectos, se descubrió la bioacumulación en el tejido muscular del salmón (Short, 1986). Descubierta sus efectos nocivos, la Organización Marítima Internacional llamó a su prohibición mundial absoluta para el año 2008 (Champ, 2000). Actualmente, a pesar que el TBT está siendo reemplazado por compuestos de cobre, sigue existiendo un detrimento del medio marino, por tanto, se debe investigar el desarrollo de pinturas u otras coberturas antifouling más amigables con el ambiente (Hugues *et al*, 2002).

- **Biocidas Naturales (En investigación)**

Se ha descubierto que organismos marinos como corales, mejillones, algas, delfines, esponjas y estrellas de mar, previenen de manera natural el recubrimiento de sus cuerpos con sustancias antincrustantes. Los compuestos en general, inhiben la colonización, adherencia, crecimiento y metamorfosis de la flora y fauna incrustante, además de poseer propiedades anestésicas y repelentes. Por otra parte, en organismos terrestres, muchos de los antincrustantes son producidos por plantas terrestres, tales como el té verde, wasabi, y hoja del árbol del roble.

Estas sustancias tienen una gran posibilidad de ser usadas como los nuevos productos antifouling ambientalmente amigables. Sin embargo la mayoría de los productos naturales son difíciles de sintetizar en los laboratorios (Omae, 2003).

- **Coberturas basadas en Siliconas (En investigación)**

En los cascos de navíos, la silicona compuesta de polímeros Silicona-Oxígeno (llamada organosiliconada) aplicada en forma de lámina, muestra una alta repulsión al agua, además de cualidades aquo-resistentes, anti-mohosidad y propiedades lubricantes, todas ellas sustentadas en dos propiedades: un fuerte enlace Silicona - Oxígeno (428 kJ/mol, 101 kcal/mol) y una baja fuerza intermolecular⁷. Todo esto disminuye la consistencia de la superficie de contacto silicona – agua necesaria para la adhesión de organismos (Omae, 2003).

Hodson (2000) comprobó la eficiencia de estas cubiertas en redes salmoneras, donde se obtuvo una disminución del *fouling* cercana al 80%. Sin embargo, el grosor de la lámina siliconada ha demostrado afectar su eficacia, y las más delgadas se bioincrustan más fácilmente (Stein *et al*, 2000). En la actualidad, su uso es recomendado para embarcaciones pequeñas y rápidas con una velocidad mínima de 30 nudos (IMO, 2002).

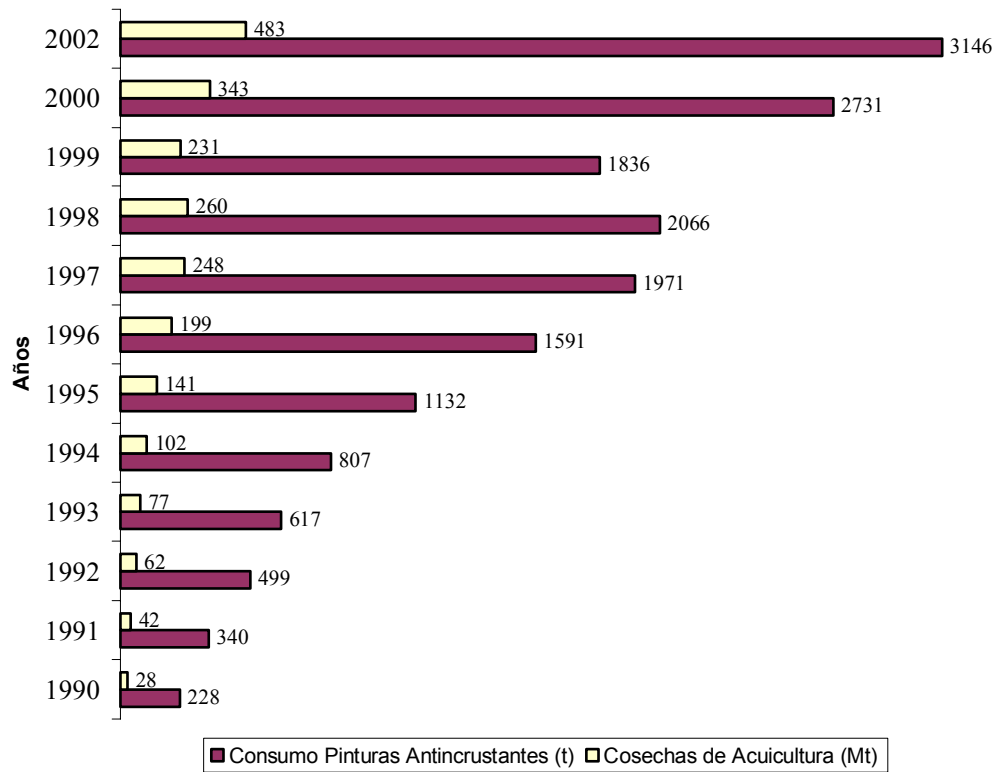
⁷ Fuerza Intermolecular: Fuerza de atracción entre las moléculas. Chang, Raymond. 1999. Química.

4.5. Situación Nacional

4.5.1. Respecto a la demanda de pinturas antincrustantes

Chile ha aumentado su producción de salmón, incrementando el número de concesiones de cultivo, superficie de redes utilizadas para el cultivo y mayor consumo de pinturas antincrustantes. Afortunadamente, las pinturas más utilizadas en las grandes empresas de salmonicultura son productos que cumplen con exigentes estándares extranjeros europeos y formulas locales vigentes.

En la **Figura 5** se grafica el consumo de pinturas antincrustantes en miles de litros y las toneladas de salmón exportado en miles de toneladas, período 1990-2000, 2002 con el fin de comparar el aumento de las exportaciones de salmón y el incremento en el consumo de pinturas antincrustantes, período 1990-2000, 2002.



Fuente: Intesal, Subpesca

Figura 5. Estimación gráfica del consumo de pinturas antincrustantes (t) y salmón exportado (Mt), período 1990-2000, 2002.

El gráfico muestra que existe una relación estrecha de variables altamente relacionadas. Esto es, mientras más salmón es exportado, mayor es el consumo de pinturas antincrustantes a lo largo del tiempo.

4.5.2. Respecto a la normativa ambiental Chilena vigente aplicable a los centros de cultivos de salmones y truchas.

La **Figura 6** esquematiza en forma general, el cuerpo legal ambiental aplicable a la salmonicultura y sus respectivos entes fiscalizadores.

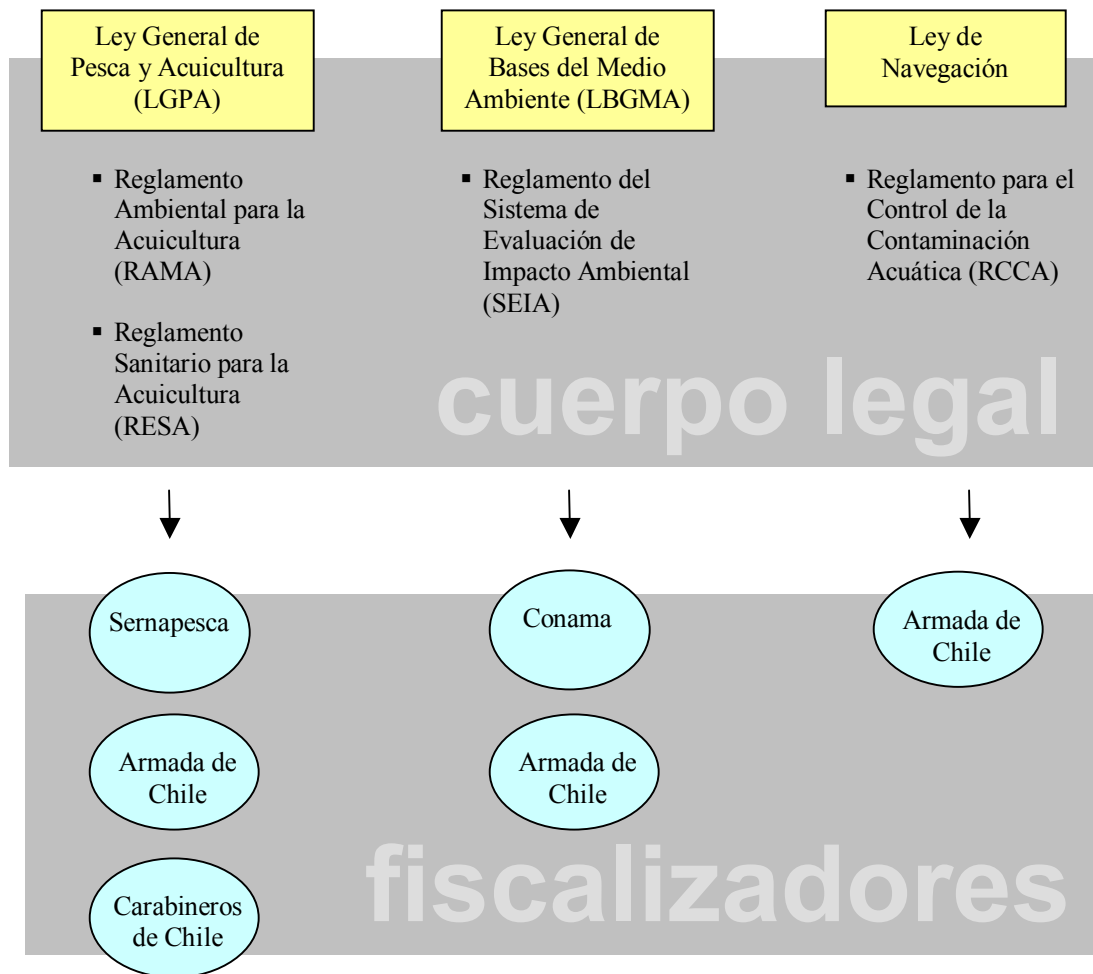


Figura 6. Esquema-resumen del marco jurídico dirigido hacia la protección ambiental referente a actividades de salmonicultura en cuerpos marinos (Technopress, 2003).

La Ley General de Pesca y Acuicultura faculta al Sernapesca para velar por el cumplimiento del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (aprobado por Decreto Supremo N°320/01 Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción). Entre sus atributos autoriza a la autoridad marítima en materia de fiscalizar y autorizar la limpieza de redes (Artículo 9, Inciso 2) y obliga a una caracterización preliminar del sitio (CPS) para evaluar ambientalmente los proyectos (Resolución N° 404 Subpesca).

La ley General de Bases del Medio Ambiente (Ley 19.300), en el Artículo 10 letra (n) incluye a la acuicultura entre las actividades que deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

La Armada de Chile, a través de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (Directemar), aplica el Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática (aprobado por Decreto Supremo (M) N° 30/92 Ministerio de Defensa Nacional) con el fin de fiscalizar las emisiones de RILES en las instalaciones salmoneras y talleres de lavado de redes. Para ello, utiliza específicamente la Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (aprobado por Decreto Supremo N° 90/01 Ministerio Secretaría General de la Presidencia).

En la **Tabla 6** se identificaron las fuentes de impactos negativos, potenciales y efectivos, respecto al uso y tratamiento de pinturas anticrustantes en una o más fases del proceso productivo del salmón, y la forma de controlarlo y/o mitigarlo a través de reglamentos y decretos. Es importante destacar que existen diferentes exigencias entre los

centros ubicados en porciones de agua y fondo de cuerpos de aguas terrestres, en comparación con los emplazados en cuerpos marinos. En esta oportunidad, se tomará en cuenta la legislación pertinente a cultivos marinos.

Tabla 6. Descripción de impactos en el proceso productivo del Salmón respecto a las pinturas antincrustantes y las medidas preventivas implementadas.

	Aspectos sensibles de causar y/o agravar impacto	Reglamentos y Decretos Involucrados
Pinturas antincrustantes para Redes	Uso de compuestos del tipo Organotin (compuestos de Estaño, TBT)	No existen. Principales empresas se rigen por regulaciones extranjeras.
Planta cultivo salmones	La entrega de la limpieza de las redes a sitios no autorizados y/o clandestinos	-D.S. N°320/01 MINECON (RAMA) -APL Sector Productores de Salmón y Trucha
	Descarga de RILES a cuerpos de agua marinos.	-D.S (M) N° 30/92 MDN. -D.S. N° 90/01 MINSEGPRES.
Talleres de lavado de redes	Descarga de RILES a cuerpos de agua marinos.	-D.S (M) N° 30/92 MDN. -D.S. N° 90/01 MINSEGPRES.
	Formación de Lixiviados en las zonas sucias	-APL Sector Talleres de Redes
Transporte del taller hacia la planta	Tranporte de las redes impregnadas	-APL Sector Talleres de Redes

En la planta de cultivo de salmones, un impacto importante es la entrega de la limpieza de las redes a talleres no autorizados y/o clandestinos. Esta eventualidad es regulada por el

RAMA. En el caso que la misma salmonera limpie sus redes, sus descargas son reguladas por el RCCA en conjunto con Decreto N° 90, fiscalizado por la autoridad marítima. En este tema, los Acuerdos de Producción limpia promueven la contratación de servicios de limpieza de redes a aquellas empresas que comprometan la producción limpia en el otorgamiento de sus servicios.

Para los talleres de lavado de redes, rige la misma normativa de descarga de RILES de las salmoneras. La prevención y manejo de las redes en el taller son detalladas en el APL, así como también el transporte de regreso al centro de cultivo.

4.5.3. Respecto a la situación legal de los talleres de lavado de redes en la Décima Región.

La **Figura 7** esquematiza la situación hasta el año 2004, de los talleres de lavado de redes en la Décima Región respecto al tratamiento de los RILES y el cumplimiento de la ley, uno de los puntos de impacto ambiental más importantes en esta actividad.

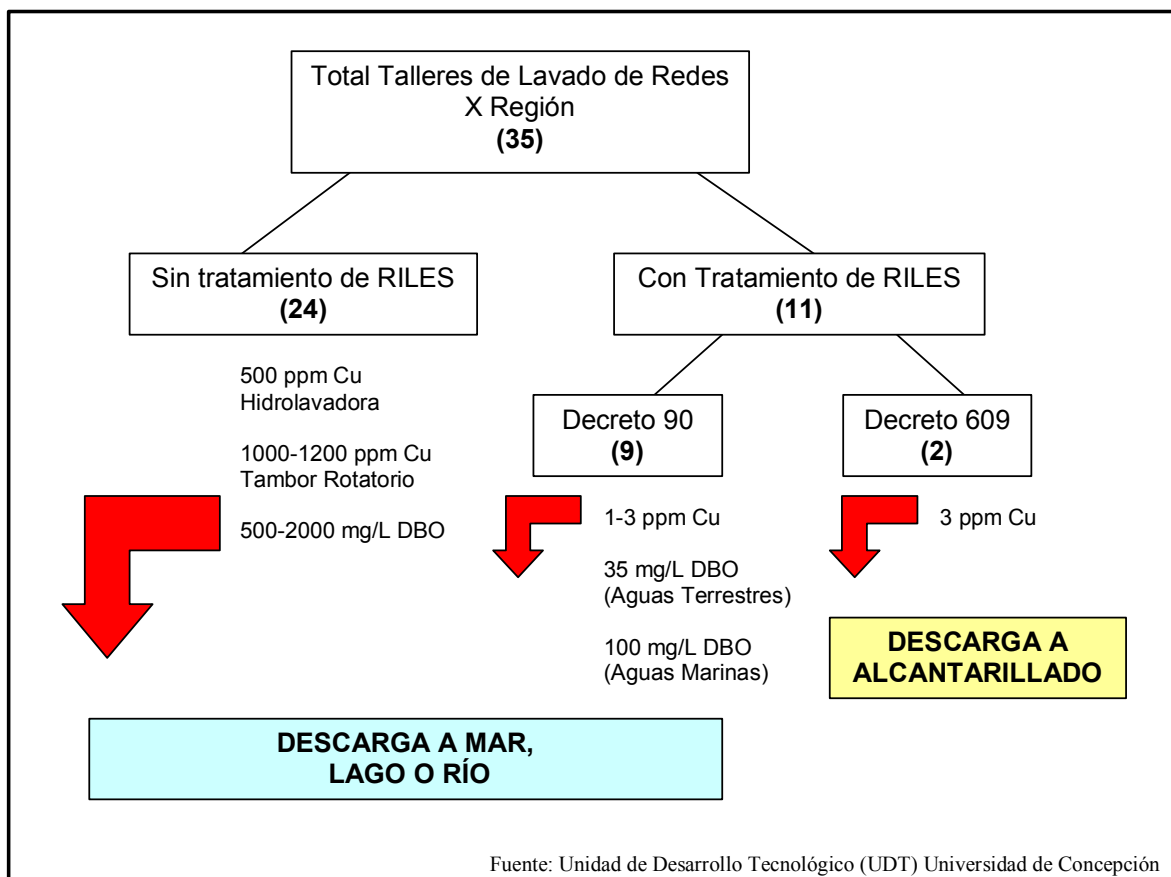


Figura 7. Situación de los talleres de lavado de redes en la décima región año 2004 respecto al tratamiento de sus RILES.

Existen once talleres que tratan sus RILES; nueve cumplen el Decreto Supremo 90 con la correspondiente certificación ambiental, y dos con el Decreto Supremo 609 del Ministerio de Obras Públicas. Estos dos últimos mantienen convenio con la Empresa de Servicios Sanitarios Los Lagos (ESSAL), el de tratar sus aguas antes de disponerlas en la red de alcantarillado municipal. Por otra parte se estima que alrededor de 24 talleres son clandestinos, y no cumplen con la regulación por no tener ningún sistema de tratamiento.

En los talleres con tratamiento que no descargan al alcantarillado, la emisión final del RIL contiene de 1 a 3 ppm (mg/lt) de Cobre y de 35 mg/lt a 100 mg/lt de DBO⁸ (en caso de emisión a cuerpos de agua terrestres y marinos respectivamente) cumpliendo con el Decreto 90. Los lodos⁹ provenientes del tratamiento de las aguas son secados y luego dispuestos en sitios de acopio de desechos químicos industriales. Los talleres sin tratamiento de efluentes descargan el RIL provenientes de lavadoras o tambor rotatorio en ríos, lagos, cuerpos marinos o simplemente los que se ubican en cerros, ladera abajo. Los efluentes contienen una carga de 500 a 12.000 ppm.de cobre con otros metales (lavadora y tambor rotatorio respectivamente) y una DBO de 500 a 2.000 mg/l.

⁸ DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Oxígeno necesario para que la materia orgánica soluble sea oxidada por bacterias presentes. American Society for testing and materials Philadelphia, Pennsylvania. Manual de aguas para usos industriales. 1969. Limusa, México. 351

⁹ Lodos: Acumulación de materiales insolubles presentes en el agua. American Society for testing and materials Philadelphia, Pennsylvania. Manual de aguas para usos industriales. 1969. Limusa, México. 351

4.5.4. Respeto a los acuerdos de producción limpia y normativa ambiental.

La Producción Limpia es una estrategia de gestión empresarial preventiva, creada por el Consejo Nacional de Producción Limpia del Ministerio de Economía. Su objetivo consiste en minimizar emisiones y/o descargas en las etapas de procesos, organización del trabajo y obtención del producto final; con el fin de reducir riesgos para la salud humana y ambiental, y simultáneamente elevar la competitividad. Todo aquello resulta de cinco acciones, sean éstas combinadas o no:

- Minimización y consumo eficiente de insumos, agua y energía
- Minimización del uso de insumos tóxicos
- Minimización del volumen y toxicidad de todas las emisiones que genere el proceso productivo
- Reciclaje de la máxima proporción de residuos en la planta y si no; fuera de ella en lugares bajo control
- Reducción del impacto ambiental de los productos en su ciclo de vida.

Desde la perspectiva de garantizar el desarrollo sostenible y enfrentar los nuevos retos de la competitividad empresarial, la gestión ambiental se considera como una fuente de oportunidades y no como un obstáculo. Adicionalmente, existen otras motivaciones como:

- Convicción de que es una estrategia encaminada al desarrollo sustentable.
- Mejora la competitividad.
- Garantiza la continuidad de la actividad productiva.

- Mejora de la eficiencia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.
- Ayuda a cumplir la normativa ambiental.
- Es base fundamental para garantizar el mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Ayuda a mejorar la imagen pública.
- Disminuye las inversiones en sistemas de control al final del proceso.

La **Figura 8** esquematiza en forma resumida los aspectos más relevantes de los Acuerdos de Producción Limpia en la industria salmonera.

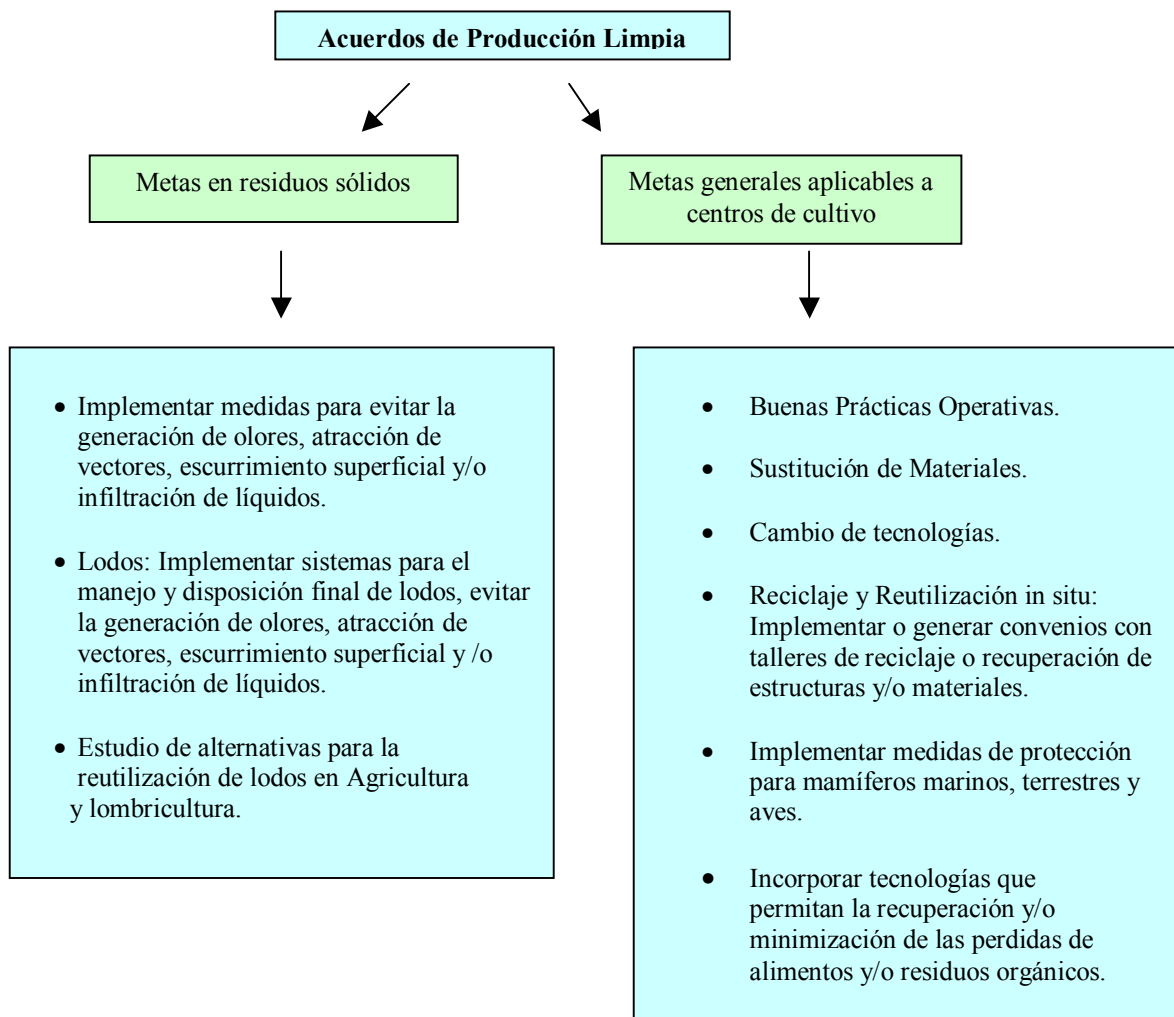


Figura 8. Principales medidas consideradas de buenas prácticas en procesos y productos dentro de los centro de cultivo y las plantas faenadoras de salmón.

4.6. Muestreo de sedimento

La **Tabla 7** detalla las concentraciones de cobre total encontradas bajo balsas jaulas de once centros de cultivo ubicados en la X y XI regiones. La **Tabla 8** detalla una serie de datos de estadística descriptiva, los que permiten una primera aproximación al conjunto de valores de cobre total puntualizados en las Tabla 7, separados por región.

Tabla 7. Detalles del muestreo realizado en las X y XI Regiones, temporada Noviembre-Diciembre 2004.

Centro	Región	Latitud	Longitud	Cuerpo de Agua	Ubicación Muestra	Cobre Total (mg/kg)
1	X	42°21'59	73°35'01	Canal Dalcahue	Control	3,33
	X	42°22'01	73°34'53	Canal Dalcahue	Balsa	4,47
	X	42°22'00	73°34'49	Canal Dalcahue	Balsa	4,73
	X	42°22'01	73°34'47	Canal Dalcahue	Balsa	7,21
2	X	42°21'58	73°35'2	Canal Dalcahue	Control	3,59
	X	42°22'03	73°35'17	Canal Dalcahue	Balsa	1,65
	X	42°22'04	73°35'14	Canal Dalcahue	Balsa	4,3
	X	42°22'02	73°35'05	Canal Dalcahue	Balsa	4,71
3	X	42°20'39	73°30'03	Canal Dalcahue	Control	5,87
	X	42°20'47	73°33'06	Canal Dalcahue	Balsa	3,66
	X	42°20'4	73°32'57	Canal Dalcahue	Balsa	5,89
	X	42°20'43	73°32'58	Canal Dalcahue	Balsa	16,6
4	X	42°23'04	73°37'32	Canal Dalcahue	Control	5,42
	X	42°23'04	73°37'22	Canal Dalcahue	Balsa	4,33
	X	42°23'05	73°37'08	Canal Dalcahue	Balsa	6,04
	X	42°23'09	73°37'2	Canal Dalcahue	Balsa	6,63
5	X	42°22'15	73°37'02	Estero Teguel	Control	5,01
	X	42°22'19	73°36'51	Estero Teguel	Balsa	8,09
	X	42°22'17	73°36'53	Estero Teguel	Balsa	10,9
	X	42°22'18	73°36'57	Estero Teguel	Balsa	11,8
6	X	42°22'27	73°36'43	Estero Teguel	Control	5,08
	X	42°22'2	73°36'43	Estero Teguel	Balsa	7,71
	X	42°22'23	73°36'48	Estero Teguel	Balsa	8,89
	X	42°22'23	73°36'52	Estero Teguel	Balsa	10,7
7	X	42°22'19	73°36'33	Canal Dalcahue	Control	5,42
	X	42°22'19	73°36'36	Canal Dalcahue	Balsa	6,61
	X	42°22'16	73°36'32	Canal Dalcahue	Balsa	7,56
	X	42°22'16	73°36'33	Canal Dalcahue	Balsa	8,39
8	X	42°22'17	73°35'59	Canal Dalcahue	Control	5,27
	X	42°22'13	73°36'02	Canal Dalcahue	Balsa	4,86
	X	42°22'13	73°35'59	Canal Dalcahue	Balsa	5,36
	X	42°22'12	73°35'59	Canal Dalcahue	Balsa	5,94
9	XI	45°26'39,5	72°48'50,9	Fiordo Aysén	Control	17,53
	XI	45°26'41,1	72°48'53,3	Fiordo Aysén	Balsa	21,46
	XI	45°28'04,9	72°53'09,3	Fiordo Aysén	Balsa	16,35
	XI	45°28'04,7	72°53'10,1	Fiordo Aysén	Balsa	18,27
10	XI	45°48'17	73°23'21	Bahía Chacabuco	Control	29,59
	XI	45°28'48,4	72°49'50,9	Bahía Chacabuco	Balsa	20,64
	XI	45°28'48,4	72°49'56,7	Bahía Chacabuco	Balsa	26,44
	XI	45°23'09,4	72°48'40,1	Bahía Chacabuco	Balsa	28,1
11	XI	44°19'47,1	72°34'30,6	Puyuhuapi	Control	24,16
	XI	44°19'50,6	72°34'27,0	Puyuhuapi	Balsa	22,74
	XI	44°19'48,3	72°34'27,5	Puyuhuapi	Balsa	26,11
	XI	44°19'47,6	72°34'27,5	Puyuhuapi	Balsa	28,71

Tabla 8. Análisis estadístico descriptivo de datos de concentración de cobre total bajo balsas jaulas obtenidos en ocho centros de cultivo de la X Región y tres centros de cultivo de la XI Región.

	Concentración de cobre total bajo balsa jaula X Región	Concentración de cobre total bajo balsas jaulas XI Región
N	24	9
Media	7,00	23,20
Desviación Estándar	3,21	4,40
Mínimo	1,65	16,35
Máximo	16,60	28,71
Percentil 75	8,76	27,27

a) Para concentraciones de Cobre total en sedimento bajo balsas jaulas de la X Región:

Se estimó un valor promedio de 7,00 mg/kg de cobre total y una mediana de 6,32 mg/kg; con un 75% de los datos (N=18) bajo los 8,76 mg/kg. La desviación estándar es de 3,21, por lo que un porcentaje importante de los datos (alrededor de un 68%) se encuentra entre $[7,00 \pm 3,2]$ mg/kg de cobre total; con valores mínimos de 1,65 mg/kg y máximos de 16,60 mg/kg.

b) Para concentraciones de Cobre total en sedimento bajo balsas jaulas de la XI Región:

Se estimó un valor promedio de 23,20 mg/kg de Cobre total y una mediana de 22,74 mg/kg; con un 75% de los datos (N=6) bajo los 27,27 mg/kg. La desviación estándar es de 4,40, por lo que un porcentaje importante de los datos (alrededor de 68%) se encuentra entre $[23,20 \pm 4,40]$ mg/kg de cobre total; con valores mínimos de 16,35 mg/kg y máximos de 28,71 mg/kg.

4.7. Análisis Estadísticos

4.7.1. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. referencia

Test Mann-Whitney (Wilcoxon) W test para comparar medianas

H_0 : Mediana bajo balsa = Mediana referencia

H_1 : Mediana bajo balsa \neq Mediana referencia

W = -43,0

Grados de libertad = 23; 7

P-value = 0,06435

No se rechaza H_0 a un 95% de confianza.

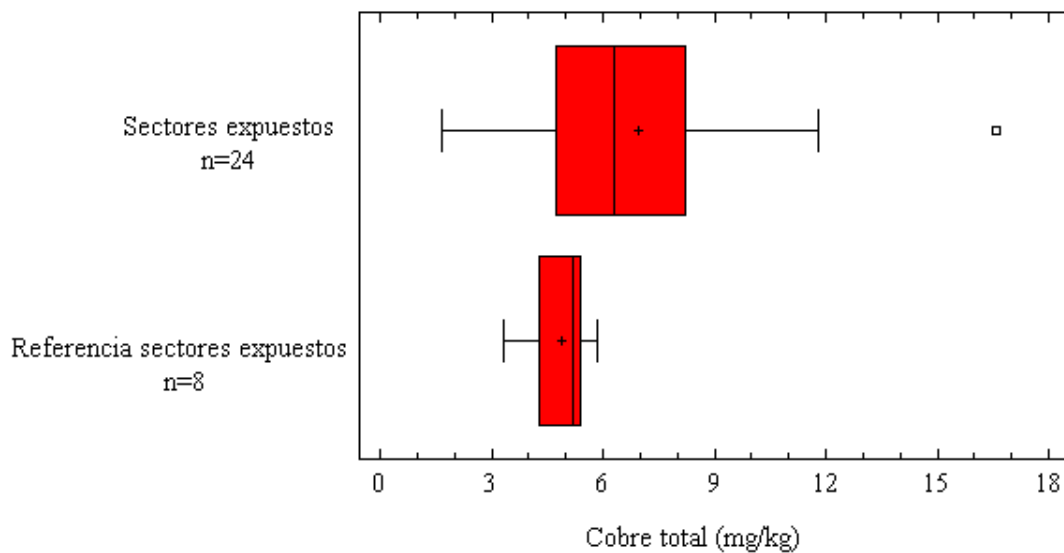


Figura 9. Gráfico caja y bigote de las concentraciones de cobre total medidas bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. referencia

No se presentan diferencias significativas entre la concentración de cobre total medida bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. su referencia.

4.7.2. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. protegidos.

Test Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

H_0 : Mediana_{geográficamente expuestos} = Mediana_{geográficamente protegidos}

H_1 : Mediana_{geográficamente expuestos} \neq Mediana_{geográficamente protegidos}

W = 107,0

Grados de libertad= 23; 8

P-value = $1,67 \times 10^{-5}$

Se rechaza H_0 a un 95% de confianza.

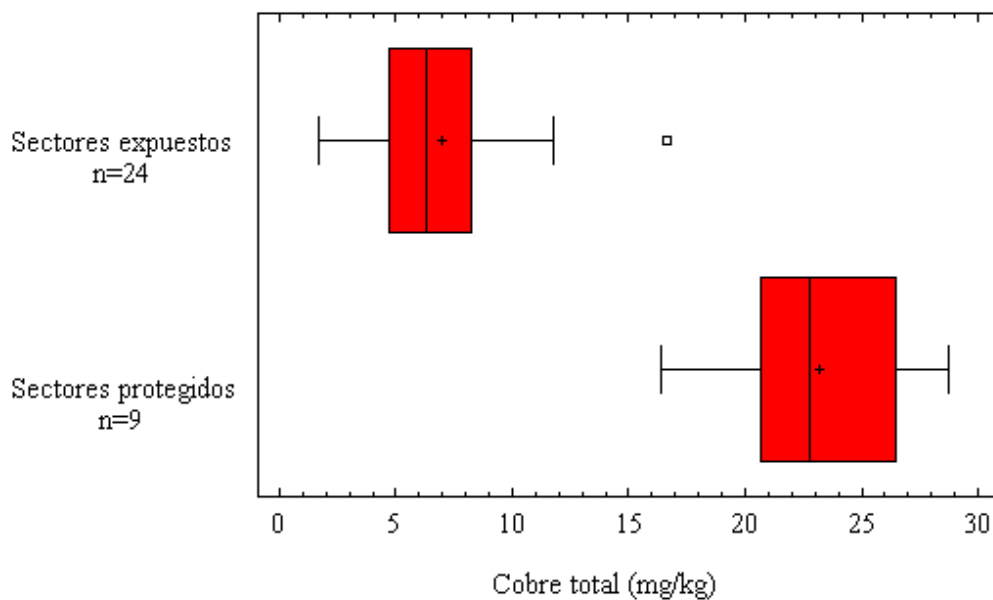


Figura 10. Gráfico caja y bigote de las concentraciones de cobre total medidas bajo balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. geográficamente protegidos.

La concentración de cobre total medida en el sedimento bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores expuestos, es significativamente menor que la de los sectores protegidos.

4.7.3. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. normas internacionales y proyecto nacional de norma.

La **Tabla 9** detalla la normativa secundaria de cobre en sedimento marino de varios países. La **Tabla 10** detalla los niveles contemplados en el proyecto de norma de calidad secundaria para cobre en sedimentos marinos en Chile.

Se decidió llamar ‘Umbral’ al valor mínimo de concentración de cobre total a partir del cual es probable la aparición de efectos, y ‘Máximo’ al valor de concentración sobre el cual, la ocurrencia de efectos adversos es frecuente. Finalmente los valores situados entre ‘Umbral’ y ‘Máximo’ representan el rango de concentración que podrían potencialmente estar asociados con efectos biológicos adversos. En la **Figura 11** se comparan los niveles internacionales umbrales más estrictos (Canadá) y máximos menos estrictos (Estados Unidos) con los niveles de cobre encontrados bajo balsas jaulas en sectores geográficamente expuestos. También se comparan los niveles encontrados con la propuesta de norma de cobre nacional.

Tabla 9. Normativa de calidad secundaria para cobre total en sedimentos marinos en diferentes países.

	Canadá	Estados Unidos	Holanda	Reino Unido	Hong Kong, Australia y Nueva Zelanda
Umbral	18,7 mg/kg	390 mg/kg	36 mg/kg	34 mg/kg	65 mg/kg
Máximo	108 mg/kg	390 mg/kg	190 mg/kg	108- 270 mg/kg	270 mg/kg

Tabla 10. Proyecto de Norma de calidad secundaria para cobre total en el sedimento marino nacional.

	Proyecto de norma de calidad secundaria
Umbral (Límite Inferior)	22,7 (mg/kg)
Máxima(Límite Superior)	200,0 (mg/kg)

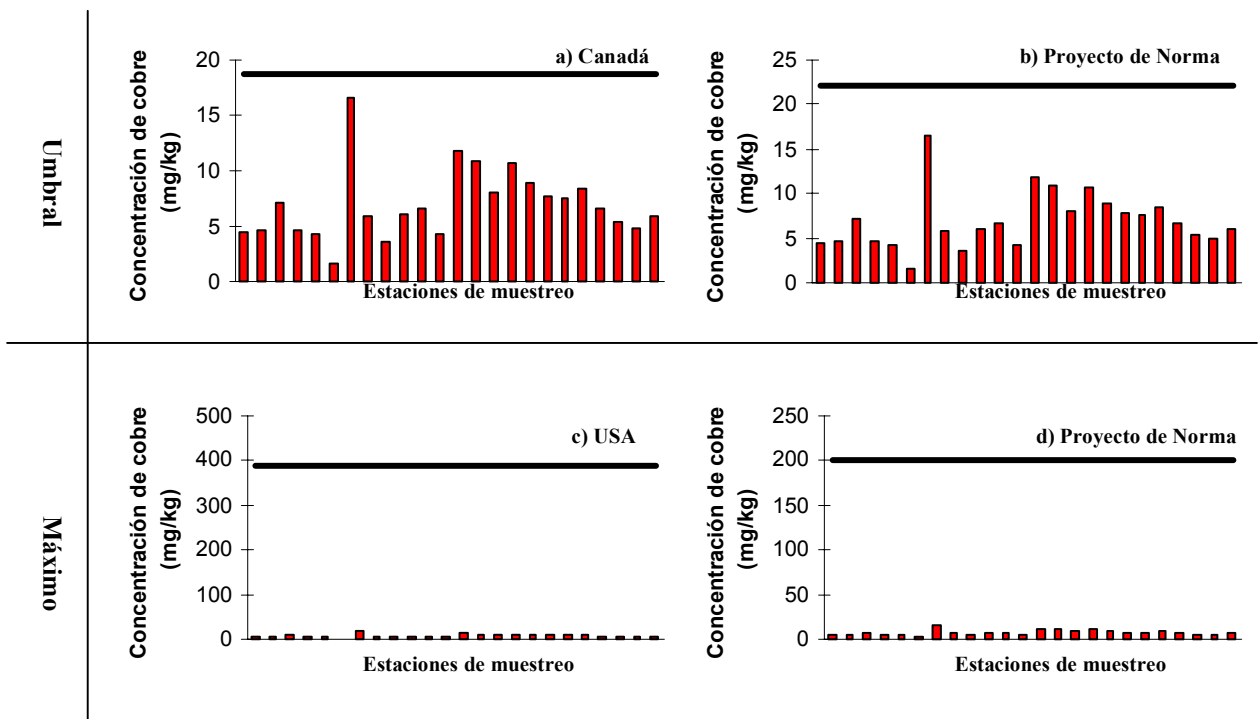


Figura 11.

- a) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. regulación canadiense umbral.
- b) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. proyecto de norma nacional umbral.
- c) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. regulación norteamericana para niveles máximos.
- d) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. proyecto de norma nacional para niveles máximos.

Las concentraciones de cobre total medidas en sectores geográficamente expuestos no sobrepasó el nivel umbral más exigente (18,7 mg/kg) ni los valores propuestos por el proyecto nacional de norma de calidad secundaria (22 mg/kg). El 75% de los datos demostró el mismo comportamiento (sobre los 8,76 mg/kg).

4.7.4. Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos vs. normas internacionales y proyecto nacional de norma.

En la **Figura 12** se comparan los niveles internacionales umbrales más estrictos (Canadá) y máximos menos estrictos (Estados Unidos) con los niveles de cobre medidos bajo las balsas-jaulas de sectores geográficamente protegidos. También se comparan los niveles encontrados con la propuesta de norma nacional de cobre total para sedimentos.

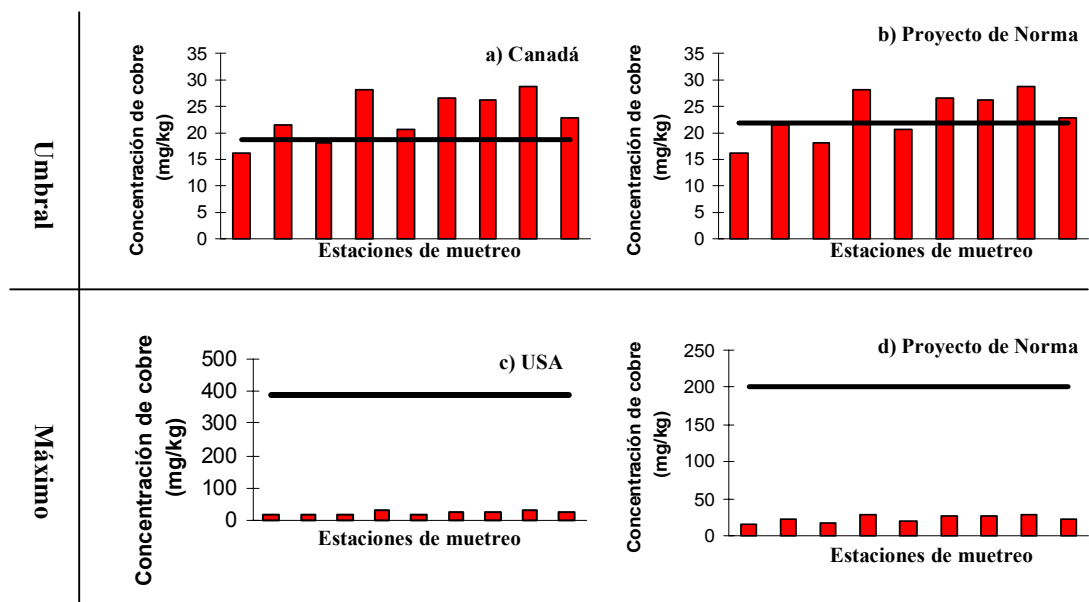


Figura 12.

a) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos y regulación canadiense umbral.

b) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos y proyecto de norma nacional umbral.

c) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo las balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos y regulación norteamericana para niveles máximos.

d) Comparación entre las concentraciones de cobre total medidas bajo balsas-jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos y proyecto de norma nacional para niveles máximos.

La concentración máxima encontrada en la zona (28,71 mg/kg) sobrepasó el umbral y el proyecto de norma de calidad secundaria. El 75% de los datos demostró el mismo comportamiento (sobre los 27,27 mg/kg).

4.8. Modelos

4.8.1. Descripción procesos físicos - bioquímicos de las pinturas antincrustantes impregnadas en redes salmoneras en el medio marino inmediato a la jaula.

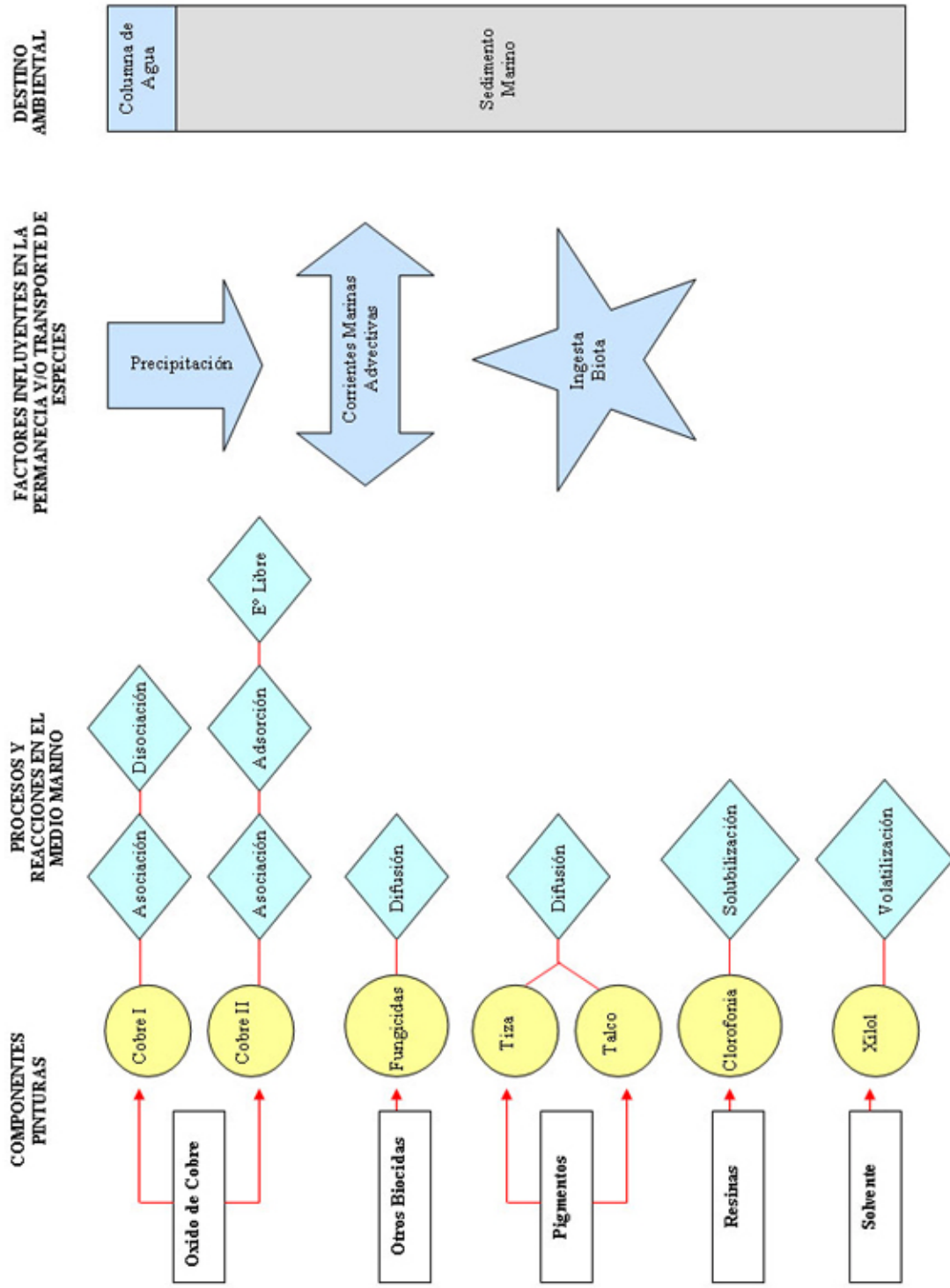
En la **Figura 13**, se muestra un esquema general y descriptivo de los procesos físicos, químicos y biológicos a los cuales están sometidos los componentes típicos de las pinturas usadas en las redes salmoneras y su destino final en el ambiente marino. La atención se centrará principalmente en las reacciones y los procesos del Oxido de Cobre, esto es por ser el principal elemento contaminante.

Los rectángulos y círculos representan los componentes de la pintura y el ingrediente específico respectivamente; los rombos esquematizan los procesos a los cuales están sometidos estos ingredientes.

4.8.1.1. Componentes Pinturas

Como lo esquematiza la **Figura 13**, los iones se liberan del Oxido de Cobre a una tasa de lixiviación de $37,6 \mu\text{g} / \text{cm}^2 / \text{día}$ (índice determinado para Flexgard XI[®], Brooks, 2001). Los otros biocidas (Fungicidas) se difunden en la masa marina causando efectos tóxicos sobre los organismos que el cobre no afecta. El mismo proceso ocurre con los pigmentos (Tiza y Talco); mientras la resina (Clorofonia) que se encuentra en contacto con la luz solar se degrada por efecto UV. La resina restante se solubiliza en el agua. En cuanto a los solventes (Xilol); si la red ha sido pintada recientemente, existirá un alto índice de volatilización. Finalmente, el elemento se incluirá al ciclo contaminante del aire con efectos acumulativos en la atmósfera.

Figura 13. Procesos Físicos- Bioquímicos de los componentes de las pinturas anticrustantes en el medio marino.



4.8.1.2. Procesos y reacciones en el medio marino

El **Cobre (I)** es muy inestable. Se **disocia** rápidamente (<1 segundo) en solución acuosa para liberar cobre metálico Cu^0 e iones Cu^{++} al medio, alcanzando la estabilidad en el ión Cu^{++} (Omae, 2003)



Los únicos compuestos de cobre I que son estables en agua son insolubles, como por ejemplo sus **asociaciones** con cloro (CuCl_2) azufre (Cu_2S), ciano (CuCN) y flúor (CuF). Aquellos compuestos insolubles no son biodisponibles para la vida marina, y por tanto, no tóxicos (WHO, 1998).

El **Cobre (II)** proviene del óxido de cobre de la pintura y del resultado de la reacción del cobre (I) descrita anteriormente. De regreso a la **Figura 11**, se especifican los distintos procesos por los cuales el cobre (II) está sometido, los cuales se detallan a continuación:

A) Asociación.

▪ **Cobre con Hidróxido [$\text{Cu}(\text{OH})_2$; $\text{Cu}(\text{OH})^+$]**

Es una de las especies del tipo inorgánica que más se encuentran en agua dulce, salada y combinación de ambas. La forma $\text{Cu}(\text{OH})_2$ es insoluble.

▪ **Cobre con Carbonatos [$\text{Cu}(\text{CO}_3)$; $\text{Cu}(\text{HCO}_3)^+$]**

La especie $\text{Cu}(\text{CO}_3)$ es una de las más inofensivas, debido a que no es biodisponible y precipita al sedimento, permaneciendo en estado inorgánico (Salamanca, 1998).

- **Materia inorgánica y orgánica.**

En el agua marina a un pH cercano a 8, las formas típicas de cobre son las asociaciones con ligandos y complejos inorgánicos. Este tipo de asociaciones aumentan con la fuerza iónica, la cual es una función de la salinidad de los cuerpos marinos. No obstante, la **materia orgánica** es generalmente el agente asociativo más importante (WHO, 1998). Es importante destacar que todas estas reacciones están en equilibrio, esto es, una constante transformación de reactantes a productos y viceversa.

***Asociaciones con inorgánicos:** El amoníaco (NH_3) y cloruro (Cl^-) son ejemplos de especies que forman ligandos estables con cobre. Con nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), y el ión amonio (NH_4^+) forman complejos solubles. Con fosfatos (PO_4^{3-}) forma un complejo insoluble.

***Asociaciones con orgánicos:** Estas son con ácidos húmicos, aminoácidos y sólidos suspendidos. En el caso de aguas inmediatas a jaulas salmoneras, los detritos originados por los peces muertos, materiales de desecho y alimentos provenientes de los pellets serán la fuente principal de complejos orgánicos.

B) Adsorción.

El proceso de adsorción consiste en la atracción y adhesión de una capa de iones a una superficie, trátase de minerales, complejos o fases sólidas en solución acuosa. En el mar la adsorción ocurre activamente, debido a que el pH está por encima del punto isoeléctrico¹⁰

¹⁰ Punto Isoeléctrico: Punto donde una forma química permanece neutra. Petrucci, R. 2003. Química general. Prentice may, España. 747.

(usualmente $\text{pH} > 6$), lo que permite que la superficie del sólido se torne negativa, y así adsorba los cationes bivalentes de Cu^{2+} . El metal se adsorbe a coloides¹¹ o a material particulado, como óxidos de metal hidratados, compuestos orgánicos de alto peso molecular y arcillas; los que finalmente precipitan al sedimento.

C) Estado Libre (Cu^{+2}) o Cobre Hidratado $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{+2}$

Esta ocurrencia del metal cobre es biodisponible para la flora y fauna marina, considerándose la especie más tóxica. Es altamente reactivo y forma varios complejos y precipitados que son perceptiblemente menos tóxicos que su estado iónico. En el agua de mar, su concentración es baja (WHO, 1998). La **Tabla 11** determina las características del medio de las que depende la magnitud de sus efectos.

¹¹ Coloides: Sustancia compuesta de variadas partículas pequeñas, insolubles y que no difunden; mayores que moléculas pero suficientemente pequeñas para permanecer suspendidas en el líquido sin asentarse en el fondo. Ville, C. 1996. Biología. Mc Graw Hill, México. 1144.

Tabla 11. Características físico químicas del agua de mar que regulan y magnifican la toxicidad del ion cobre en el medio (INCA, 1990).

Reguladores	Magnificadores
Presencia de ligandos inorgánicos y orgánicos	Presencia de Zinc (Zn) y Niquel (Ni)
Mayor dureza del agua	Menor dureza del agua
Mayor Salinidad o Fuerza iónica	Menor Salinidad
Mayor oxígeno disuelto	Menor oxígeno disuelto
Mayor masa de fitoplancton	Menor masa de fitoplancton
pH mayores a 6,0	pH menores a 4,5
----	Baja Temperatura

4.8.1.3. Factores influyentes en la permanencia y/o transporte de especies y destino ambiental.

Los ingredientes de las pinturas antincrustantes anteriormente especificados y principalmente el cobre, están sujetos a tres mecanismos de naturaleza física y biológica que determinan su estancia y/o transporte en el medio donde es liberado. La **Tabla 12** indica los factores que influyen en la permanencia del cobre.

Tabla 12. Factores influyentes en la permanencia y/o transporte de especies y destino ambiental (Salamanca, 1998).

	Descripción y Efectos
Precipitación	Proceso de naturaleza física que sigue a la transformación del material disuelto a particulado, y a la adsorción; desplazando los complejos desde la columna de agua al sedimento.
Corrientes Marinas Advectivas	Proceso que constituye una vía de entrada y de salida de material. La renovación de las masas marinas cercanas a balsas jaulas dependen de la frecuencia, dirección, geografía del lugar, estratificación (densidad de las aguas) y la profundidad a la que transitan estas corrientes. Su dirección dispondrá el destino último del contaminante.
Ingesta Biota	Los organismos ubicados en la base de la pirámide trófica son los grandes consumidores de formas complejas de cobre, los que disminuyen su estancia en la columna de agua.

La acumulación de las especies de cobre en el sedimento es producto de la precipitación del material suspendido. El sedimento es considerado uno de los principales reservorios de especies metálicas asociadas y adsorbidas, los que pueden seguir reaccionando con posterior remineralización de la materia orgánica, coagulación, floculación, sulfuración, resuspensión y desorción. Los dos últimos procesos ayudan a una remoción del cobre desde el sedimento. Generalmente estas reacciones en el sedimento son en un solo sentido (Reactantes \Rightarrow Productos). La acumulación de las especies se presentará en donde el transporte de sedimentos es reducido. Una vez en el sedimento, la liberación de estas especies a las aguas circundantes no es frecuente.

Si se considera el sedimento bajo una balsa jaula, este podría considerarse más bien anóxico. Sus condiciones anaerobias son causadas por el recubrimiento de materia orgánica sobre la superficie del sedimento. Generalmente la especie cobre se encuentra en la forma sulfurada, la que es inorgánico y muy insoluble, por tanto, no biodisponible. La **Tabla 13** indica los dos distintos tipos de sedimentos y las reacciones del cobre en ellos.

Tabla 13. Ocurrencias del cobre en sedimentos anóxicos y aeróbicos (Salamanca, 1998).

Sedimentos Anaeróbicos o Anóxicos	Sedimentos Aeróbicos
Formas Sulfuradas	Asociación a Sustancias Húmicas y Oxidos de Hierro
Asociación a Materia Orgánica	Asociación a Carbonatos
Formación de sales insolubles por oxidación del cobre II a cobre I	---

4.8.2. Descripción general del proceso de traslado de redes desde una jaula salmonera hasta su reposición e impactos ambientales implicados.

Las redes salmoneras necesitan mantenimiento cada tres a cuatro meses, con el fin de restaurar la pintura solubilizada, remover el bioincrustado asentado y reparar la red en el caso de estar abierta. Este proceso se lleva a cabo en los ‘Talleres de Lavado de Redes’, los que pueden ubicarse dentro de las instalaciones de la misma salmonera o ser de propiedad particular. La **Figura 14** muestra esquemáticamente transporte hacia el taller con los impactos involucrados y la **Figura 15**, el procedimiento de limpieza de una red.

4.8.2.1. Transporte (Ida)

La red sucia es transportada en la mayoría de los casos por medios marítimos. Se postula que esta primera etapa ya trae consigo un impacto ambiental, el que consiste en la diseminación de marea roja. El mecanismo es el siguiente: el molusco incrustado a la red se contamina en el cultivo con toxina paralizante (Folsom, 1993) y cae al mar en el percolado que exuda de la red mientras es transportada.

En ocasiones, existe una segunda etapa de locomoción terrestre con el fin de llevar las redes al taller de lavado correspondiente. Según un estudio teórico de las reacciones del percolado en el suelo, no existiría impacto ambiental. Este percolado contiene principalmente **complejos orgánicos de metales, bacterias, organismos marinos y materia orgánica**. En el suelo, los metales se disocian de la fracción orgánica por efecto fotoquímico, formando enlaces Metal-Oxígeno (INCA; 1990). Esta oxidación de metales

no tiene efecto alguno sobre organismos vivos y forman parte de la fracción inorgánica del suelo.

Por otra parte las bacterias, los organismos marinos y la materia orgánica se degradan por efecto UV y por oxidación con el aire, formando parte del suelo por biodegradación.

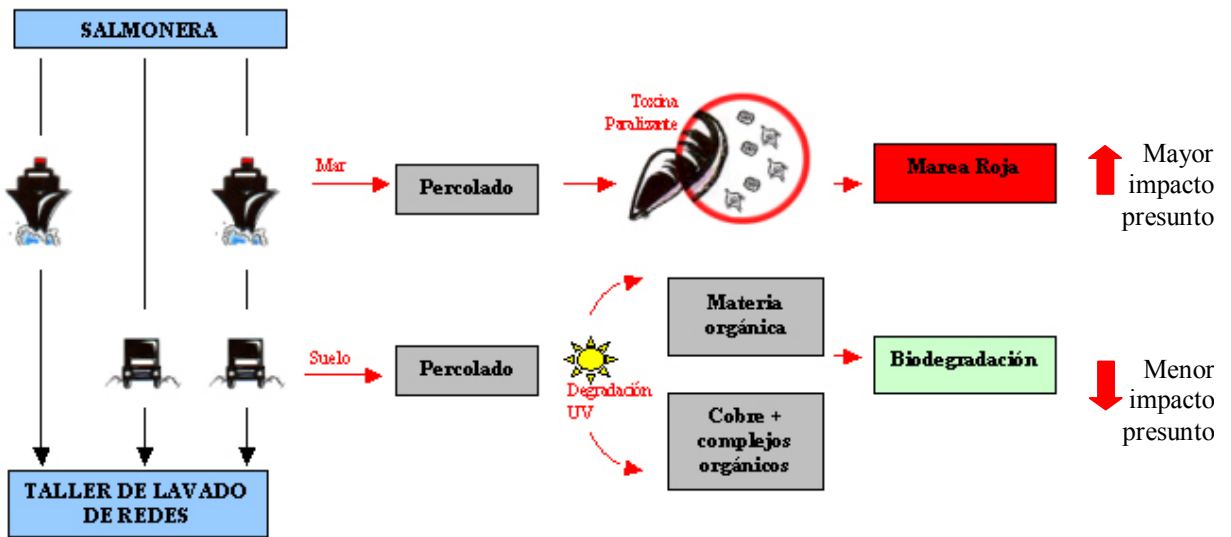


Figura 14. Esquema del transporte de una red salmonera desde el centro piscicultor hasta el taller de lavado de redes, junto con los impactos implicados.

4.8.2.2. Procesos e Impactos Ambientales originados en el Taller de lavado de redes

Esta descripción se basa en la observación del Taller de Lavado de Redes ‘Nisa Redes’.

La **Figura 15** esquematiza todo el proceso en al cual son sometidas las redes sucias.

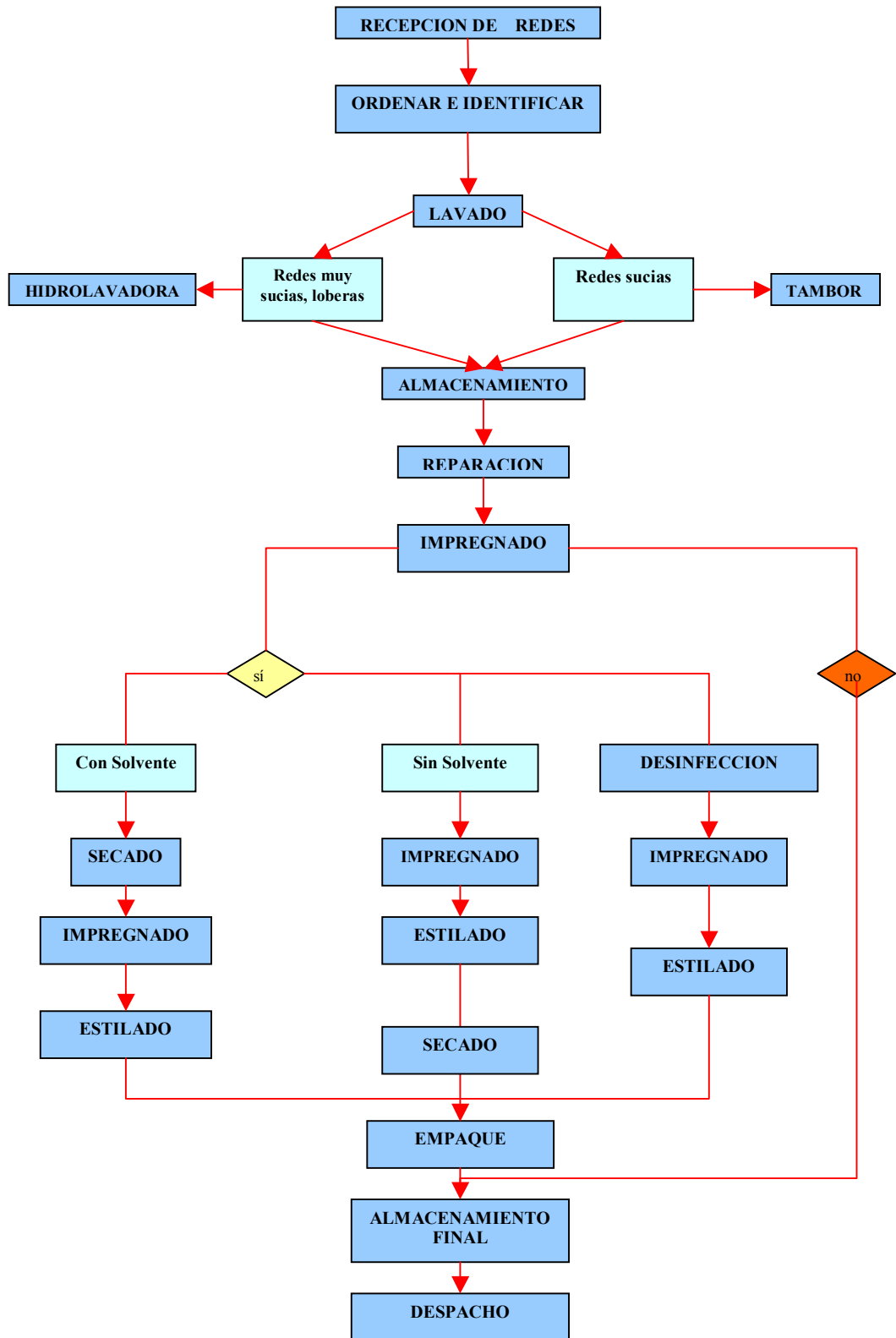


Figura 15. Procesos llevados a cabo en talleres de lavado de redes “Nisa Redes”

La primera etapa consiste en la recepción, donde las redes se ordenan e identifican. En este taller, las redes son acopiadas en la llamada “Zona Sucia”, donde el resto del percolado se logra apozar. Las redes muy sucias se destinan a las Hidrolavadoras, las que emiten un RIL más concentrado que el originado en el Tambor Rotatorio.

La disposición del RIL y su posterior tratamiento es la etapa más influyente en la magnitud del impacto. El funcionamiento de talleres clandestinos acrecenta este impacto, ya que no se rigen por la normativa vigente y emiten efluentes con altas cargas de material particulado. Posteriormente las redes son almacenadas en espera del proceso siguiente y reparadas en el caso de necesitarlo.

Sólo algunas redes necesitan ser impregnadas con *antifouling*, (10 litros de pintura por cada 8 a 12 kilogramos de red) el que puede contener o no solvente en su composición; mientras que redes utilizadas en cuerpos de agua terrestres (lagos, ríos) sólo necesitan ser desinfectadas. El impregnado-estilado-secado es el mismo para todas, sólo varía el orden de estos procesos. Importante es destacar, que un tercer impacto ambiental de magnitud desconocida se encuentra en el secado de la red impregnada con solventes, donde estas sustancias son volatilizadas y difundidas hacia la atmósfera.

Finalmente, según el código de centro indicado en cada red, son empacadas, almacenadas y despachadas.

4.8.3. Descripción del impacto general de las pinturas antincrustantes en las concesiones de cultivo

La **Figura 16**, esquematiza una aproximación del impacto de las pinturas antincrustantes en un medio de cultivo. Se consideró uno de los peores escenarios en cuanto a renovación de aguas y las más altas concentraciones de cobre total encontradas; que en este caso correspondió dentro de las aguas del Seno Ventisquero, Puyuhuapi.

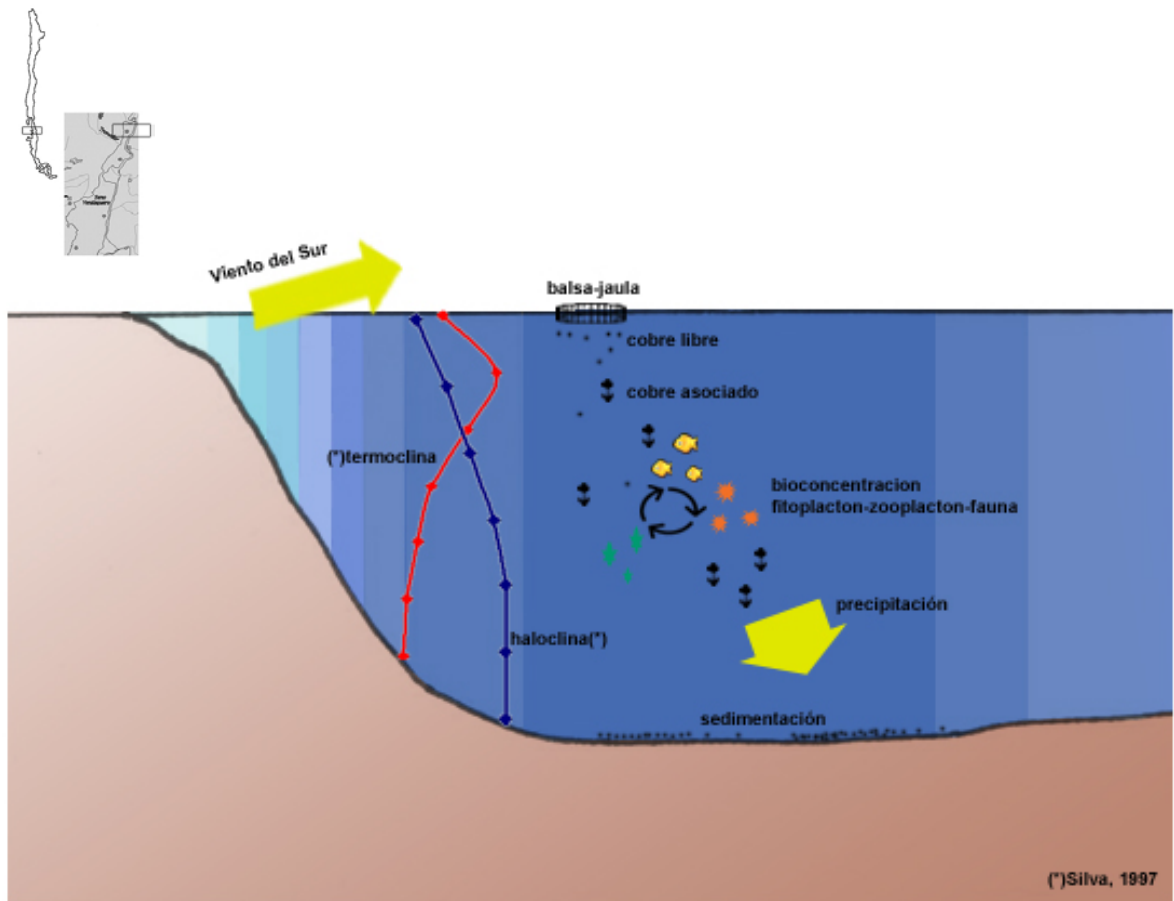


Figura 16. Impacto de las Pinturas antincrustantes en el peor escenario ambiental.

Las redes salmoneras aportan con cobre libre al sistema acuático. Entre los procesos fisico-químicos más importantes, el cobre se asocia con materia orgánica o a sólidos suspendidos, con una posterior precipitación y sedimentación. En este tránsito, el metal puede incluirse a la cadena trófica fitoplancton-zooplancton-organismos marinos con una posterior bioacumulación.

El cobre suspendido puede ser transportado por corrientes advectivas en sentido horizontal más que vertical, desde que este último tipo de transporte es menos frecuente. Debido a los vientos estivales sur-oeste y a los perfiles de salinidad y temperatura (Silva, 1997) que son una función de densidad de las aguas; el transporte de materiales tenderá a desplazarse fuera del área de sedimentación bajo la balsa-jaula.

5. DISCUSION

5.1. De la Revisión Bibliográfica

- La información respecto a los efectos de las pinturas antincrustantes sobre el medio ambiente inmediato a los cultivos es escasa. Gran parte de las investigaciones científicas se concentran al área náutica, debido al carácter extendido y necesario que tienen las pinturas en los cascos de navíos y superficies sumergidas.
- Las fórmulas de las pinturas se han vuelto menos tóxicas al medio ambiente; por ejemplo Hempel® reemplazará el uso de solventes volátiles por agua en un 40%. No obstante, aún no existe una tecnología alternativa que impida eficazmente el bioincrustamiento en las redes y que sea amigable con el medio ambiente.
- En los últimos dos años, el consumo de pinturas se ha estabilizado. Adicionalmente, la intervención y puesta en marcha de los Acuerdos de Producción Limpia, que promueve dentro de sus metas cambios de tecnologías y sustitución de materiales, pronostican el desuso de la pintura antincrustante a base de cobre. De acuerdo algunos centros acuicultores, las balsas-jaulas se incrustan tanto o menos sin la aplicación de pinturas antincrustantes. Incluso un importante centro con firma noruega, está decidida a no usar más pinturas antincrustantes en sus balsas-jaulas, en cumplimiento a su política actual de procesos y tecnologías ecológicas.

5.2. De los modelos

Gracias a la estructuración de modelos descriptivos, se pudo identificar dos posibles impactos:

- El cobre iónico que se lixivia de las redes

Las pinturas causan impacto en la medida que afecten la supervivencia de organismos que tienen hábitat en lugares inmediatos a las jaulas; específicamente los organismos sésiles que habitan en el sedimento. La existencia de impacto fue determinada en base a la comparación entre las concentraciones de cobre medidas en el sedimento y las normas de calidad secundaria de otros países. En el caso de las zonas muestreadas, se puede suponer que existe un impacto potencial; debido a que las concentraciones encontradas en los sedimentos sobrepasan el umbral.

Las investigaciones científicas concluyen que el principal impacto de la industria salmonera sobre el medio ambiente lo constituye la eutrofización de los sedimentos por la materia orgánica que precipita (Folke, 1994; Kraufveling, 2000; Gyllenhammar, 2005). Paradójicamente la presencia de esta materia orgánica proveniente de alimentos, mortalidad y fecas, facilita la asociación de iones de cobre, disminuyendo en un alto grado su biodisponibilidad.

- En los procesos del taller de lavado de redes

Se estableció que los puntos de alto impacto lo constituyen los talleres que limpian sus redes sin tener un tratamiento de sus RILES. Si bien es posible descartar los talleres de

lavado de redes que cumplen las normas de emisiones, existe la posibilidad de sinergia con otras actividades productivas no compatibles que quieran establecerse en la misma zona; lo que causaría una superposición de actividades que actualmente no es prevenida por un marco legal específico y concreto.

5.3. De la determinación de cobre bajo el sedimento de las balsas-jaulas

De los once centros muestreados, las concentraciones de cobre total alcanzan promedios de $7,0 \pm 3,2$ mg/kg y $23,20 \pm 4,4$ mg/kg para las X y XI regiones respectivamente. En comparación con otros estudios, Brooks (2002) entrega un valor promedio de cobre total del orden de los $48,24 \pm 27,00$ mg/kg; el que fue calculado de 117 centros salmoneros ubicados en British Columbia, Canadá. Schendel (2004) entrega un valor promedio de $17,2 \pm 5,5$ mg/kg; el que fue calculado de un centro salmonero ubicado en la Isla Quadra, British Columbia.

5.4. De los análisis estadísticos

- Comparación entre las concentraciones de cobre total bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. referencia

Las concentraciones de cobre total medidas en las estaciones de referencia no presentó diferencias significativas en relación con la concentración de cobre total medida en sectores geográficamente expuestos. Esto puede ser explicado las altas corrientes que transitan en la zona (con velocidades mayores a 8 cm/s; SUBPESCA), lo que provoca una homogeneización del sedimento.

- Comparación entre las concentraciones de cobre total bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. geográficamente protegidos.

La concentración de cobre total medida en el sedimento zonas geográficamente expuestas es significativamente menor que en zonas de bajas corrientes. Esto se explica por el transporte más energético al que están sometidos los sedimentos de la primera zona, lo que permite una renovación constante.

- Comparación entre las concentraciones de cobre total bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente expuestos vs. normas internacionales y proyecto nacional de norma.

En este caso, los umbrales de ambas normas no fueron superados. Sin embargo, Schendel (2004), obtuvo bajas concentraciones de cobre total directamente bajo balsas jaulas pero altas concentraciones lejos de ellas (desde los 30 a 300 m). Yeats (2005) concuerda que los más altos niveles de cobre se encuentran apartados de las balsas jaulas (del orden de los 100 m). Así, aunque no se midieron concentraciones que traspasen la norma secundaria, es muy probable que sí las superen lejos de las balsas jaulas. Esto se debe al transporte de los residuos orgánicos depositados bajo la balsa jaula, los que están altamente asociados con cobre y que son llevados fácilmente por este tipo de corrientes a otros sitios.

- Comparación entre las concentraciones de cobre total bajo las balsas jaulas ubicadas en sectores geográficamente protegidos vs. normas internacionales y proyecto nacional de norma

En este caso, se superó el umbral en los tres centros muestreados. Esto indica que las actividades de acuicultura en zonas de bajas corrientes, si bien ideales para su ejercicio, representan un riesgo potencial para la calidad ambiental, debido a las condiciones de estacionalidad y la pobre renovación de las aguas del sector.

6. CONCLUSION

A través de la estructuración de modelos conceptuales y la obtención de concentraciones de cobre total en el sedimento bajo las balsas- jaulas; se puede pensar que existe un impacto del tipo potencial en los centros salmoneros muestreados en Puyuhuapi y Fiordo Aysén: las concentraciones de cobre total encontradas sobrepasan el umbral. No obstante, esto no exime de responsabilidad a los centros muestreados de Dalcahue, ya que en este caso, la contaminación por cobre es transportada por las altas corrientes.

Si bien el consumo de pinturas antincrustantes está disminuyendo en la industria salmonera y por ende sus efectos, existe un impacto aún más grave, como lo es la contaminación orgánica del sedimento. En este punto, la implementación de tecnologías limpias y buenas prácticas, ostentan un rol importante en la disminución de este impacto.

Finalmente, el aporte de este proyecto residió en aportar conocimiento respecto a los procesos físicos bioquímicos de las pinturas antincrustantes en el medio salmonero, los que sólo estaban detallados en el área náutica. Del mismo modo, se estableció un diagnóstico de las zonas muestreadas del principal contaminante de las pinturas, específicamente el cobre total que precipita en los sedimentos ubicados bajo las balsas-jaulas de salmones.

7. REFERENCIAS

- (1) Braithwaite R; McEvoy L. 2005. Marine biofouling on fish farms and its remediation. *Advances in Marine Biology* (47): 216-243.
- (2) Brooks, Kenneth. 2001. Determination of copper loss rates from Flexgard XI™ treated nets in marine environments and evaluation of the resulting environmental risks. Informe preparado para The British Columbia Salmon Farmers' Association. 02-08, 23.
- (3) Calderón, Patricio et al. 2003. Aprendiendo sobre el aprendizaje. Tercera Edición. Editorial Universidad de Playa Ancha. 80-90
- (4) Crips, S ; Kumar, M. 2003. Environmental and other impacts of aquaculture. En: Lucas, J; Southgate, Paul. *Aquaculture*. Blackwell Editores. Gran Bretaña. 74-99.
- (5) Champ M. 2000. A review of organotin regulatory strategies, pending actions, related costs and benefits. *The science of the Total Environment* (258): 21-71
- (6) Chile. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 2001. Reglamento ambiental para la acuicultura (RAMA). Diario Oficial. 14 de Diciembre. 9 Págs.
- (7) Evans, S; Leksono, T y McKinnel, P. 1995. Tributyltin pollution; a diminishing problem following legislation limiting the use of TBT-based antifouling paint. *Marine Pollution Bulletin* (30): 14-21.
- (8) Folke, C; Kautsky, N; Troell, M.1994. The cost of eutrophication from salmon farming: implications for policy. *Journal of Environmental Management* (40):173-182
- (9) Folsom, W; Sanborn, E. 1993. The difficulties of salmon culture. *Aquaculture Magazine* 1 (19): 51- 63.
- (10) Food and Agriculture Organization. 2003. Review of the state of world aquaculture. *FAO Fisheries Circular N° 882, Rev 2*. p. 6.
- (11) Gyllenhammar, A; Håkanson, L. 2005. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic- a review. *Marine Environmental Review* (60): 211-243.
- (12) Hodson, S. 2000. Biofouling of fish cage netting: the efficacy of a silicone coating and the effect of netting colour. *Aquaculture* (184): 285-286.

- (13) Hugues, C; Bressy, C *et al.* 2003. Complexation of an acrylic resin by tertiary amines: synthesis and characterisation of new binders for antifouling paints. *European Polymer Journal* (39): 319-326
- (14) IMO (International Maritime Organization). 2002. Antifouling systems. Documento Informativo. 07,12,18.
- (15) International Copper Research Association. 1990. The biological importance of copper. Proyecto N° 223. 07-18, 100-102.
- (16) Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, Barcelona. Cap. 15. P. 535.
- (17) Katranitsas, A., J. Castritsi-Catharios, and G. Persoone. 2003. The effects of a copperbased antifouling paint on mortality and enzymatic activity of a non-target marine organism. *Marine Pollution Bulletin* (46): 1491-1494.
- (18) Kraufvelin, P *et al.* 2000. Changes in zoobenthic community structure after pollution abatement from fish farms in the Archipelago Sea (N. Baltic Sea). *Marine Environmental Research* (51):229-245.
- (19) Lewis A.G.; Cave W.R. 1982. The biological importance of copper in oceans and estuaries. *Oceanography Marine Biology, Ann Rev.* (20): 471-695.
- (20) Luoma, 1995. Prediction of metal toxicity in nature from bioassays: limitations and research needs. En: A. Tessier y D. Turner (Ed). *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems*. Reino Unido. 609- 659
- (21) Mance, C. 1987. *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments*. Elsevier Applied Science, New York.
- (22) Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 2004. Anuario estadístico de pesca 2003. 31, 71.
- (23) Omae, Iwao. 2003. General aspects of tin-free antifouling paints. *Chemicals Review* (103): 3431-3432, 3438-3439, 3441.
- (24) Powell, C. 1994. Copper-nickel sheathing and its use for ship hulls and offshore structures. *International Biodeterioration & Biodegradation* (34): 321-331
- (25) Purser. 2003. En: Lucas, J; Southgate, Paul. *Aquaculture*. Blackwell Editores. Gran Bretaña. 81-91.
- (26) Ranke, Johannes. 2000. Multidimensional risk analysis of antifouling biocides. *Environmental Science Pollution Research* (2): 108 – 109.

- (27) Salamanca, M. 1998. Una aproximación al ciclo biogeoquímico del cobre en el ambiente marino costero. En: Arcos, D, (Ed). 1998. Minería del cobre, ecología y ambiente costero. Chile. 379, 383-384, 393.
- (28) Schendel, K *et al.* 2004. Floc and sediment properties and their environmental distribution from a marine fish farm. *Aquaculture Research* (35): 483-493.
- (29) Short, J; Thrower F. 1986. Accumulation of butyltins in muscle tissue of chinook salmon reared in sea pens treated with tri-n-butyltin. *Marine Pollution Bulletin* (17): 542-545.
- (30) Silva, N *et al.* 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (crucero cimar-fiordo 1). *Ciencia y Tecnología del Mar* (20):23-106.
- (31) Subsecretaría de pesca. 2004. Información Ambiental.
- (32) Technopress. 2003. La Acuicultura en Chile. Santiago de Chile.
- (33) Thouvenin, M. 2002. Formulation and antifouling activity of marine paints: a study by a statistically based experiments plan. *Progress in Organic Coatings* (44): 85-92.
- (34) Uhlig, Herbert. 2000. Uhlig's Corrosion Handbook. Segunda Edición. John Wiley & Sons (Ed). 1.344 Páginas.
- (35) World Health Organization. 1998. Copper.
- (36) Yeats, P *et al.* 2005. Lithium-normalized zinc and copper concentrations in sediments as measures of trace metal enrichment due to salmon aquaculture. En: Barry T. Hargrave (Ed) *The Handbook of Environmental Chemistry*. New York. 207-220.